3.4. ESFORÇOS ATUANTES NA VIA

3.4.1. Classificação dos Esforços Atuantes na Via

Teoricamente, a via férrea só deveria ter que suportar os esforços normais, resultantes dos pesos dos veículos e a força centrífuga exercida por estes, nas curvas. Na prática, porém, a ação dos esforços normais é modificada pelos esforços "não normais" que desempenham importante papel na solicitação da via e derivam das características inerentes à mesma e têm relação com as peculiaridades construtivas da própria via e do material rodante.

De modo geral, os esforços atuantes derivam da ação das cargas estáticas e dinâmicas e nesse caso, dos diversos movimentos a que estão sujeitos os veículos em seu deslocamento sobre a linha. De uma forma mais objetiva podemos agrupar os esforços atuantes na via em três categorias principais:

- Esforços Verticais;
- Esforços Longitudinais e
- Esforços Transversais.

3.4.1.1. Esforços Verticais

São os que têm a direção normal ao plano dos trilhos:

a) *Carga Estática* - é a carga originada pelo peso dos veículos quando os mesmos estiverem parados sobre a via;
b) *Força centrífuga vertical* – qualquer massa excêntrica do material rodante e dotada de movimento de rotação vai gerar uma força centrífuga vertical que variando de posição aumenta e reduz a carga do veículo, alternadamente, causando choques cuja intensidade é proporcional ao quadrado da velocidade;
c) *Movimento de galope* – movimento que existe em virtude de irregularidades na via, como no caso das juntas paralelas e de juntas defeituosas. É um movimento em plano vertical, paralelo aos trilhos que sobrecarrega ora um eixo traseiro, ora um eixo dianteiro da composição;
d) *Movimento de trepidação* – é um movimento semelhante ao anterior, também causado por irregularidades da via e no qual as molas do truque dianteiro e do truque traseiro de um vagão são comprimidas ao

mesmo tempo, ocasionando “trepidação” que sobrecarrega todos os eixos;

e) *Movimento de balanço ou “roulis”* – é um movimento causado pelas irregularidades da via (como as juntas alternadas, por exemplo) e que se desenvolve no sentido perpendicular à via, sobrecarregando, alternadamente, as rodas de um dos lados do veículo;
f) *Repartição desigual do peso nas curvas* – como a superelevação do trilho externo, em uma curva, é calculada para uma determinada velocidade, ao passarem os trens com velocidade diferente daquela, a resultante das forças deixa de passar pelo centro da via, aproximando-se mais de um dos trilhos, o qual recebe então uma sobrecarga;
g) *Defeitos da linha* – qualquer defeito na linha gera uma sobrecarga na distribuição das cargas verticais;
h) *Defeitos no material rodante* – material rodante defeituoso ocasiona choques na via que aumentam a carga dinâmica. Por exemplo: “calos” nas rodas (geram martelamento nos trilhos).

3.4.1.2. Esforços Longitudinais

São esforços paralelos ao eixo dos trilhos e cujas causas principais, são as seguintes:

a) *Dilatação e retração térmicas* - causam compressão e tração paralelas ao eixo dos trilhos, em função da aplicação dos acessórios de fixação dos trilhos;
b) *Movimento de reptação* – é um movimento ondular vertical causado pela passagem da roda em virtude de uma flexão localizada no trilho. Esta flexão gera esforços de compressão no boleto e de tração no patim, ambos paralelos ao eixo do trilho;
c) *Golpes das rodas no topo dos trilhos* – ocorre nas juntas de dilatação, causa esforço no sentido do deslocamento dos trens;
d) *Esforço trator* – gera uma força de atrito no sentido contrário ao deslocamento do trem;
e) *Frenagem* – gera por atrito, uma força no sentido do movimento;
f) *Contato dos frisos das rodas com os trilhos* – gera por atrito, esforços no sentido do deslocamento dos trens.

3.4.1.3. Esforços Transversais

a) *Força centrifuga* – nas curvas a força centrífuga não compensada pela superelevação do trilho externo, produz esforço transversal neste trilho;

b) *Movimento de "lacet"* - é um movimento causado pelo próprio jogo da via ou por alguma irregularidade do alinhamento ou do material rodante e que faz com que as rodas se choquem, alternadamente, com os trilhos no sentido de provocarem alargamento da bitola;
c) *Vento* – como a "área batida" da lateral dos veículos é considerável, um vento forte pode criar um esforço transversal razoável nos trilhos, através dos frisos das rodas.

3.4.2. Força Centrífuga

A existência da curva no traçado ferroviário acarreta problemas para a circulação dos veículos que devem ser analisados, para que a via seja projetada e construída, de modo a proporcionar as melhores condições possíveis de segurança e conforto.

A força centrífuga, como já foi visto, é um esforço transversal, paralelo ao plano de rolamento e que provoca por causar atrito, desgaste das rodas e frisos e dos trilhos externos das curvas, além de criar uma indesejável tendência de tombamento dos trilhos a qual sobrecarrega as fixações e reduz a vida útil dos dormentes. Se esta força exceder certos limites, poderá provocar o tombamento da composição ferroviária.

Na Mecânica Geral aprendemos que todo corpo rígido ao percorrer uma trajetória curva, está sujeito a uma componente da força horizontal atuante, perpendicular à tangente à trajetória e dirigida no sentido contrário ao centro de curvatura e que é chamada de força centrífuga e expressa por:

$$F_c = m \cdot \delta = m \cdot (v^2 / \rho)$$

Onde:
- m – massa;
- v – velocidade;
- ρ - raio de curvatura.

No caso de trajetória circular de raio "R", teremos:

$$F_c = m \cdot (v^2 / R)$$

Os efeitos da força centrífuga são minimizados elevando-se o trilho externo das curvas, criando-se com isso uma superelevação que gera uma componente de equilíbrio àquela força.

3.4.3. Momentos Fletores

No cálculo dos momentos fletores os trilhos são, em princípio, considerados como vigas contínuas sendo, entretanto, bastante variáveis as condições reais de vinculação e de carregamento a que estão sujeitos. Desta forma, na busca da melhor formulação matemática, são empregadas hipóteses simplificadoras de carregamento.

Devido à natureza dos esforços atuantes nos trilhos os momentos atuantes estarão sempre em um plano ortogonal ao eixo dos trilhos.

3.4.3.1. Cálculo dos Momentos Fletores nos Trilhos

a) *Método dos Apoios Fixos ou de Winkler*

- *Hipótese de Winkler:*

Considera um carregamento alternado (Fig. 69). É uma hipótese pouco realista e deve ser usada como caso limite. Sua aplicação prática restringe-se ao caso de vias assentadas sobre obras metálicas (pontes sem estrado contínuo) e algumas obras de concreto.

- *Esquema de Carregamento:*

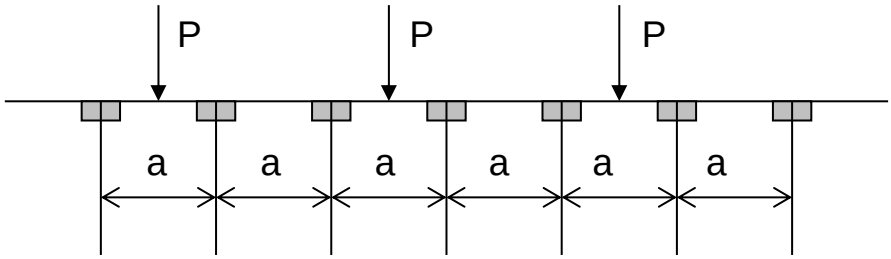


Fig. 69 – Esquema de Carregamento de Winkler. Fonte: Brina (1983).

Neste caso, o trilho é considerado como viga contínua com um número infinito de vãos. A expressão dos momentos fletores é obtida aplicando-se a equação dos três momentos:

$$M_{max} = 0{,}1875\ P.\ C_d\ .\ a$$

Onde:
- P – carga estática, por roda;
- C_d – coeficiente dinâmico (adotar 1,4);
- a – distância entre os eixos dos dormentes.

b) *Método de Zimmermann*

É o método que mais se aproxima da realidade, pois considera, inicialmente, os dormentes como apoios elásticos (Fig. 70) entrando depois com a hipótese de elasticidade da via (Fig. 71). Fornece resultados em torno de 10% acima daqueles obtidos pelos métodos ditos exatos sendo, portanto, conservadores e plenamente satisfatórios para fins práticos.

Aplicando então as hipóteses de carregamento de Schwedler, adotadas por Zimmermann, teremos:

- *1ª Hipótese* – considerando-se a flexibilidade da linha:

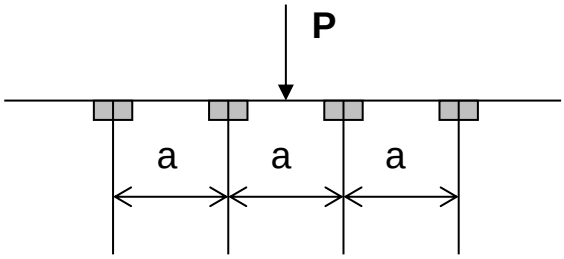


Fig. 70 – Esquema de Carregamento de Schwedler, 1ª Hipótese. Fonte: Brina (1983).

$$M'_{max} = [(7 + 8\gamma) / 8\ .\ (5 + 2\gamma)]\ .\ P\ .\ C_d\ .\ a$$

- *2ª Hipótese* - considerando-se a plataforma elástica:

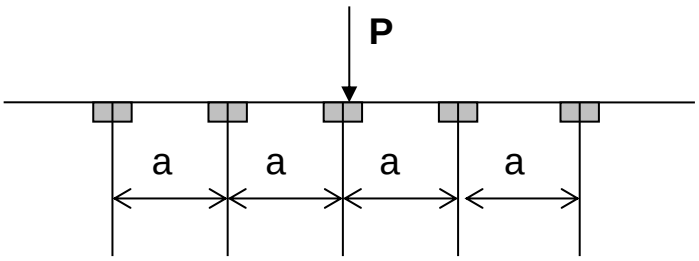


Fig. 71 – Esquema de carregamento de Schwedler, 2ª Hipótese. Fonte: Brina (1983).

$$M''_{max} = [\gamma / (2 + 3\gamma)] \cdot P \cdot C_d \cdot a$$

Onde:

$$\gamma = (6 \cdot E \cdot I) / (D \cdot a^3);$$

$$D = 0{,}9 \cdot C \cdot b \cdot c \;;$$

- γ - coeficiente de superestrutura;
- C – coeficiente de lastro (kgf/cm^3);
- P – carga por roda (kgf);
- b – largura do dormente (cm);
- c – comprimento efetivo de suporte (faixa de socaria).

Calculados os momentos máximos, pelas duas hipóteses de carregamento, **opta-se pelo maior dos dois valores obtidos** que representaria o valor máximo "maximorum".

- *Considerações sobre o Coeficiente de Lastro (C):*

O valor de **"C"** (kgf/cm^3), determinado experimentalmente, varia de **3** (lastro de saibro sobre plataforma de má qualidade), a **18** (lastro de pedra britada sobre plataforma de ótima qualidade).

Brina (1983), sugere a adoção de:
- **C = 15**, para linhas de padrão mais alto (sublastro compactado e lastro de pedra britada) e
- **5 < C < 8**, para linhas de padrão inferior ou médio.

Schramm, G. (1974), indica:
- **C = 14,5** (valor médio).

Hantzchel, (E.F. Alzacia-Lorena), determinou valores de "C" (kgf/cm^3), para lastro de pedra britada, sobre diversos tipos de plataforma:

- Saibro - 2,6 a 3,3;
- Areia – 5,3 a 7,2;
- Argila compacta – 6,8 a 7,5;
- Rocha – 7,6 a 8,9;
- Fundação – 15.

3.4.4. Escolha do Perfil de Trilho

A partir da determinação do momento máximo, o perfil de trilho será selecionado entre os padrões fabricados, de modo que:

$$\sigma = M_{max} / W \leq \bar{\sigma}$$

Onde:
- σ - tensão de trabalho;
- W – módulo resistente do trilho (tabelado);
- $\bar{\sigma}$ - tensão admissível à flexão ($\bar{\sigma}$ = 1 500 kgf/cm^2).

3.4.5. Exemplo de Aplicação do Método de Zimmermann

Selecionar, entre os perfis de trilhos fabricados no Brasil, pela CSN, o mais adequado de acordo com os dados abaixo fornecidos:

Dados:
- Peso por eixo: 20 t;
- Coeficiente de impacto: 1,3;
- Faixa de socaria : 70 cm;
- Taxa de dormentação: 1 750 pç/km;
- Dimensões do dormente : 2,0 m x 0,20 m x 0,16 m;
- Coeficiente de lastro: C = 9 kgf/cm^3;
- Módulo de elasticidade: E = 2 100 000 kgf/cm^2;
- Tensão admissível à flexão: $\bar{\sigma}$ = 1 500 kgf/cm^2.

Solução:

a) a = comprimento convertido / taxa de dormentação $\therefore$

$\therefore$ a = 1 000 / 1750 = 0,57 m = **57 cm**;

b) D = 0,9 . C . b . c $\therefore$ D = 0,9 x 0,009 x 20 x 70 = **11,34 tf/cm**;

c) γ = (6 . E . I) / (D . a^3) $\therefore \gamma$ = (6 x 2 100 x 1 610,8) / (11,34 x 57^3) $\therefore$

$\therefore$ γ = **9,66** (para perfil TR 45);

d) **1ª Hipótese**: $M'_{max} = [(7 + 8\gamma) / 8 . (5 + 2\gamma)] . P . C_d . a \therefore$

$\therefore$ M'_{max} = [(7 + 8 x 9,66) / 8 x (5 + 2 x 9,66)] .P . C_d .a $\therefore$

$\therefore$ **M'_{max} = 0,433 . P . C_d .a**;

2ª Hipótese: M''_{max} = [γ / (2 + 3γ)] . P . C_d .a $\therefore$

$\therefore$ M''_{max} = [9,66 / (2 + 3 x 9,66)] . P . C_d .a $\therefore$
$\therefore$ **M''_{max} = 0,312 . P . C_d .a**

M'_{max} > M''_{max} (adotar o maior momento calculado), assim:

M'_{max} = M_{max} $\therefore$ M_{max} = 0,433 x 10 tf x 1,3 x 57 cm = **321 tf.cm**;

e) σ = M_{max} / W = 321 / 205,6 (tab) = 1,56 tf / cm^2 = **1 560 kgf/cm^2**;

Conclusão: para as condições dadas, **o trilho de perfil TR 45 satisfaz (no limite)**, pois 1 560 kgf/cm^2 $\cong$ 1 500 kgf/cm^2.

3.4.6. <u>Tensão no Contato Roda-Trilho</u>

No caso de tráfego de trens pesados (trens de minério), além da verificação do trilho à flexão, será necessário verificar se a tensão no contato roda-trilho (esforço cortante), não ultrapassa um determinado limite de tolerância.

Assim, pelo critério da AREA, adaptado da expressão de Thomas e Höersch, temos:

$$\tau = (11\,750 \times P^{0,333}) / (R_1^{0,271} \times R_0^{0396}) \leq \bar{\tau}$$

Onde:
- τ - esforço cortante (em psi – pounds / square inch ou *lb/pol²);*
- P – carga dinâmica (*lb)*;
- R_o – raio nominal da roda (*pol*);
- R_1 = (R_r x R_h) / (R_h – R_r);
- R_r – raio de curvatura do boleto;
- R_h – raio da roda na concavidade do friso;
- $\bar{\tau}$ - esforço cortante admissível;
- $\bar{\tau}$ = 50 000 psi (3 515 kgf/cm^2) – para roda nova;
- $\bar{\tau}$ = 67 500 psi (4 745 kgf/cm^2) – para roda usada.

3.5. ASSENTAMENTO DA LINHA

3.5.1. Características do Assentamento da Linha

a) Bitola

A bitola normal adotada na via é aplicada, rigorosamente, nos alinhamentos retos (em tangente). Nas curvas, é aumentada, ligeiramente, chamando-se este acréscimo de superlargura.

Os trilhos são assentados com uma inclinação de 1:20, em relação à vertical (5%). (Algumas ferrovias inglesas e americanas adotam 1:40 ou menos). O assentamento vertical acarreta desgaste oblíquo da superfície de rodagem e desgaste anormal nos aros das rodas. Também, proporciona maior risco de tombamento dos trilhos externos, nas curvas.

b) Tolerância na bitola

Com a utilização continuada, a via adquire defeitos que alteram a bitola, com alargamentos e estreitamentos. Isso é o que obriga a Ferrovia a manter procedimentos de conservação permanente na via, de modo a impedir que os defeitos ultrapassem determinados limites de tolerância.

A bitola da via é medida a 16 mm abaixo do plano de rodagem.

As tolerâncias na bitola variam entre – 3 e +6 mm, nos alinhamentos retos e podem atingir até +10 mm, nas curvas.

c) Jogo da Via

É a diferença entre a bitola da via, em tangente e a distância entre as faces externas dos frisos das rodas, sendo esta, medida a 10 mm, abaixo do plano de rodagem (Fig. 72). Temos, assim:

$$j = b - d$$

Onde:

- j – jogo da via;
- b – bitola;
- d – bitola do material rodante.

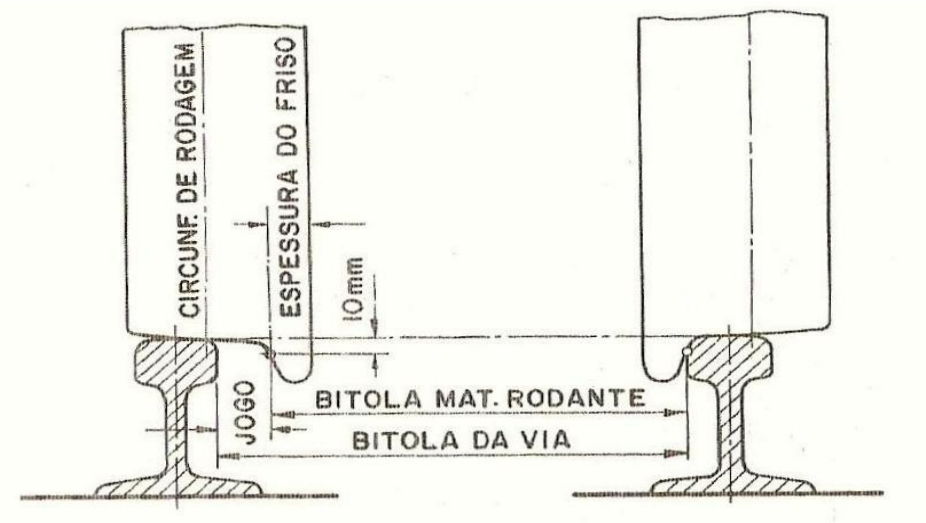


Fig. 72 – Jogo da Via. Fonte: Brina (1983).

O jogo da via depende do material rodante e foi fixado entre 9 mm e 15 mm, pela Conferência de Berna, para o caso de frisos novos.

Reduzindo-se o Jogo da Via, obtém-se maior suavidade no deslocamento sendo, entretanto, maior o desgaste dos trilhos e dos frisos das rodas.

Nas curvas, a folga total aceitável, é a soma da “superlargura” com o “jogo da via”.

d) Distribuição de Dormentes

Os dormentes devem ser assentados, perpendicularmente, aos trilhos tanto em tangente, como nas curvas.

O espaçamento entre dormentes depende de fatores tais, como:
- Cargas dos veículos;
- Velocidade dos trens;
- Densidade do tráfego;
- Natureza da plataforma da via (qualidade);
- Raio das curvas.

Chama-se “densidade de dormentação” ou “taxa de dormentação”, à quantidade de dormentes distribuídos por quilômetro de via.

Esta taxa de distribuição dos dormentes é função do peso médio das composições que trafegam na via. Assim:
- Europa (trens mais leves) – 1 500 a 1 700 pç/km;
- EUA e Brasil (trens mais pesados) – 1 600 a 1 850 pç/km.

Se for maior que 2 000 pç/km, a “socaria” do lastro deverá ser feita, obrigatoriamente, por meios mecânicos já que os métodos manuais ficam inviáveis.

Nas juntas de trilhos, os dormentes são aproximados, gradativamente, para garantir melhor sustentação às mesmas.

e) Juntas

Juntas entre os trilhos são necessárias para compensar a variação do comprimento dos trilhos em função da variação da temperatura. Podem ser situadas de duas formas:
- Concordantes ou paralelas (situam-se na mesma normal aos trilhos);
- Alternadas (quando não coincidentes com a mesma normal).

As juntas paralelas são mais utilizadas na Europa e causam o movimento de “galope da composição”.
As juntas alternadas são utilizadas no Brasil e EUA e causam o movimento de “balanço da composição”.

As juntas alternadas são dispostas de modo a coincidirem com o ponto médio do trilho oposto ao da junta.

A prática mostra que o movimento de “galope da composição”, é mais prejudicial, por estar associado à maior quantidade de acidentes.

As juntas (Fig. 73), podem ainda ser classificadas em:
- Apoiadas;
- Em balanço.

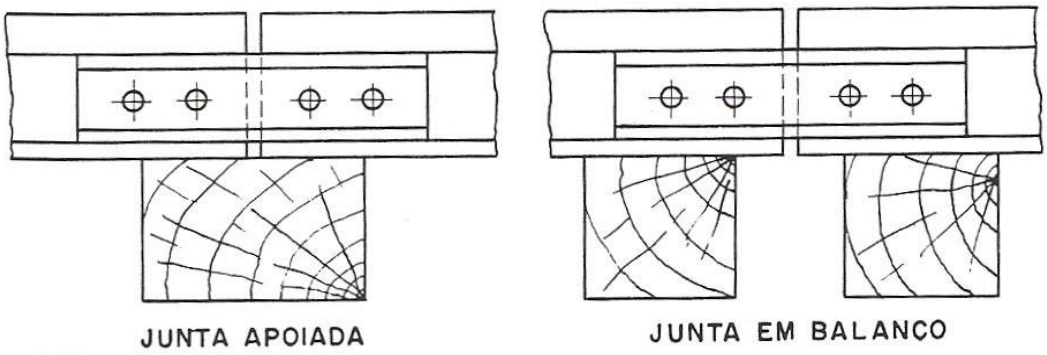


Fig. 73 – Apoio das Juntas. Fonte: Brina (1983).

f) Preparo dos Dormentes e Distribuição do Material

No caso de utilização de dormentes de madeira de cerne, em que não é obrigatório o tratamento químico, “entalhação” e “furação” devem ser feitas antes da distribuição dos mesmos ao longo da via.

A entalhação consiste na preparação dos dois entalhes, onde serão alojadas as placas de apoio, na face superior do dormente. Pode ser feita, manualmente, com enxós de cabo longo ou mecanicamente, com entalhadeiras mecânicas, fixas ou portáteis. (As entalhadeiras mecânicas dão muito maior produtividade sendo hoje, de uso corrente).

A furação dos dormentes, para passagem dos elementos de fixação, também pode ser feita manual ou mecanicamente.

No caso de dormentes de madeira tratada quimicamente, entalhação e furação devem ser efetuadas antes do tratamento, por máquinas fixas, de alta produtividade, instaladas junto às usinas de tratamento.

O material de via permanente é transportado para o local de assentamento da via em vagões apropriados, no caso de prolongamento de uma linha ou ramal ferroviário ou então em carretas, no caso de linha férrea, inteiramente, nova, onde são distribuídos na faixa da ferrovia.

g) Locação e Implantação dos Marcos de Alinhamento e Nivelamento

Antes de iniciar-se o processo de assentamento da superestrutura ferroviária (via permanente), procede-se uma locação do eixo da via, chamada “locação para trilhos”.

Após a “locação do eixo”, na qual são implantados piquetes nos pontos singulares (TE, EC, CE e ET), é feito o nivelamento do eixo, projetando-se o “greide” final dos trilhos que estará o mais próximo possível do “greide” projetado, quanto melhor tenha sido executada a regularização do leito (sub-lastro). Qualquer irregularidade final da plataforma será suprimida, por pequenas variações na altura do lastro.

A locação do eixo, é então, transferida para a margem da plataforma, para “off sets”, onde são marcadas as cotas do lastro, dos dormentes e dos

trilhos. São também marcadas em segmentos de trilhos distribuídos ao longo da plataforma, as posições finais das cabeças dos trilhos.

Nas curvas, será incluído também, na altura indicada pelos “marcos de referência de alinhamento e nivelamento”, o valor da superelevação a ser dada ao trilho externo da curva.

Observação: **“Pontos Singulares”** ou **“Pontos de Transição”**, são aqueles em que a diretriz da via inicia uma mudança de direção:
TE – tangente / espiral;
EC – espiral / circular;
CE – circular / espiral;
ET – espiral / tangente.

3.5.2. Processos de Assentamento de Linhas

O assentamento da linha poderá ser feito por dois processos:

a) Processo Clássico

O Processo Clássico consiste no assentamento da linha a partir de uma só frente de serviço. O procedimento adotado é, basicamente, o seguinte:
- Distribuição dos dormentes, com a distância especificada em projeto;
- Colocação dos trilhos, manualmente ou com guindastes de linha, que progridem sobre a linha recém lançada;
- Execução das operações de puxamento, nivelamento e acabamento.

As placas de apoio são colocadas após a distribuição dos dormentes, nos entalhes, previamente, preparados. Os trilhos são posicionados com auxílio de um “gabarito de bitola” (Fig. 74).

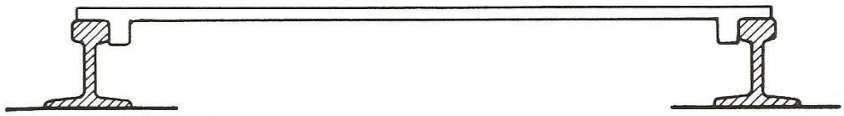


Fig. 74 – Gabarito de Bitola. Fonte: Brina (1983).

Os dormentes são fixados aos trilhos, alternadamente (linha ponteada ou pontilhada), para que composições de serviço possam trafegar (trem de lastro). À medida que os trilhos avançam são executadas as operações de puxamento, nivelamento e acabamento. Assim:

- O *puxamento* consiste em deslocar a linha (grade formada por dormentes e trilhos, fixados provisoriamente), por meio de alavancas, até colocá-los na posição indicada pelos marcos, até obter-se um perfeito “alinhamento”. Após o alinhamento é distribuído o lastro entre os dormentes.

- O *nivelamento* consiste no encaixe de uma determinada quantidade de lastro sob os dormentes, quando é então, necessário suspender-se a “grade” (com guindastes ou macacos), para posterior amontoamento e compactação do mesmo de modo a com isso, atingir-se o “greide” final, projetado para os trilhos. (Esta operação é conhecida como socaria).

- O *acabamento* é feito após o nivelamento e o puxamento final. (É quando se corrige alguma distorção havida durante o nivelamento). Consiste no enchimento do intervalo existente entre os dormentes, com lastro, até o nível de sua face superior e composição dos taludes do lastro, conforme o projeto. Este serviço é, normalmente, mecanizado.

b) Processo Moderno

O lastro é lançado em uma primeira camada que permita o nivelamento e previamente, compactado. Isso pode ser feito, inclusive, em várias frentes de serviço, concomitantemente.

Os dormentes e os trilhos são lançados e assentados sobre esta camada inicial de lastro, executando-se as operações de finalização, já descritas.

A compactação final, para dar à linha o nivelamento projetado pode ser feita, inclusive, após o início do tráfego.

Com esse processo o tempo de assentamento da via pode ser, drasticamente, reduzido. Pode-se assentar cerca de 1 000 m ou mais de linhas, por dia de trabalho.

c) Outros Processos Modernos de Construção

Uma das formas de construção da superestrutura ferroviária, mais utilizadas modernamente, é aquela em que se montam as grades de trilhos e dormentes, principalmente, tratando-se de dormentes de concreto.

Tais grades são depois transportadas, em veículos especiais até a frente de construção, onde são lançadas e instaladas com a utilização de guindastes, treliças lançadoras ou pórticos móveis sob trilhos, providos de talhas manuais que são usadas para a suspensão e colocação das grades em seu local definitivo (Figs. 75 e 76).

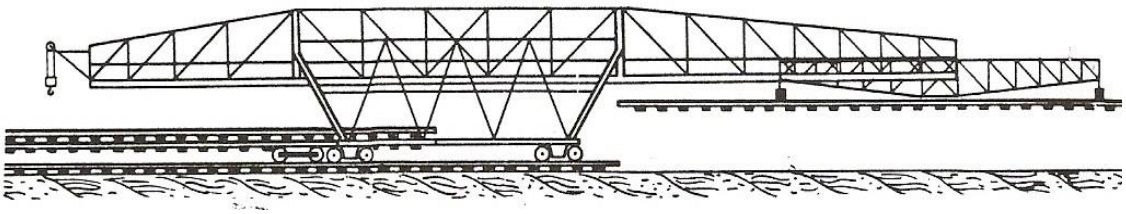


Fig. 75 - Sistema Drouard - Matisa (Suiça).
Para tramos pré-fabricados de até 24m. (Fonte: Togno, 1968).

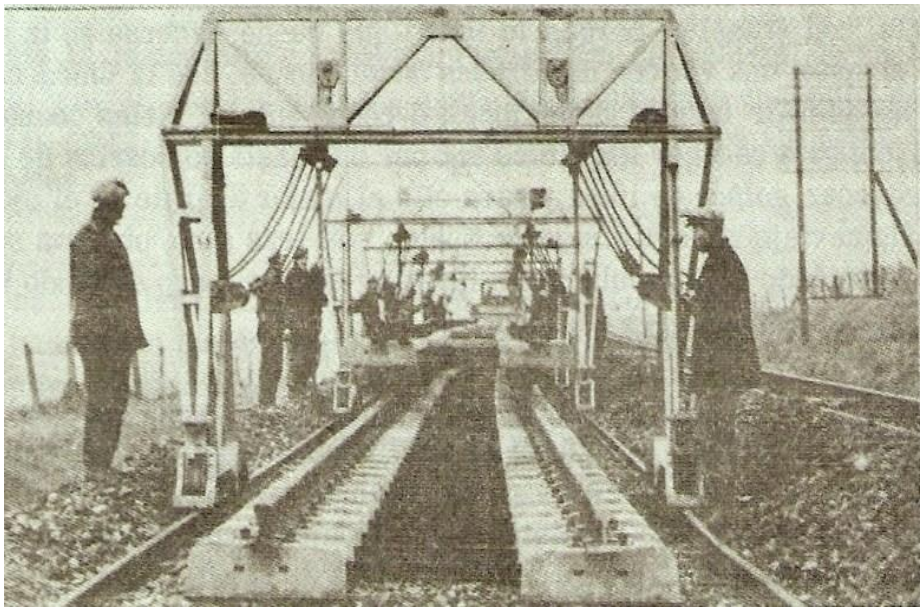


Fig. 76 - Pórticos para lançamento de via pré-fabricada. (Fonte: Togno, 1968).

Em vários países, já foi utilizada com êxito a montagem prévia da grade em estaleiros, com transporte posterior, sobre composições adequadas, até o local de utilização, onde então as grades são lançadas por intermédio de guindastes especiais ou sistemas de treliças lançadoras, embarcadas em composições de serviço (Fig. 77).

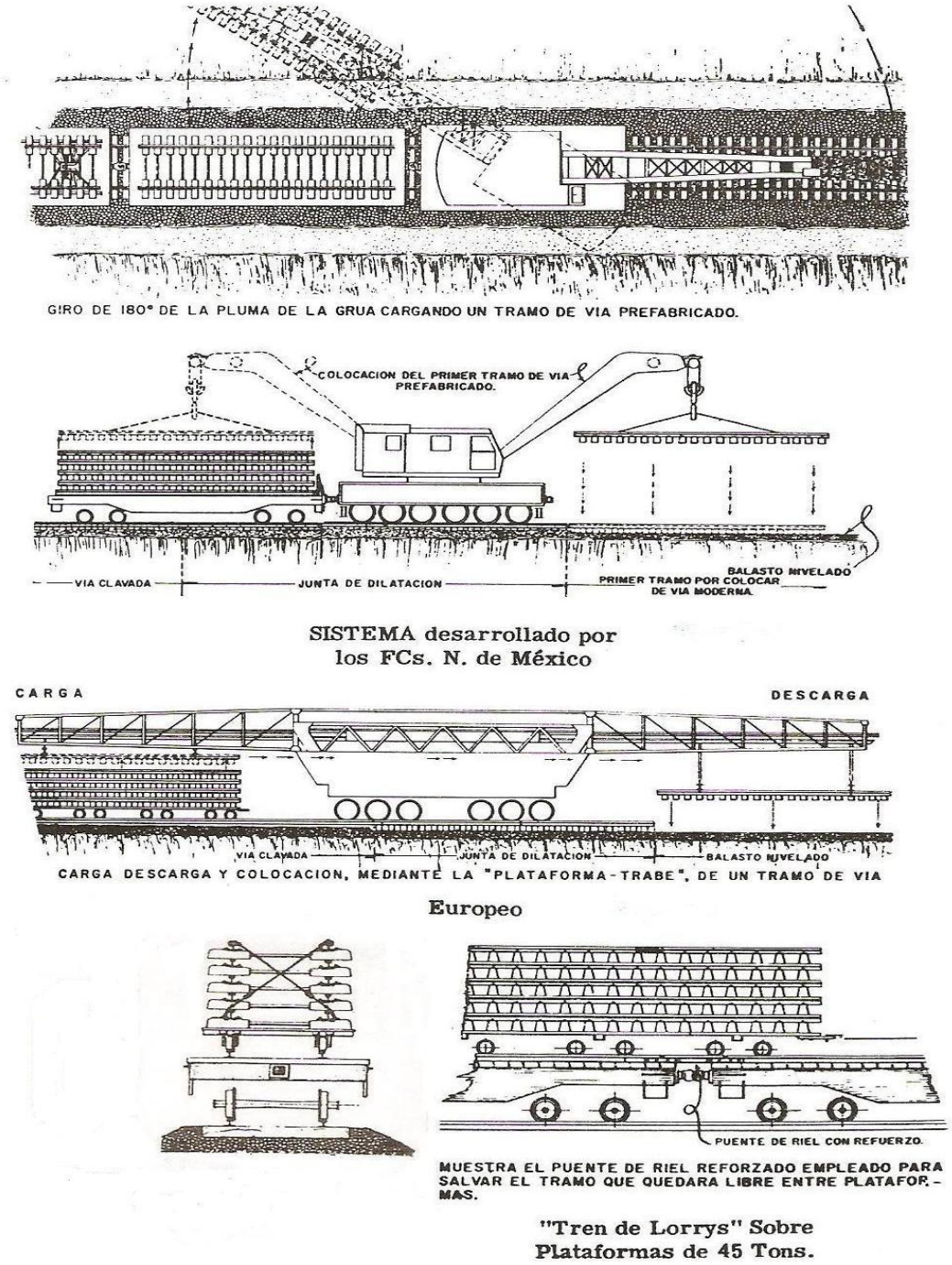


Fig. 77 – Sistemas de transporte e lançamento de grades. (Fonte: Togno, 1968).

3.6. MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUÇÃO

3.6.1. Introdução

As máquinas pesadas de terraplenagem, a mecânica dos solos (Geotecnia) e a aerofotogrametria foram introduzidas após a 2ª Guerra Mundial, dando novas feições à técnica de construções rodoferroviárias.

A movimentação de cargas cada vez maiores, a velocidades também crescentes, impulsionadas pelo desenvolvimento da tecnologia dos meios de transporte passaram a exigir, progressivamente, mais da via férrea como um todo, considerando infra e superestrutura já na sua construção, assim como, posteriormente, nos procedimentos de manutenção, determinando que a mesma seja feita de forma racional e econômica.

3.6.2. Superestrutura vinculada à Infra-estrutura

Em vista das exigências técnicas geradas por grandes cargas e altas velocidades, as modernas ferrovias exigem Infraestruturas com altos custos de construção. A qualidade da Superestrutura fica assim, dependente da qualidade da Infraestrutura.

Desta forma, para que a via possa vir a suportar grandes cargas por eixo e altas velocidades, chega-se, ao ponto de aplicarem-se conceitos inovadores de projeto que determinam a construção da superestrutura apoiada sobre uma laje de concreto contínua, na forma de um “radier”.

Outros métodos de cálculo mais avançados, como o chamado “Método Endométrico”, levam em consideração as cargas repetidas que ocasionam a fadiga dos solos de fundação e dos aterros.

3.6.3. Elementos Constituintes da Superestrutura Moderna

Considera-se como Superestrutura Moderna aquela construída com dormentes de concreto, trilhos longos soldados e fixações elásticas.

A utilização de trilhos longos soldados (TLS), ao invés de trilhos curtos, com juntas de talas (que é um dos pontos fracos da via convencional), é exigência indispensável e por isso amplamente adotada, particularmente, em ferrovias de alta velocidade.

Neste contexto, a soldagem e o posterior transporte dos trilhos (TLS) para a frente de montagem, são os serviços de maior relevância.

A soldagem dos TLS é executada em dois estágios:

1º Estágio – Os trilhos são pré-soldados em estaleiro, por processo elétrico ou oxiacetilênico, em peças de comprimentos entre 150 e 300m;

2º Estágio – Na instalação "in-situ", as barras pré-soldadas, devem ser ligadas em ambas as extremidades, aos trilhos adjacentes, por solda de arco voltaico ou aluminotérmica.

Observação: os trilhos de comprimentos de 150 a 300 m pré-soldados são transportados em trens especiais, até o local de instalação.

As vias construídas com trilhos longos soldados, agregam as seguintes vantagens, sobre as convencionais:
- maior intervalo entre as intervenções de manutenção da via;
- menor destruição dos elementos da via;
- menor oscilação dos carros e maior conforto no rolamento;
- menor produção de ruídos e vibrações;
- maior produção para as socadoras de lastro;

3.6.4. Influência dos Tipos de Veículos em Circulação

Os esforços estáticos e dinâmicos devem ser considerados em função dos veículos em circulação (cargas e velocidades).

3.6.4.1. Conceitos básicos da tecnologia da alta velocidade ferroviária

- O sistema ferroviário de transportes de passageiros e cargas é considerado de alta velocidade quando os comboios desenvolvem velocidades iguais ou superiores a 200 km/h.
- Velocidades superiores a 200 km/h exige amplos raios de curvatura, da ordem de 3.000 a 4.000 metros requerendo a construção de linhas ferroviárias específicas.

- Se uma ferrovia é projetada para tráfego de passageiros e cargas, as rampas máximas não devem superar valores da ordem de 12,5 m/km.
- Se é projetada, apenas, para tráfego de passageiros de alta velocidade, as rampas podem ser de até 40 m/km (custo menor), mas não pode admitir tráfego de cargas.
- Os efeitos aerodinâmicos da alta velocidade ferroviária exigem uma maior separação: entre via 4,30m.
- Os túneis devem ter seções maiores que as convencionais.
- As curvas de transição e as concordâncias verticais devem ter grandes extensões para permitir uma circulação suave dos comboios.
- As estações de passageiros, para a ferrovia de alta velocidade, devem ter vias diretas de circulação com detalhes construtivos especiais.
- Não há passagens de níveis nas ferrovias de alta velocidade.
- O impacto ambiental da ferrovia de alta velocidade é menor que nos outros sistemas de transportes.
- O consumo energético em vias férreas de alta velocidade é três vezes menor que o do transporte rodoviário e seis vezes menor que o do transporte aéreo.
- A potência das locomotivas dos comboios cresce com o cubo da velocidade.

  Assim sendo, facilmente se alcançam valores da ordem de 10.000 kw. Isto exige necessariamente a tração elétrica, não sendo possível com motores diesel.

  O sistema de eletrificação a 25 kv e frequência industrial é o mais conveniente.
- A altura do fio de contato (catenária) de alimentação de energia elétrica com o pantógrafo deve se constante.
- Para se obter uma frenagem eficaz, a força de tração deve estar distribuída em vários motores e truques.
- Para reduzir sensivelmente a resistência ao deslocamento e à energia consumida os comboios são projetados com perfil aerodinâmico conveniente.
- A distância percorrida por um comboio entre o repouso e a velocidade máxima de 300 km/h é da ordem de 15 a 20 km.
- A distância percorrida por um comboio entre a velocidade de 300 km/h e o repouso atinge valores da ordem de 3 a 4 km.

Observações:

- As ferrovias para trens de alta velocidade terão sempre elevado custo de implantação, sendo que porém, acusam menores despesas durante a sua manutenção.

- O futuro do sistema ferroviário para transportes de passageiros de alta velocidade entre as cidades com distâncias médias de 300 km a 1.200 km será basicamente o sistema de alta velocidade.

3.6.5. Condições Geométricas

Assim, em ferrovias modernas, para trens de alta velocidade, são previstas curvas com raios maiores que 3 000 m.

Nestes casos, as condições de transição das curvas deverão ser, rigorosamente, obedecidas em vista dos decorrentes esforços transversais.

Máquinas de correção geométrica, com precisão da ordem de décimos de milímetros, precisam ser utilizadas.

4. CONSERVAÇÃO DA VIA

4.1. INTRODUÇÃO

A circulação de trens impõe às linhas, esforços cuja grandeza é função das cargas e velocidades das composições.

Estes esforços atuam na infraestrutura e na superestrutura com consequente desgaste no material, fadiga nas fixações e alterações no nivelamento e no alinhamento da via.

Fatores externos, como precipitações pluviométricas, deslizamentos de terra, etc., diminuem a resistência da via, resultando em modificações em suas condições geométricas.

Para poder ser controlada a deterioração da linha causada por estes e outros fatores, sistemas e métodos de conservação de via precisaram ser desenvolvidos e aperfeiçoados ao longo do tempo, o que aliado à modernização do material rodante, vem permitindo a implementação velocidades e cargas por eixo cada vez maiores, sobre a via.

4.2. MANUTENÇÃO DA VIA

A manutenção da via permanente, engloba todos os tipos de intervenções necessárias, para que a via seja mantida em um estado de integridade, no qual possa cumprir todas as suas funções de forma eficiente e segura.

A manutenção abrange três tipos distintos de atividades:

a) *Trabalhos de conservação ordinária*: feitos, em princípio pela própria operadora. Os serviços mais comuns, na conservação ordinária da via permanente, são:

a.1) limpeza de faixa –
a.1.1) roçada;
a.1.2) capina – manual ou química (com utilização de herbicidas aplicados, anualmente, com equipamentos especiais);
a.2) correção de bitola;
a.3) substituição de dormentes;
a.4) requadramento e reespaçamento de dormentes;
a.5) pregação e repregação;
a.6) puxamento da linha;
a.7) nivelamento contínuo da linha;
a.8) nivelamento, somente, das juntas;
a.9) construção ou desobstrução de valetas de crista, cortes ou aterros;
a.10) limpeza e/ou recomposição de lastros;
a.11) substituição de trilhos gastos ou deficientes;
a.11) reparação de cercas;
a.12) reparação dos AMVs;
a.13) reparação, limpeza e pintura de obras de arte (pontes, pontilhões, viadutos, etc.);
a.14) limpeza de bueiros, valetas e sarjetas;
a.15) ronda da linha.

b) *Trabalhos de remodelação*: são aqueles cuja execução não é própria de conservação ordinária, devido ao seu grande volume.
Exemplos:
- substituição integral de trilhos existentes por outros (novos ou recuperados);
- recuperação de trilhos existentes, através de soldagem e esmerilhamento, no local;
- correção de juntas deformadas;

- substituição de dormentes, em grande quantidade;
- grandes serviços de drenagem da plataforma.

c) *Trabalhos de renovação*: são, geralmente, executados por firmas empreiteiras e que devem ser programados, somente, quando o desgaste ou fadiga do material estejam onerando em demasia, as despesas de conservação;

4.3. MÉTODOS DE CONSERVAÇÃO DA VIA

Entre todos os métodos de conservação de vias desenvolvidos, o mais conhecido, é o "Método de Conserva Cíclica Programada" (CCP).

A Conserva Cíclica Programada tem por objetivos:
- a racionalização dos trabalhos;
- obtenção de uma superestrutura tão perfeita quanto possível, capaz de suportar com segurança e eficiência o tráfego de composições pesadas e/ou velozes;
- permitir a circulação dos trens dentro das melhores condições de conforto;
- evitar que determinados componentes ou trechos de linha sejam submetidos a esforços de fadiga excessivos, acarretando degradação rápida e irreversível dos mesmos.

4.4. ORGANIZAÇÃO DA CONSERVA CÍCLICA PROGRAMADA

A organização dos trabalhos de CCP baseia-se em certos princípios gerais adaptados às características de cada trecho, dependendo da "Classificação das Linhas" em grupos, desenvolvida sob o ponto de vista da carga atuante. Assim, os trechos da linha são classificados em função da tonelagem média bruta diária, transportada:

1º Grupo -			T >	120 000
2º Grupo -	120 000	>	T >	70 000
3º Grupo -	70 000	>	T >	40 000
4º Grupo -	40 000	>	T >	25 000
5º Grupo -	25 000	>	T >	12 500
6º Grupo -	12 500	>	T >	6 000
7º Grupo -	6 000	>	T >	3 000
8º Grupo -	3 000	>	T >	1 500
9º Grupo -			T <	1 500

Esta classificação estabelece padrões diferenciados relativos à via, dando condições para a distribuição dos recursos financeiros, em função das reais condições de utilização das linhas.

4.5. VALOR RELATIVO OU PESO DOS GRUPOS

Com esta classificação, é possível a distribuição de recursos, segundo um critério de tráfego.
Admite-se que as despesas com manutenção cresçam, proporcionalmente, com o logaritmo de T, sendo assim, suficiente que se escolham valores proporcionais aos logaritmos das tonelagens de cada trecho.

Assim, por exemplo, cada grupo poderá ser representado conforme os seguintes parâmetros:

1º Grupo -	12
2º Grupo -	11
3º Grupo -	09
4º Grupo -	08
5º Grupo -	07
6º Grupo -	06
7º Grupo -	05
8º Grupo -	03

Observações:
- O parâmetro 02 será reservado para os desvios;
- Os AMVs (aparelhos de mudança de via) serão considerados como equivalentes a:
  - 0,10 km de linha corrente, quando em desvios;
  - 0,25 km de linha corrente, quando em linha principal.
- Quando tratar-se de linha de utilização mista, todos os coeficientes serão majorados em 15%.

Como na conservação, é consumida importante parcela dos recursos destinados à via permanente, tanto em materiais como em mão de obra direta, justifica-se a utilização de critérios de máxima economia, na sua gestão, com ênfase aos trabalhos que sejam indispensáveis para assegurar tráfego normal com a carga e a velocidade exigidas.

A substituição de materiais deve ser feita em função de critérios de manutenção do conforto e da segurança, programando-se a maior

quantidade de tarefas em uma mesma fase de revisão, evitando-se trabalhos esparsos que sempre se mostram mais onerosos e demorados.

A mecanização dos serviços da via possibilita a organização racional dos trabalhos com melhor qualidade e menos perda de tempo.

A conservação, no método CCP, engloba dois grupos de trabalho:

a) *Trabalhos de Revisão Total (RT)*: É um tipo de serviço, feito em um trecho da via, previamente, escolhido. Envolve uma concentração de esforços naquele local de modo que o mesmo seja dotado de condições par suportar o tráfego ferroviário normal, durante um determinado período, chamado de "Ciclo de RT";

b) *Trabalhos Fora de Revisão Total (FRT)*: É o serviço que se faz em determinado trecho da via, visando dar-lhe mínimas condições de suportar o tráfego ferroviário com segurança, até que se alcance o período em que o mesmo será submetido à Revisão Total, de acordo com o ciclo de RT, programado.

O método CCP estipula que a totalidade da Turma da Seção ou Residência, seja dividida em tantas equipes, quantos forem os trechos de responsabilidade da mesma e de forma proporcional aos anos de duração dos "Ciclos de RT".

Observações:

- ***Ciclo*** – é o número de anos compreendidos entre duas revisões totais (RT) consecutivas, no mesmo trecho e que é determinado em função dos Grupos de Linha;

- ***Seções*** – são frações de mesma extensão em que os trechos deverão ser divididos, com número igual ao nº de anos do ciclo.

A definição do "ciclo" deve obedecer ao seguinte quadro:

CLASSE DA LINHA	GRUPOS	CICLOS	
		DORMENTES DE MADEIRA	DORMENTES DE CONCRETO
O1	1 - 2 3 - 4	03 ANOS	O6 ANOS
	5 - 6	04 ANOS	
02	7 - 8	05 ANOS	08 ANOS
03	9	05 ANOS	

Exemplo:
Estabelecer a divisão para um trecho de 240 km, em uma linha de 1ª classe, com tráfego de 20 000 t/dia, com dormentes de madeira.

Assim, conforme o quadro, teremos para este trecho, ciclos de 4 anos (grupo 5 – 6), com seções de 60 km, cada:

ANO	1ª SEÇÃO	2ª SEÇÃO	3ª SEÇAO	4ª SEÇÃO
1 995	RT			
1 996		RT		
1 997			RT	
1 998				RT
1 999	RT			

4.6. PROGRAMAÇÃO DA CCP

A programação é feita com base em prospecções, para a conserva.

Prospecções são levantamentos de dados, para a determinação do montante de trabalho a ser executado e permitem o cálculo da quantidade de mão de obra (Homens-hora), necessários para executá-los e a estimativa das quantidades de materiais a serem fornecidos e ainda, a programação deste fornecimento.
As prospecções envolvem AMVs, infraestrutura e superestrutura da linha e são feitas pelo Supervisor da Linha, auxiliado pelo Supervisor Auxiliar e Conservadores de Via Permanente, sendo todos supervisionados pelo Engenheiro Residente e seu Auxiliar.

Com o conhecimento da natureza e da quantidade dos serviços, o tempo de execução, é determinado com a utilização do Caderno de Estudos, onde se relacionam as **QUANTIDADES DE SERVIÇOS** por códigos e os respectivos "**COEFICIENTES DE PRODUTUVIDADE**" (caderno de encargos).

Pelo produto destes dois fatores, é determinada a quantidade de mão de obra (Homens-hora), necessária para a execução de cada serviço.

Relacionam-se também, serviços auxiliares e improdutivos (montagens de andaimes e de acampamentos), bem como os ônus decorrentes das Leis Sociais, de modo a obter-se o total exato de Homens-hora, necessários e portanto, o custo total desta campanha.

5. GEOMETRIA DA VIA: CORREÇÃO DE GEOMETRIA E SUPERELEVAÇÃO

5.1. INTRODUÇÃO

Geometria da Via é o traçado em planta, o perfil longitudinal e transversal da via.

O objetivo final da manutenção da Via Permanente, é o de assegurar às linhas uma geometria compatível com os padrões exigidos de conforto e segurança.

O tráfego das composições provoca alterações e deformações na geometria da via sendo, portanto, indispensável proceder-se a correção do mesmo.

Atualmente os serviços de correção, são feitos em 95% dos casos com o emprego de máquinas especiais, como por exemplo, a "Máquina Socadora e Alinhadora", (Fig. 78).

Uma máquina como essa, pode trabalhar conforme dois sistemas:
- Sistema Relativo;
- Sistema Absoluto.

No primeiro, a máquina trabalha com base nas condições da linha, reduzindo os erros (Método da Compensação). No Sistema Absoluto, a máquina ignora as condições da linha e trabalha conforme os dados que lhe são fornecidos. É necessário então ter-se conhecimento prévio das condições da via, quanto ao nivelamento e ao alinhamento.

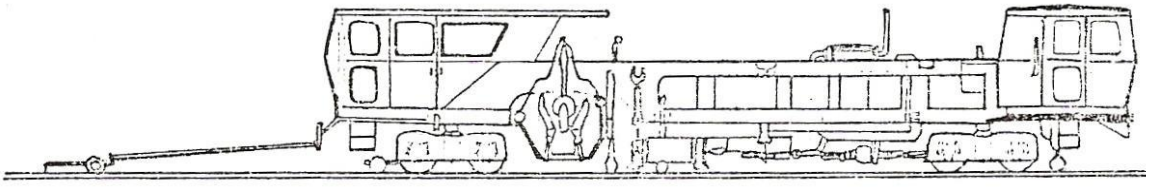


Fig. 78 – Máquina de Correção Geométrica da Via Férrea. (Fonte: Furtado Neto, 1999).

Quanto ao alinhamento, nas curvas é feito um levantamento de flechas, "*in-loco*". Nas tangentes, normalmente, é usado um aparelho ótico (teodolito). Esses levantamentos permitem que sejam avaliadas as condições reais do alinhamento da via tendo como base de comparação o projeto geométrico da mesma, para que então, possam ser efetuadas as correções necessárias.

Existem métodos matemáticos exatos para a correção de flechas (Chapellet). São, via de regra, muito complexos e por isso, pouco utilizados.

Os métodos práticos são mais simples e mesmo que aproximados são, perfeitamente, satisfatórios.

5.2. ESTUDO DOS PUXAMENTOS

Princípio dos Três Pontos – É o princípio em que se baseia a correção da curva e conforme o esquema abaixo (Fig. 79), consiste no seguinte:

O puxamento "d", aplicado em um ponto "C" de uma curva, altera sua flecha do mesmo comprimento (d), enquanto que as flechas dos arcos vizinhos variam de (- d /2), ambos no mesmo sentido.

Assim, feitos diversos "puxamentos" nos pontos de estacas das curvas, não havendo alteração na sua extensão, nem na posição de suas tangentes, para que não se modifiquem as condições do traçado, a soma de suas flechas terá que permanecer constante, isto é: a soma das flechas no levantamento inicial será igual à soma das flechas após o puxamento. Logo:

$$\sum f = \sum f'$$

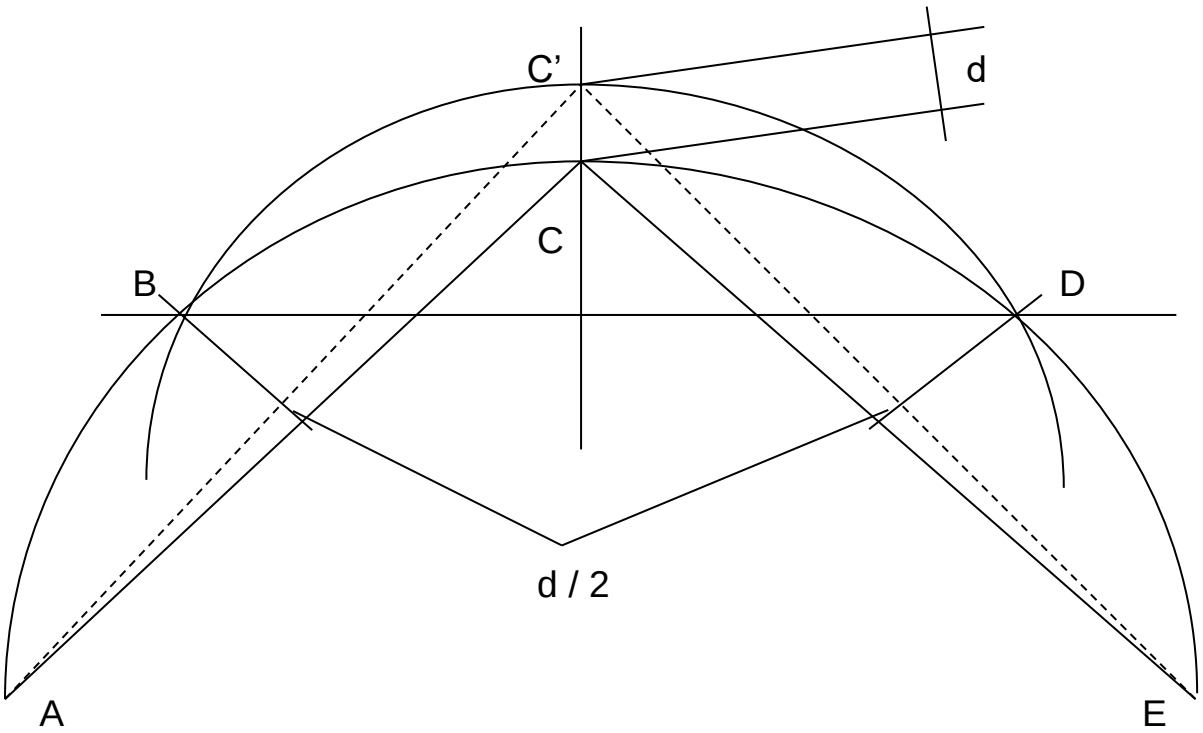


Fig. 79 – Esquema ilustrativo do Princípio dos Três Pontos. (Fonte: Schechtel, 1996).

5.3. MÉTODO DAS FLECHAS PARA CORREÇÃO DAS CURVAS

Consiste em marcar no trilho externo da curva, pontos distanciados de “x” metros (x = 10 m, em geral), a partir de um ponto da tangente, próximo do TE. Esta marcação é chamada de estaqueamento (Fig. 80).

As “estacas” são numeradas ao longo da curva. Depois, são medidas fechas em cada um destes pontos com uma corda de uns 20 m. (Utiliza-se cordel de aço e régua graduada).

As medidas são registradas em planilha e são tomadas, por uniformidade, no ponto de bitola (16 mm abaixo do plano de rodagem, na face interna do boleto).

Em trechos com curvas de raios pequenos (bitola métrica), emprega-se corda de 10 m. Se os raios das curvas forem maiores (bitola padrão), a corda será de 20 m.

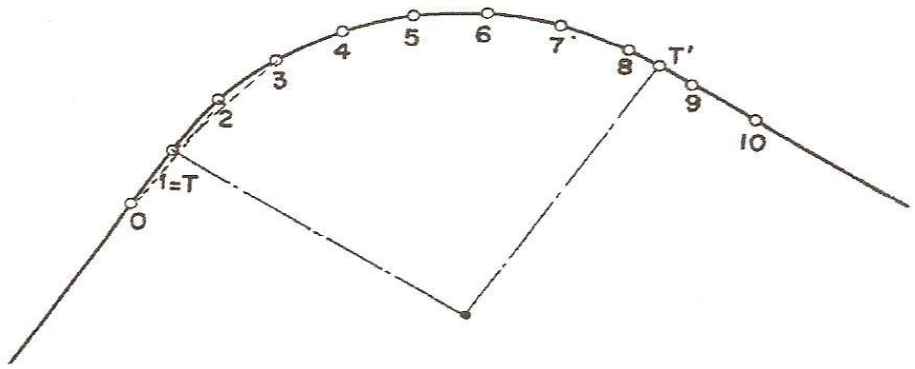


Fig. 80 – Esquema de “estaqueamento” de uma curva. Fonte: Brina (1983).

5.4. GRÁFICO DE FLECHAS LEVANTADAS

As flechas obtidas são plotadas em um gráfico (Fig. 81). O eixo das abcissas será o dos pontos ou estacas, marcados na curva. O das ordenadas será o das flechas referidas. Serão adotadas escalas compatíveis com os valores dos pontos a serem plotados.

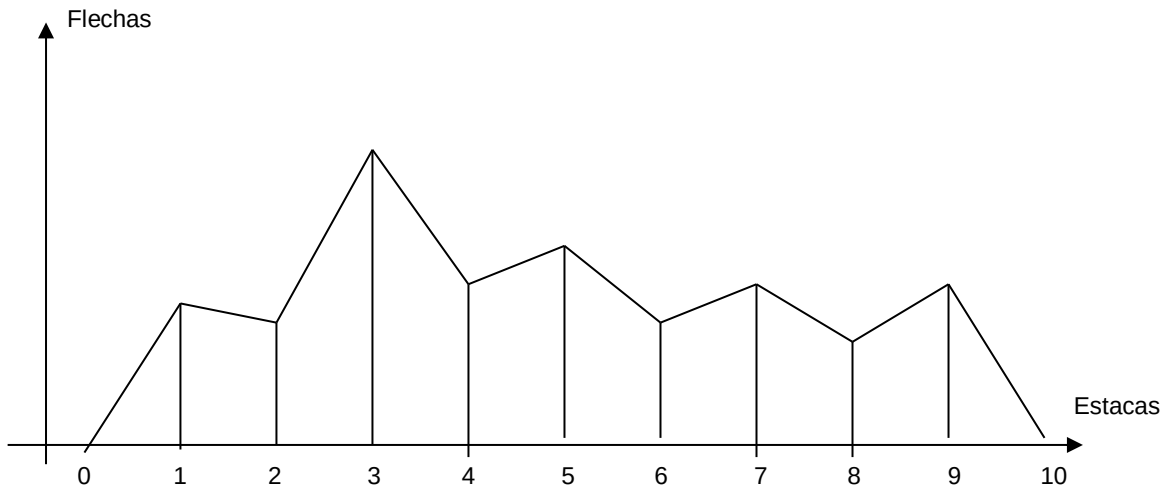


Fig. 81 – Diagrama de Flechas. Adaptado de: Brina (1983).

O diagrama teórico da curva sem transição seria (Fig. 80):

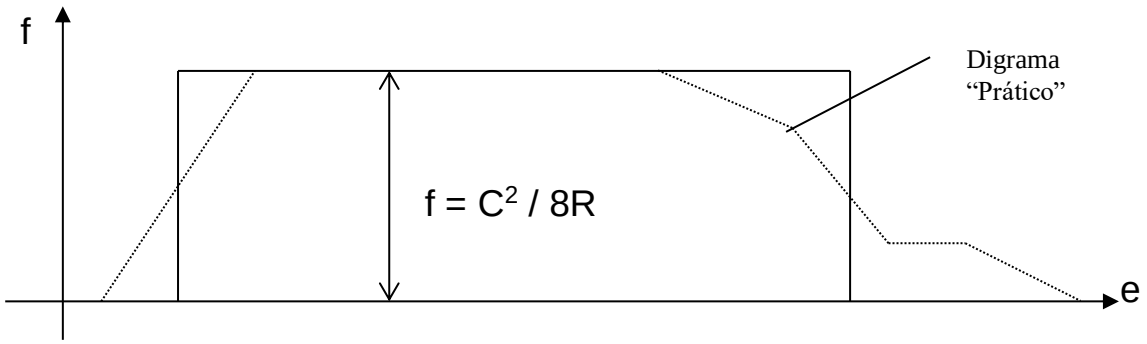


Fig. 82 – Diagrama Teórico de Flechas em Curva Sem Transição. Adaptado de: Brina (1983).

O diagrama teórico de uma curva com transição seria (Fig. 83):

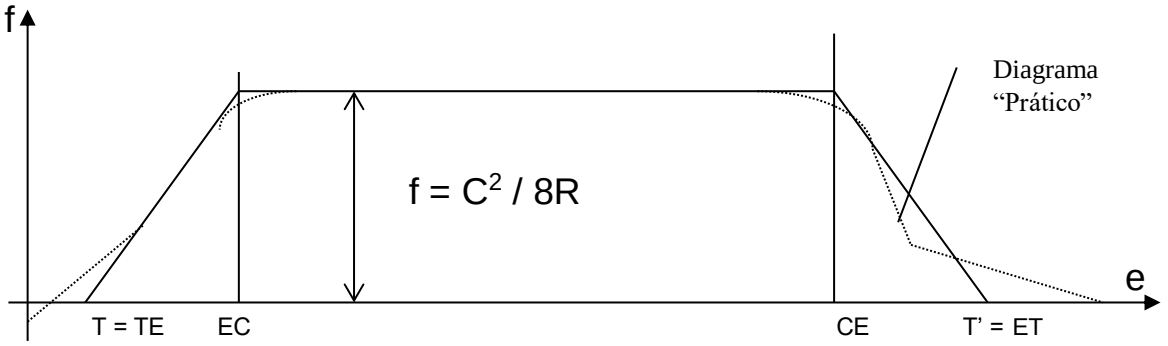


Fig. 83 – Diagrama Teórico de Flechas em Curva Com Transição. Adaptado de: Brina (1983).

Observações:

- as retas inclinadas correspondem à curva de transição (geralmente uma espiral);

- os pontos TE, EC, CE e ET, são os chamados pontos de transição (tangente / espiral; espiral / curva circular; curva circular / espiral; espiral / tangente).
- os diagramas práticos são um pouco diferentes, tendo em vista que em T e T', assim como, em EC e CE, as flechas são menores.

5.5. MÉTODO GRÁFICO COM CALCULADORES MECÂNICOS

Existem também, aparelhos mecânicos, parecidos com ábacos, baseados no Teorema dos Três Pontos e que facilitam o processo de cálculo (Curviliner – americano; Bienfait – suíço, figura 84).

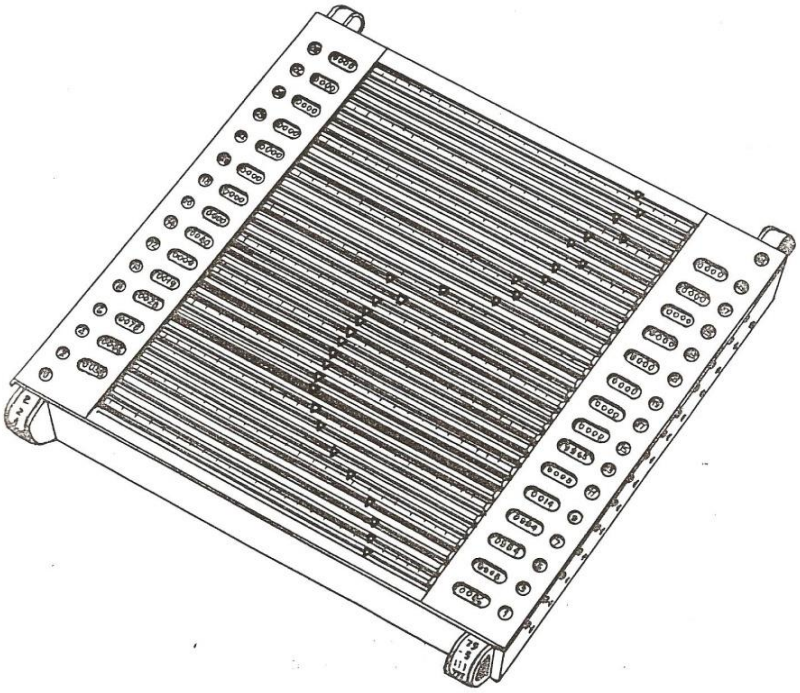


Fig. 84 – Calculador "BIENFAIT". Fonte: Brina (1983).

A operação destes aparelhos é, relativamente, simples. Existe um mostrador com referências móveis, onde se marcam as flechas. Os valores das flechas são marcados na escala do próprio aparelho, movendo-se as referências móveis. Assim, fica materializado no mostrador, o diagrama de flechas, deformado (ordenadas).

Em seguida, com os cursores, vai-se modificando o diagrama teórico, com duas retas inclinadas (transição) e um segmento central (circular). Ao moverem-se os pontos de referência o aparelho aplica, automaticamente, o "Teorema dos Três Pontos". Obtido o diagrama teórico, basta ler no aparelho, na direção de cada ponto (estaca), o valor final do puxamento a ser dado.

Em função da flecha **$f = c^2 / 8R$,** após a aproximação ao diagrama ideal (constante na parte circular), define-se o valor do raio “R”:

R = 50 000 / f ; (corda de 20 m);
R = 12 500 / f ; (corda de 10 m).

Conhecidos o raio da curva e os comprimentos de transição, transformam-se os mesmos em valores de flechas para as máquinas, de modo que ao executar a correção do traçado em planta e logo após ter feito um novo levantamento de flechas, estas acusem uma variação mínima, em relação ao diagrama ideal.

5.6. QUANTO AO NIVELAMENTO

O nivelamento longitudinal é feito através de níveis topográficos convencionais ou através de aparelhos óticos de nivelamento. Este procedimento é, em geral, usado nas tangentes.

Nas curvas é, geralmente, usada uma régua graduada, com nível de bolha, onde se mede a diferença de nível de um trilho para outro, o que caracteriza a “superelevação”.

Ao levantarem-se as flechas, em geral, também são levantadas as superelevações respectivas. Ao mesmo tempo em que são calculadas as novas flechas, calculam-se também as superelevações em cada estaca, de acordo com o critério estabelecido.

5.7. ESTUDO DA SUPERELEVAÇÃO

Como vimos, em uma via férrea, em um plano horizontal, a força centrífuga tende a deslocar o veículo no sentido do trilho externo, causando forte atrito entre ele e os frisos das rodas. Se a “F_c” exceder a certos limites, poderá haver o tombamento da composição.

Para compensar o efeito da “F_c”, inclina-se a via de um ângulo “α”, elevando-se o trilho externo da via através da inclinação do dormente, de modo que se crie uma componente que equilibre a força centrífuga. A diferença de altura entre os trilhos, interno e externo, é chamada de “superelevação”.

5.7.1. Superelevação Teórica

Superelevação teórica é aquela que permitiria equilibrar toda a aceleração centrífuga (m/s^2) decorrente do deslocamento de um trem a uma velocidade "v" (m/s), em uma curva de raio "r" (m). (Fig. 85).

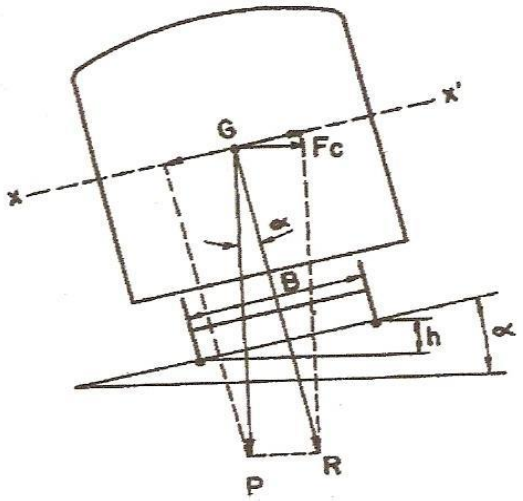


Fig. 85 – Esquema de Forças Atuantes em uma Curva. Fonte: Brina (1983).

Neste esquema, temos:

- P – peso do veículo;
- F_c – força centrífuga [$F_c = m . (v^2 / r)$];
- B – distância de centro a centro de trilhos (B = b + c);
- b – bitola (mm);
- c – largura do boleto;
- v – velocidade, em m/s;
- V – velocidade, em km/h;
- r – raio da curva, em m;
- R – resultante de P e F_c (normal ao plano dos trilhos);
- G – centro de gravidade do veículo.

Projetando-se as forças que atuam em "G", sobre o eixo xx':

$$\mathbf{P \text{ sen } \alpha = F_c \cos \alpha}$$

Como "α" é muito pequeno, cos α = 1 , logo:

$$\mathbf{P \text{ sen } \alpha = F_c}$$

mas: P = m . g; sen α = h / B e $F_c = m. (v^2 / r)$, logo

$$m.\ g\ .\ (h / B) = m\ .\ (v^2 / r)\ \therefore$$

$$\therefore \mathbf{h = (B\ .\ v^2) / (g\ .\ r) = S_t}$$

Mas, como: $g = 9{,}81\ m / s^2$ e $v = 1\ 000\ V / 3\ 600 = V / 3{,}6$, logo

$$\mathbf{S_t = (B\ .\ V^2) / (9{,}81 \times 3{,}6^2 \times r)}\ \therefore$$

$$\therefore \mathbf{S_t = (B\ .\ V^2) / 127\ .\ r}$$

Pelas normas da RFFSA (DNIT), para a bitola métrica:

$$\therefore \mathbf{S_t = (8{,}34\ .\ V^2) / r}$$

Onde:
- B = 1060 mm
- V – em km/h;
- r – em m;
- S_t – Superelevação Teórica.

5.7.2. <u>Superelevação Prática</u>

a) <u>*Critério Empírico*</u> - Em trechos em que circulam trens com diversas velocidades, adota-se a superelevação prática, como segue:

$$\mathbf{S_p = 2 / 3\ S_t = 2 / 3\ [(8{,}34\ .\ V^2) / r]}\ \therefore$$

$$\therefore \mathbf{S_p = (5{,}56\ .\ V^2) / r}$$

Onde:
- V – velocidade do trem mais rápido, no trecho;
- S_p – Superelevação Prática.

Observação:

- Se for aplicada a Superelevação Teórica (S_t), usar “V”, igual à velocidade do trem mais lento.

b) <u>*Critérios Racionais*</u>

b.1) *Critério de Segurança ou de Estabilidade nas Curvas*

Parte da F_c não é equilibrada, mas a estabilidade fica garantida por um coeficiente de segurança, definido em função da altura do centro de gravidade da composição (G), em ralação aos trilhos.

b.2) *Critério do Conforto*

É a superelevação prática que é dada de modo que a aceleração centrífuga não cause desconforto aos passageiros.

Assim, a parcela de redução da superelevação devida à aceleração descompensada será:

$$\Delta s = (B / g) \cdot \gamma$$

Onde:
γ - aceleração descompensada

Logo:

$$S_p = S_t - \Delta s = S_t - [(B / g) \cdot \gamma]$$

Observações:

1) A RFFSA adota, para bitola métrica, os seguintes valores:
- trens de passageiros: $\gamma = 0{,}55$ m/s^2;
- trens de carga vazios: $\gamma = 0{,}429$ m/s^2;
- trens de carga carregados: $\gamma = 0$; $S_p = S_t$.
2) Calculada a superelevação pelos dois critérios, para uma determinada curva de raio "r", adota-se o maior dos dois valores encontrados.
3) As normas brasileiras determinam que a resultante das forças atuantes nos veículos deve ficar contida no terço médio da bitola, tanto para o trem mais rápido, quanto para um veículo parado sobre a curva.

5.7.3. <u>Limites da Superelevação</u>

Pelas normas da RFFSA, a máxima superelevação, será:

- 160 mm, para bitola larga (1 600 mm);
- 100 mm, para bitola estreita (1 000 mm).

5.7.4. Superelevação nas Curvas de Concordância

Nas curvas de concordância a superelevação deveria variar de 0 (zero) a S, por valores, os menores possíveis.

Sendo “V”, a velocidade em km/h, a variação deve situar-se entre os seguintes valores (inclusive):

- 1 mm/m e no máximo, 1,5 mm, para V > 100 km/h;
- 1 mm/m e no máximo, 2.0 mm, para 100 km/h ≥ V ≥ 80 km/h;
- 2 mm/m e no máximo, 3,0 mm, para 80 km/h ≥ V ≥ 60 km/h;
- 3 mm/m e no máximo, 4,0 mm, para 60 km/h ≥ V ≥ 40 km/h;
- 4 mm/m, quando V ≤ 40 km/h.

Observações:
- Quando o traçado não permitir introdução da curva de concordância na extensão necessária, a transição da superelevação deve estender-se ao trecho em tangente;
- Neste caso a velocidade deverá ser V< 60 km/h.

5.7.5. Execução da Superelevação

A correção da superelevação deve ser precedida, sempre, da correção de curva com prévio levantamento das flechas, para uma determinada corda. Admite-se, ser conhecida a curva pelas flechas corrigidas nos diversos pontos de levantamento.

Quando o puxamento e o nivelamento são executados, a superelevação é dada pela própria máquina que executa a operação, sendo fundamental o estabelecimento prévio da velocidade e da extensão da concordância.

No caso de ser executada a superelevação automaticamente, por meio de máquinas, basta que se forneça ao operador o valor de “S”.

5.7.6. Velocidade Limite

É a velocidade máxima de tráfego em uma curva, estando o veículo sujeito à aceleração descompensada máxima permitida e a curva com máxima superelevação.

Para o cálculo, basta aplicar na fórmula da superelevação prática, o valor de superelevação máxima. Considerando "V_{Lim}", a velocidade limite, temos:

$$\mathbf{S_{max} = [(B \cdot V^2_{Lim}) / (g \cdot r)] - (B / g) \cdot \gamma \quad \therefore}$$

$$\mathbf{\therefore V_{Lim} = \{[(B \cdot \gamma + S_{max} \cdot g)] \cdot r / B\}^{1/2}}$$

Observações:

Para a RFFSA –

1) Trens de passageiros, bitola métrica
- $\gamma = 0{,}55\ m/s^2$ e $S_{max} = 100$ mm;
- $V_{Lim} = 4{,}37\ (r)^{1/2}$.

2) Trens de carga vazios, bitola métrica:
- $\gamma = 0{,}429\ m/s^2$ e $S_{max} = 100$ mm;
- $V_{Lim} = 4{,}18\ (r)^{1/2}$.

3) Trens carregados, bitola métrica:
- $\gamma = 0\ m/s^2$ e $S_{max} = 100$ mm;
- $V_{Lim} = 3{,}46\ (r)^{1/2}$

6. <u>ESTAÇÕES, PÁTIOS E TERMINAIS</u>

6.1. INTRODUÇÃO

Estações, pátios e terminais, são instalações tão importantes quanto a própria via.

A eficiência de operação da via é função da adequação e funcionalidade destas estruturas de apoio.

Os terminais são fundamentais na recepção, transbordo e expedição de cargas e no atendimento ao público.

Uma grande parte dos custos totais dos transportes ferroviários, principalmente, de cargas está vinculado aos terminais, pátios e estações.

6.2. CONCEITUAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

6.2.1. Conceituação

Embora não haja uma nítida diferenciação entre os conceitos de terminal, pátio e estação, já que todos têm por função o atendimento a necessidades do sistema de transporte ferroviário, relativas a recepção classificação e despacho de cargas e passageiros, pode-se, didaticamente, conceituá-los como segue:

a) *Estação*

O termo "estação" é um substantivo com origem na palavra latina *"statio"* que significa "posto, lugar que se ocupa". Este vocábulo tem o mesmo radical de *"stare"* (estar, ficar) e que deu origem ao verbo estar com o significado de permanecer, ficar. Designa então uma parada ou paragem, um local de permanência. Neste contexto, são instalações que identificam, geralmente, uma cidade ou vila ao longo da linha, pelas quais os trens passam em desvio, diretos, ou parando na plataforma em horários determinados.

b) *Pátio*

O pátio é uma parte integrante do terminal, composta por um sistema de vias, em espaço delimitado, destinado à formação ou desmembramento de trens, além de reparação e abastecimento de combustível, lubrificantes, vistorias, etc. no qual, entretanto, a movimentação de vagões ou trens não obedece a horários, mas a sinais e regras prescritas ou a instruções especiais.

c) *Terminal*

Um terminal, em sentido amplo, é qualquer ponto da via de transporte ferroviário, onde existam equipamentos e instalações, para: carga e descarga de mercadorias; baldeação e triagem; armazenamento e manutenção; reparação e abastecimento dos veículos; embarque e desembarque de passageiros; sem que seja necessário, de acordo com a modalidade a que serve atender a todos estes requisitos.

Os terminais diferenciam-se dos pátios, pela predominância de maior movimentação de cargas e descargas, ou ambas.

Sua posição não é, necessariamente, num ponto inicial, final ou numa extremidade de linha ou ramal. Neste caso a expressão “terminal” tem o sentido de predominância de chagada ou saída de carga.

6.2.2. Classificação

Terminais, pátios e estações, podem ser classificados segundo dois critérios:

a) Quanto à posição, na via:
- De extremidades;
- Intermediários.

b) Quanto à função exercida:
- Para passageiros;
- Para mercadorias;
- Para triagem ou classificação;
- Marítimos ou portuários.

6.3. ESTAÇÕES

O termo “Estação” está, em geral, relacionado ao transporte, atendimento e acomodação de passageiros.

6.3.1. Classificação

Por ordem de importância, as estações podem ser assim classificadas:
- Abrigos;
- Paradas:
- Estações do tipo padrão;
- Estações específicas para passageiros;
- Grandes estações centrais ou terminais;
- Estações de integração intermodais.

a) *Abrigo*
Pequena construção de madeira ou alvenaria, utilizada para paradas facultativas dos trens de zona rural.

b) *Parada*

Consiste de uma pequena construção e de um desvio, para atender pequeno movimento de passageiros e mercadorias e cruzamentos de trens, em lugares de parada facultativa, em zona rural.

c) *Estação do Tipo Padrão*

Possuem, além de plataforma, um edifício dotado de sala de espera com sanitários para os usuários, locais para bagagem e mercadorias, e sala para o agente da estação. Dispõem de vários desvios para o movimento dos trens.

d) *Estações Específicas para Passageiros*

São compostas pelo edifício dotado de toda a infraestrutura para receber e atender os passageiros durante o tempo de permanência.

Observação:

O projeto de estações de passageiros, embora ligado à operação ferroviária, é muito mais um problema da área da arquitetura do que de engenharia civil.

6.4. PÁTIOS

6.4.1. Definição

Correspondem ao conjunto de instalações ferroviárias e sistemas de feixes de linhas, onde se processam:

- Fracionamento de composições;
- Formação de composições;
- Recepção, cruzamento e partida de trens;
- Estacionamento de vagões e outros veículos;
- Manobras diversas.

6.4.2. Tipos Básicos de Pátios

a) *Pátios de Cruzamentos*

São pátios destinados apenas para o cruzamento ou ultrapassagem de trens.

São compostos de um desvio de comprimento útil, suficiente para conter o trem tipo que circula no trecho.

Poderá, além deste desvio principal (2), conter um outro menor, para estacionamento de vagões e veículos avariados (1), retirados das composições (Fig. 86).

No caso de haver pequena estação no conjunto, pode ser conveniente a existência de um desvio (3) para carga e descarga de caminhões.

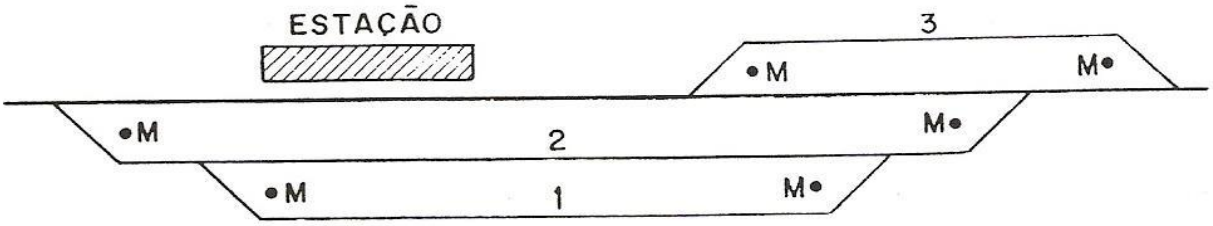


Fig. 86 – Pátio de Cruzamento. Fonte: Brina (1983).

b) *Pátios de Triagem*
São caracterizados por permitirem operações de fracionamento ou formação de composições sendo, normalmente, situados em polos industriais ou urbanos de grande porte, em entroncamentos de duas linhas e nos pontos de quebra de tração (mudança do perfil da linha, final de serra e início de planalto).

c) *Pátios Terminais*
São caracterizados por possuírem:
- Maior movimento de carga e descarga de mercadorias (Terminais de Carga);
- Maior movimento de passageiros (Terminais de Passageiros).

6.4.3. Partes Componentes de um Pátio

a) *Linhas*
As linhas ou vias que compõem os pátios e formam os "feixes de linhas", têm características específicas e podem ser descritas como segue:

a.1) ***Linha Principal*** – é a linha de melhor traçado do pátio, onde os trens circulam sem que haja necessidade de mudança de direção;

a.2) ***Linha Secundária*** – é a linha que parte da principal, para a qual são desviados os trens que devem aguardar cruzamento ou ultrapassagem;

a.3) ***Linha de Circulação*** – é a linha destinada para deslocamento de veículos e locomotivas de manobras de um extremo ao outro do pátio;

a.4) ***Linhas Específicas*** – são aquelas que têm funções bem definidas nos "feixes de linhas" que compõem os pátios:

- Linha de transferência de carga;
- Linha de passagem;
- Linha de armazém;
- Linha de abastecimento;
- Linha de reparação;
- Linha de estacionamento de trens de socorro;
- Linhas diversas (outras).

b) *Haste de Manobra*

É um segmento de linha, situado no extremo do pátio que serve para a movimentação da composição ou parte dela, sem interferir em outras correntes de tráfego, garantindo uma elevada flexibilidade operacional, isto é, possibilitando executar várias manobras, simultaneamente.

c) *Pera Ferroviária*

É um sistema muito utilizado em terminais de calcário, carvão e outros minérios (granéis).

Consiste em uma linha de traçado circular em que se situa o dispositivo de carregamento de composições de trens, em movimento contínuo.

A composição é pesada na entrada e na saída, na mesma balança, situada na entrada da pera.

d) *Triângulo de Reversão*

Aparelho de via usado para efetuar a mudança de sentido, no deslocamento de um veículo.

e) *Giradores*

Equipamentos utilizados para girar veículos, instalados em pátios, onde não é possível a construção de triângulos de reversão por falta de espaço, ou outros motivos.

f) *Edifícios Administrativos*

São as estações.

g) *Armazéns e Barracões*
Utilizados para armazenagem de cargas antes, durante e depois das operações de transporte.

h) *Torre de Comando*
Central de controle da via.

i) *Iluminação*
Instalações elétricas completas, com cabos, postes, refletores, transformadores, quadros de comando, relês e chaves que permitem a operação noturna dos pátios de manobra.

6.4.4. *Lay-Out* dos Pátios

O "*lay-out"* dos pátios é caracterizado pelo agrupamento das linhas que os compõem, em feixes de linhas que formam "desvios" e se prestam a funções bem específicas. Assim, temos:

a) *Feixes de Linhas Múltiplos*
Pátios de maior importância, devem possuir diversos "feixes de desvios" que serão dispostos de acordo com as necessidades de cada "terminal" e para os quais será dirigida a composição ou suas frações, conforme a necessidade específica do serviço (Fig. 87):

a.1) Feixe de recepção;
a.2) Feixe de separação (triagem);
a.3) Feixe de classificação (ou de formação);
a.4) Feixe de partida.

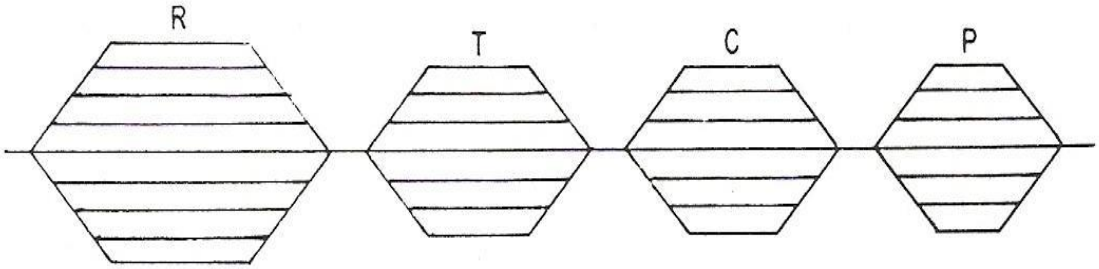


Fig. 87 – Esquema de Disposição de Pátio Ferroviário Completo. Fonte: Brina (1983).

Nesse exemplo, o trem ao ingressar no pátio, entra no "feixe de recepção", onde é desligado da locomotiva que segue para a linha de

manutenção ou de revisão. Em seguida a composição é fracionada com utilização de locomotiva de manobra.

Do “feixe de recepção”, os vagões desligados, são conduzidos para o “feixe de triagem”, onde os vagões são separados por destino geográfico.

No “feixe de classificação”, completa-se a seleção dos vagões, colocando-os por ordem de destino.
No ”feixe de partida” deve haver um número de desvios correspondentes aos diferentes destinos.

O pátio pode necessitar de linhas independentes de acesso ao parque de manutenção de locomotivas ou ao estacionamento.
Em pátios de menor importância, os feixes de triagem e de classificação podem ser englobados em um único feixe.

b) *Feixe de Linha Único*
Pátios de pequena intensidade de movimentação são compostos apenas por um único feixe, com grande número de linhas, divididas, em:
- Linha de recepção;
- Linha de triagem;
- Linhas de formação e partida;
- Linhas de estacionamento.

6.4.5. Pátio de Classificação por Gravidade

Quando a quantidade de vagões a serem classificados é elevadíssima, utiliza-se o sistema de classificação por gravidade que é composto por rampa e contrarrampa e é localizado entre o pátio de recepção e o de classificação (Fig. 88).

A composição que se quer classificar e fracionar é empurrada até a rampa onde o vagão ou grupo de vagões é lançado numa contrarrampa até alcançar velocidade, dirigindo-se para uma linha pré-estabelecida do feixe de classificação.

No trajeto entre a rampa e o feixe de classificação, existem dispositivos retardadores que são conjuntos de frenagem que controlam a velocidade dos vagões que transitam sobre eles imprimindo-lhes, nas rodas, uma força retardadora para que os veículos atinjam a extremidade da linha

destinada ou para engatar suavemente os vagões que já estejam nesta linha.

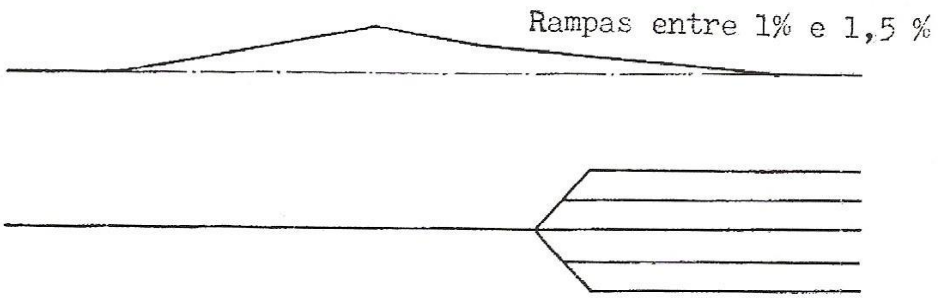


Fig. 88 – Esquema de Pátio de Gravidade. Fonte: Brina (1983).

Nestes pátios, a frenagem é controlada por computadores, em função de dados fornecidos, tais como:
- Peso do vagão;
- Extensão a percorrer;
- Velocidade de saída de contrarrampa (medida com radar);
- Condições da superfície de rolamento dos trilhos (seco, úmido).

6.5. TERMINAIS

6.5.1. <u>Descrição e Organização</u>

Um terminal é um conjunto de pátios, plataformas, galpões, vias férreas, equipamentos para carga e descarga, oficinas, depósitos de combustíveis, de água, etc., destinado a receber as composições ferroviárias, para recepção, transbordo e expedição das suas cargas e atendimento ao público usuário do sistema.

Os terminais são organizados visando-se:
- Redução do tempo de carga e descarga;
- Aumento da produtividade das plataformas de carga e descarga;
- Redução da ociosidade dos trabalhadores das plataformas;
- Diminuição da ocorrência de avarias em embalagens e mercadorias;
- Eliminação da possibilidade de extravio de cargas e mercadorias despachadas;
- Melhoria dos armazéns de estocagem;
- Racionalização da administração;
- Prestação de atendimento eficiente ao usuário.

Assim, nos terminais ferroviários:
- Chegam e transitam cargas e passageiros;
- Locomotivas são reabastecidas, lubrificadas e vistoriadas;
- Vagões são submetidos à triagem;
- Vagões são carregados e descarregados

A eficiência de um terminal de cargas mede-se pelo tempo gasto desde que a unidade de transporte tenha sido colocada no pátio, até o momento em que após a descarga no destino ou carga no armazém, esteja novamente apta para ser recarregada ou reengatada para seguir viagem.

6.5.2. Tipos de Terminais

a) *Terminais Portuários*
- Sistemas onde se conjugam diferentes modais de transporte.

b) *Terminais Intermodais com fins específicos*
- Terminal de Combustível;
- Terminal de Calcário;
- Terminal de Minério;
- Terminal de Contêineres;
- Outros.

c) *Exemplo de um Terminal Simples de Cargas e Passageiros*
Seja, por exemplo, o desenho esquemático de um terminal ferroviário, abaixo representado:

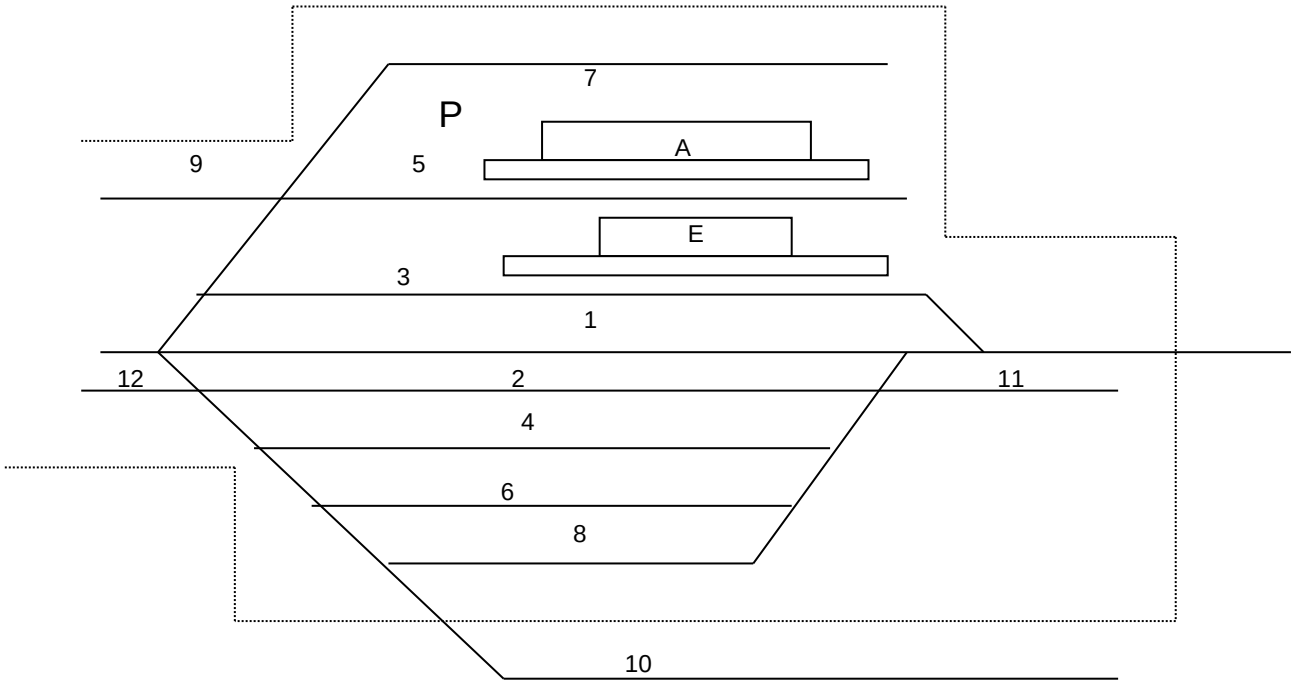


Fig. 89 – Esquema de um Terminal Simples de Carga. (Fonte: Schechtel, 1996).

Neste esquema, temos:
1 - Via de tráfego;
2 - Via de cruzamento e ultrapassagem;
3 - Via de embarque e desembarque de passageiros;
4 - Via de formação de trens;
5 - Via de embarque e desembarque de carga armazenada;
6 - Via de formação de trens;
7 - Via de embarque e desembarque de carga direta;
8 – Via de estacionamento;
9 - Haste de manobra;
10 - Ramal particular;
11 - Haste de manobras;
12 - Haste de manobras;
A - Armazenagem;
P - Áreas de estacionamento;
E - Estação de passageiros.

6.6. LOCALIZAÇÃO DOS PÁTIOS E TERMINAIS

Existem pontos de passagem do traçado da ferrovia, onde é obrigatória a implantação de um pátio ou um terminal. Assim, são, por exemplo:
- polos geradores de receitas;

- entroncamentos ferroviários;
- pontos de intermodalidades;
- núcleos habitacionais de importância.

Outros pontos são também indicados pelas áreas de estudos operacionais, em função da necessidade de capacitar o trecho, à vazão do número de trens necessários para o escoamento do volume previsto de mercadorias, neste trecho.

Também, é necessário prever dentro dos diversos patamares de demanda futura, a inserção de novos pátios de manobra no trecho, uma vez que a redução no tempo de percurso entre as estações é uma das formas para aumento de vazão. Para tanto, o traçado nesses locais deverá estar preparado para receber uma linha secundária.

6.7. PROJETOS DE PÁTIOS E TERMINAIS

6.7.1. Fatores Condicionantes

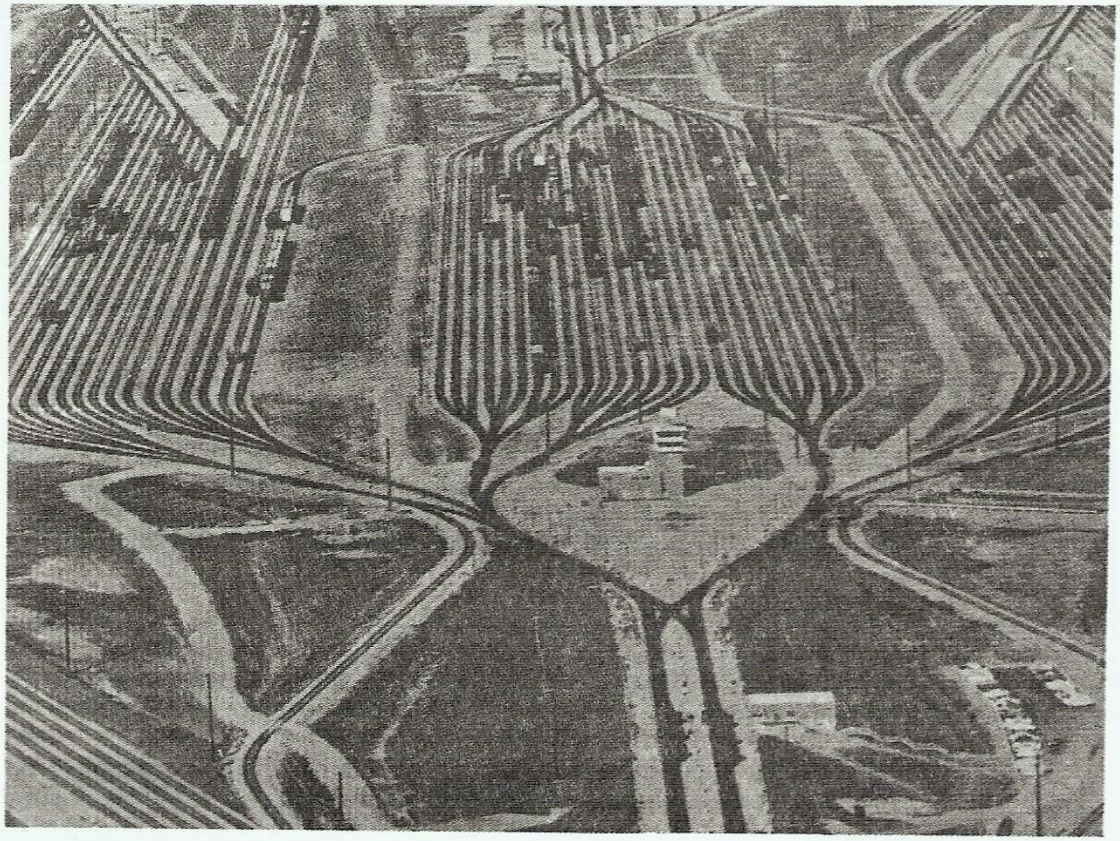
Embora existam algumas regras gerais para projetos, cada terminal (ou pátio) representa um problema especial que deve ser resolvido tendo em vista as condições e situações locais e específicas.

Um terminal deve ser projetado de acordo com as necessidades impostas pelo tráfego e para ser eficiente deve contar com:
- Guindastes e pórticos ou empilhadeiras, para movimentação das cargas;
- Silos para carregamento rápido;
- Acessos rodoviários planejados;
- Iluminação projetada para atender o trabalho noturno;
- Sinalização adequada;
- Sistema eficiente de comunicação com o centro de movimentação de vagões (torre de controle).

Diversos fatores técnicos condicionam o posicionamento de pátios e terminais. Entre eles, podemos citar:

- *Topografia* – evitar grandes movimentos de terra;
- *Geologia* – evitar afloramentos rochosos, talus e bacias sedimentares;
- *Geotecnia* – evitar solos compressíveis de grande espessura e extensão que têm um alto custo de remoção e substituição;

- *Urbanismo* – evitar áreas que gerem desapropriações onerosas;
- *Hidrologia* – evitar lugares sujeitos a inundações ou que necessitem de obras de drenagem onerosas;
- *Planta e Perfil dos Pátios* - o pátio deverá ser retilíneo, tanto quanto possível. Em perfil, o pátio deverá ser em nível ou ter, no máximo, rampas de até 0,25%;
- *Drenagem* – A seção transversal do pátio deverá ter inclinação de 3%, para cada lado. Quando for, a seção, muito extensa, deverá a mesma ser dividida em faixas, com os mesmos 3% de inclinação. Atenção especial deverá ser dada às áreas onde estarão situados os AMVs.



VISTA DEL PATIO DE TORONTO

	CANADIAN PACIFIC	CANADIAN NATIONAL
Superficie.	1,750,000 m²	4,050,000 m²
Vías.	145 Km	254 Km
Vías de Clasificación. . .	63	67 50 locales princ.
Interruptores de vías. . .	311	561
Capacidad de Clasificación diaria	3000-3300 carros	5000 carros
Capac. de estacionamiento.	5115 carros	11,000 carros

Fig. 90 – Pátio de Toronto (Canadá). (Fonte: Togno, 1968).

6.7.2. Dimensionamento

Para um perfeito dimensionamento das necessidades de um terminal, é necessário conhecer-se:
- O número de trens que chegam e partem, por dia;
- O número de veículos, por trem;
- O tempo de permanência dos vagões;
- O tempo de manutenção das locomotivas;
- O tempo de abastecimento das locomotivas.

Um pátio funcional deve ter as seguintes características:
- A menor movimentação possível dos vagões, sem retrocessos;
- Circulação, até a estação, por linhas externas ao feixe;
- Passagem de um feixe a outro, sem atravessarem-se os feixes intermediários.

7. MATERIAL RODANTE

7.1. INTRODUÇÃO

7.1.1. Definição

Material Rodante Ferroviário é todo e qualquer veículo ferroviário, capaz de deslocar-se sobre a via férrea.

7.1.2. Classificação do Material Rodante, em função de sua Finalidade Principal

- Material Rodante Ferroviário:
  a) Material de Tração
     a.1) Locomotiva;
     a.2) Trator de linha;

  b) Material de Transporte
     b.1) Autopropulsado:
        b.1.1) Automotriz;
        b.1.2) Carro motor;
        b.1.3) Metropolitano;
        b.1.4) Auto de linha;
        b.1.5) Carro de controle;

b.2) Rebocado:

b.2.1) Carro:

b.2.1.1) de 1ª Classe;
b.2.1.2) de 2ª Classe;
b.2.1.3) Suburbano;
b.2.1.4) metropolitano;
b.2.1.5) Pullmann;
b.2.1.6) Dormitório;
b.2.1.7) Bar;
b.2.1.8) Buffet;
b.2.1.9) Restaurante;
b.2.1.10) Administrativo;
b.2.1.11) de Inspeção;
b.2.1.12) Correio;
b.2.1.13) Chefe;
b.2.1.14) Caboose;
b.2.1.15) Controle;
b.2.1.16) Pagador;

b.2.2) Vagão (ver Anexos):

b.2.2.1) Fechado:

b.2.2.1.1) Carga geral;
b.2.2.1.2) Graneleiro;
b.2.2.1.3) Isotérmico;
b.2.2.1.4) Frigorífico;
b.2.2.1.5) Tanque:

b.2.2.1.5.1) Líquidos;
b.2.2.1.5.2) Pulverulentos;
b.2.2.1.5.3) Gases;
b.2.2.1.5.4) Pastosos;

b.2.2.2) Aberto:

b.2.2.2.1) Plataforma:

b.2.2.2.1.1) Comum;
b.2.2.2.1.2) Cofre de carga;
b.2.2.2.1.3) Automóveis;
b.2.2.2.1.4) Piggy-back;

b.2.2.2.2) Gôndola:

b.2.2.2.2.1) Caixa fixa;
b.2.2.2.2.2) Caixa basculante.

Resumidamente, o “Material Rodante” também pode ser classificado, como segue:

a) Locomotivas – veículos de tração;
b) Carros – veículos para transporte de passageiros;
c) Vagões – veículos para transporte de carga.

7.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO MATERIAL RODANTE

a) Forma tronco-cônica das rodas, com friso no aro;
b) Disposição das rodas, em rodados (truques), com dois pares de rodas paralelas;
c) Ligação rígida das rodas aos eixos;
d) Paralelismo de “rodeiros” conjugados;
e) Simetria em relação ao eixo (seção transversal).

7.3. PARTES FUNDAMENTAIS DO MATERIAL RODANTE

7.3.1. Rodas

a) *Diâmetro*:
- Europa – 0,90 m $\leq$ D $\leq$ 1,0 m;
- Brasil e EUA - 0,74 m $\leq$ D $\leq$ 0,91 m.

b) *Partes Principais*:
- Aro;
- Centro ou cubo.

c) *Tipos de rodas mais utilizados*:

c.1) ***Roda de ferro fundido coquilhado***:
- São empregadas apenas em vagões (exceto em vagões tanques ou para transporte de mercadorias perigosas);
- Têm como vantagens: menor preço; grande dureza; maior coeficiente de atrito com as sapatas dos freios.

c.2) ***Roda de aço forjado e laminado***:
- São utilizadas em locomotivas, carros e vagões;
- São fabricadas a partir de um tarugo de aço. (O processo inclui aquecimentos, prensagens, resfriamentos controlados, tratamentos térmicos e usinagem).

c.3) ***Rodas de aço fundido***:

- Inventadas para substituir as rodas de ferro fundido (permitem velocidades e esforços de frenagem maiores);
- Usadas no Brasil, ainda, experimentalmente;

d) *Aro*:

- É a parte da roda que constitui a superfície de rodagem, sobre o trilho.

e) *Conicidade das rodas*:

- As rodas ferroviárias têm forma "tronco-cônica", de modo que os centros dos eixos dos veículos sejam conduzidos pela ação da gravidade, para o centro da via, evitando o contato permanente entre frisos e trilhos, diminuindo o desgaste de ambos.
- Nas curvas, o atrito também é menor;
- Essa característica facilita a inserção dos truques nas curvas por possibilitar a adaptação da bitola entre as rodas em diagonal;

Observações:

- Verificou-se, entretanto que com aros cilíndricos, o movimento sinuoso, especialmente dos truques das locomotivas, é menor;
- Com aros cilíndricos é também, menor o movimento de *"lacet"*;

f) *Desgaste e reparação dos aros*:

- Os aros deformam-se por desgaste, principalmente, nos frisos;
- Em geral, as duas rodas de um eixo são substituídas, após três sucessivos torneamentos ("três vidas");
- A conicidade reduz o efeito de formação de sulcos na superfície de rodagem (pelo boleto).

g) *Desgaste das rodas e do trilho*:

- É preferível adotar a solução de escolher trilhos mais duros que causem mais desgaste nas rodas e nos frisos, porquanto, é mais fácil e econômico reparar as rodas do que promover a substituição dos trilhos;
- O torneamento é feito no material rodante, a cada 100 000 km;
- Algumas empresas costumam recompor os frisos das rodas por soldagem, o que gera grande economia na manutenção;

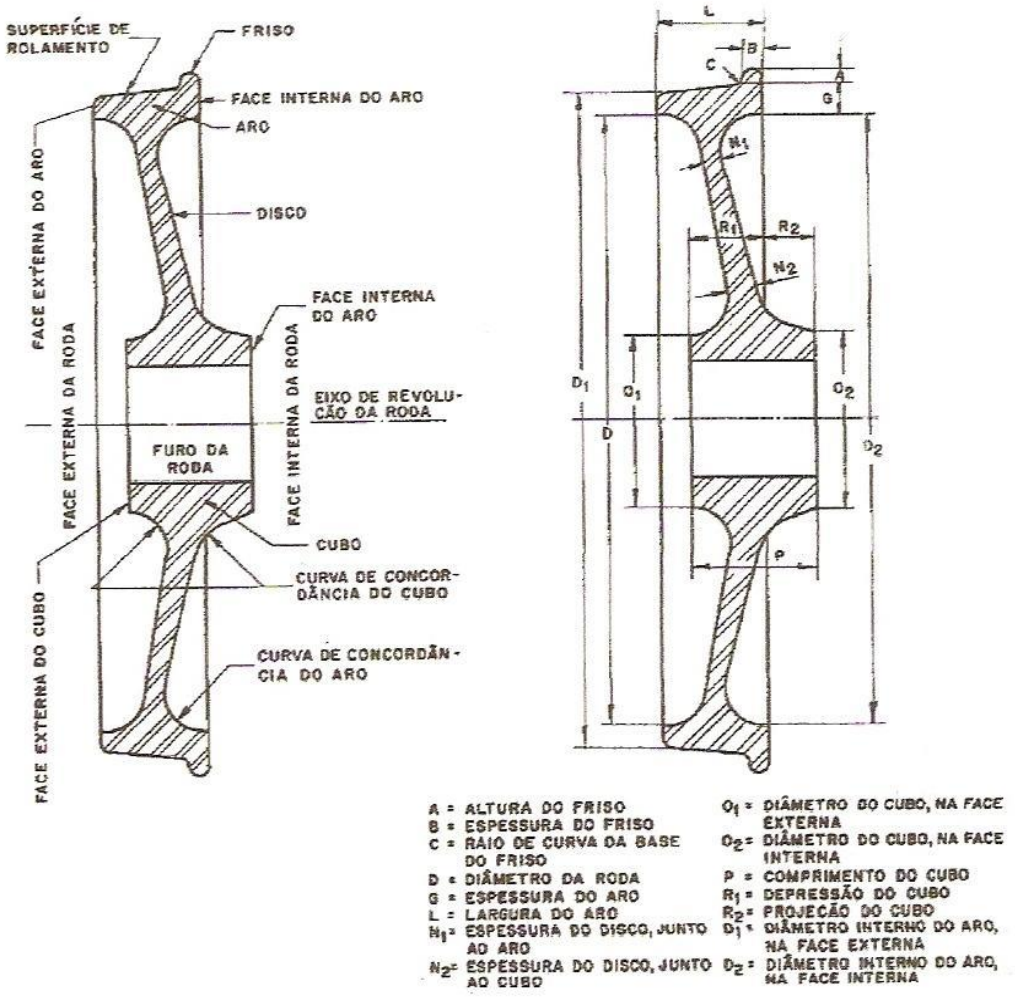


Fig. 91 – Rodas em Corte. Fonte: Brina (1983).

7.3.2. <u>Eixos</u>

A carga, em geral, apoia-se externamente à roda, sobre o prolongamento do eixo.

Num eixo distinguem-se três partes principais:
- Fuste ou corpo do eixo;
- Seções de calagem das rodas;
- Mangas.

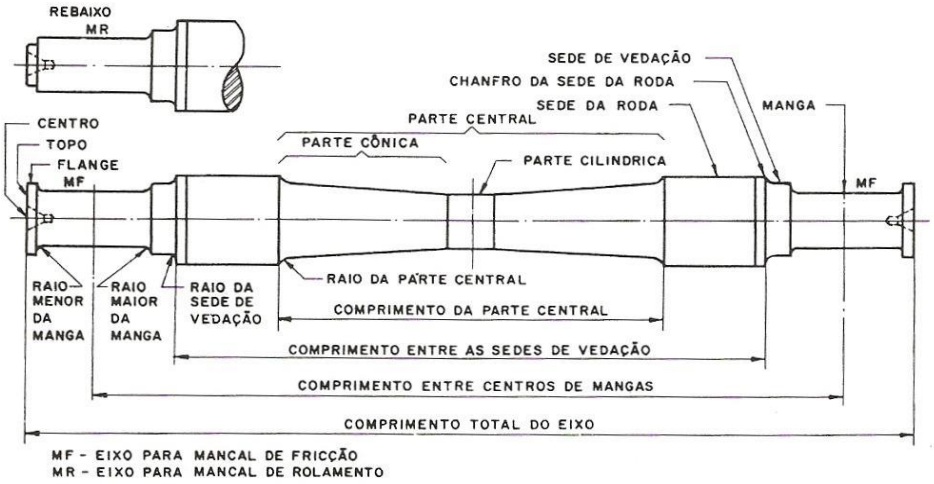


Fig. 92 – Eixo Ferroviário. Fonte: Brina (1983).

a) *Dimensões dos eixos*:

A forma e as dimensões dos eixos são dadas em função dos esforços a que são submetidos, isto é:
- Esforços cortantes (cisalhamento);
- Flexões.

TIPO	MANGAS	PESO BRUTO MÁXIMO (kgf)
A	3 ¾” x 7”	30 000
B	4 ¼ “ x 8”	47 000
C	5” x 9”	64 000
D	5 ½” x 10”	80 000
E	6” x 11”	100 000
F	6 ½” x 12”	119 000

Observações:
1. Peso bruto máximo – carga do vagão sobre os trilhos;
2. Carga útil – peso bruto máximo, menos o peso do vagão;
3. Lotação nominal – é um valor um pouco menor que a carga útil (é marcada no vagão).

b) *Rodeiro*:

É o conjunto de duas rodas, caladas em um mesmo eixo.

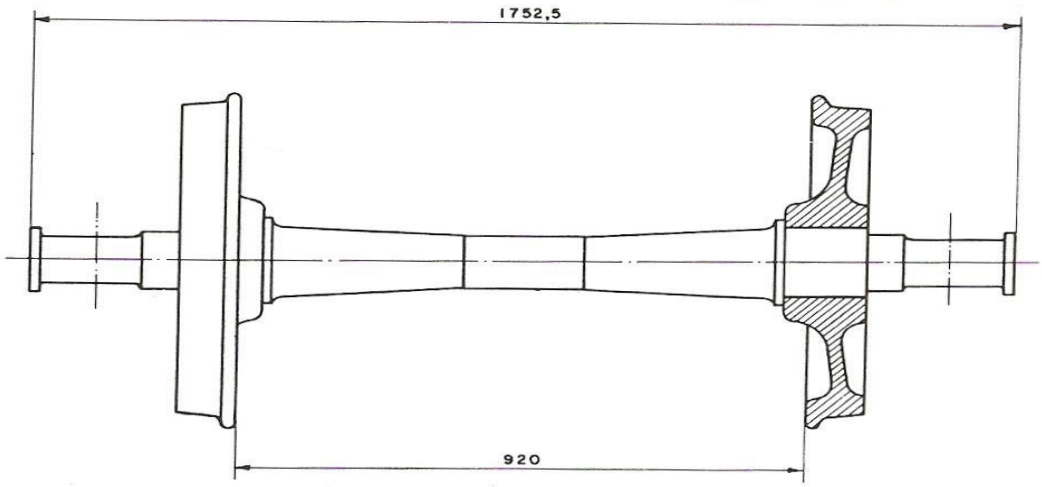


Fig. 93 – Rodeiro. Fonte: Brina (1983).

As rodas são fixadas ao eixo, por pressão, devendo o diâmetro do furo, ser menor que o do eixo.

7.3.3. Mancais

As cargas do material rodante são transmitidas aos eixos através dos mancais. As mangas ficam encerradas dentro de um receptáculo, chamado de "caixa do mancal", onde estão acondicionados os mancais,

A Caixa do Mancal é composta, por:

a) *Caixa*;
b) *Obturador*;
c) *Mancal, propriamente dito* que pode ser:
   c.1) **De *atrito*** – são de bronze e podem ser de peça única (sem metal de antifricção) ou de duas peças (com superfície interior revestida com capa de metal branco) (Fig. 94);
   c.2) ***De rolamento*** – contém rolamentos de esfera ou rolos. Não têm aplicação muito difundida na indústria ferroviária por ficarem os mesmos, sujeitos a choques violentos na passagem pelas juntas, o que causa ruptura nas caixas de rolamentos e lubrificação (Fig. 95).

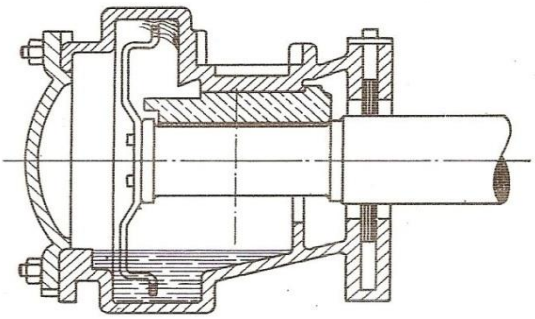


Fig. 94 – Mancal de atrito Fonte: Brina (1983).

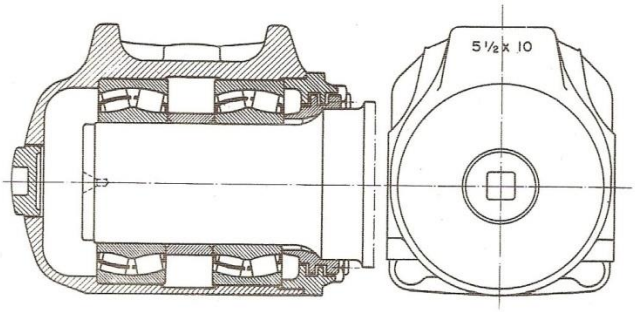


Fig. 95 – Mancal de rolamento Fonte: Brina (1983).

7.3.4. Suspensão

A Suspensão consiste em um sistema de molas interpostas entre a caixa do mancal e o estrado que suporta a caixa do veículo.

A suspensão pode ser de dois tipos:
- De molas helicoidais ou sem atrito;
- De molas elípticas ou de atrito.

7.3.5. Estrado

É a estrutura sobre a qual se assenta a caixa do veículo. Tem a dupla função de descarregar sobre as rodas, o peso da carga e transmitir os esforços de tração e frenagem de um veículo a outro.

7.3.6. Truques

São pequenos veículos giratórios, de pequena base rígida que se assentam, elasticamente, sobre os rodeiros e recebem o apoio da caixa, por meio de pivôs ou piões.

Cada pião é montado sobre uma travessa, no sentido transversal do veículo (travessão), suspenso, elasticamente, nos extremos.

A diferença entre os truques, para vagões e para carros, reside na flexibilidade dos sistemas de molas.

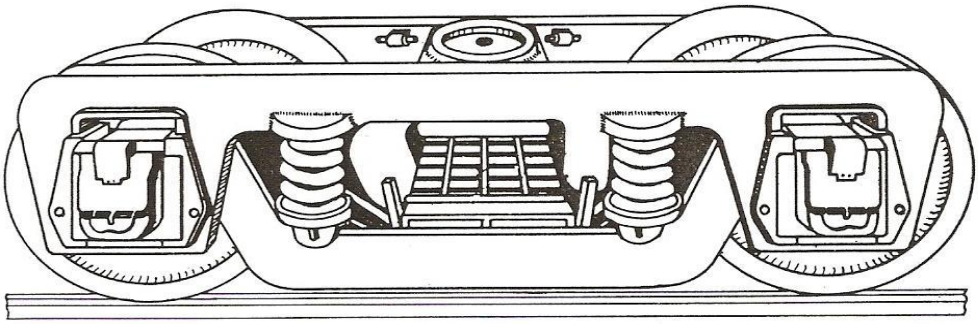


Fig. 96 – Truque para Carro de Passageiros. Fonte: Brina (1983).

7.3.7. <u>Engates – Aparelhos de Tração e Choque</u>

Os veículos de um trem transmitem, entre si, esforços de tração ou compressão, conforme a variação da velocidade durante a marcha.

Para que seus efeitos mútuos se produzam sem choques violentos, é necessário o emprego de engates elásticos, compostos de um aparelho para absorver os esforços de tração e um dispositivo par absorver os esforços de compressão.
É necessária a existência de uma folga nos engates, para haver transmissão gradual do esforço da locomotiva, aplicado na partida do trem. Esta folga é, em geral, de ¾” (20 mm).

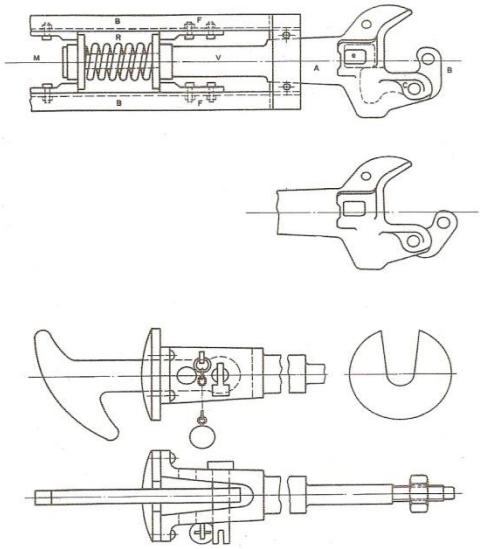


Fig. 97 – Aparelhos de engate e choque. Fonte: Brina (1983).

7.3.8. Caixa

A Caixa é a chamada estrutura do carro.

O projeto e a construção de um Carro Ferroviário Moderno, deve considerar, as seguintes condições básicas:

a) Ter a maior resistência possível, aos esforços mecânicos, não só no serviço normal, como também, em caso de colisões, abalroamentos e descarrilamentos;
b) Ter suficiente leveza e fraca resistência aerodinâmica;
c) Poder circular silenciosamente, o que exige rigidez nas juntas e máxima estabilidade em velocidades elevadas;
d) Proporcionar economia na implantação e conservação, o que exige uma construção simples, robusta e durável e que permita fácil manutenção;

Observações:
- Atualmente, no Brasil, todos os carros são de construção metálica, em geral de aço.
- Estão sendo testadas, também, a construção e utilização de vagões de alumínio.

7.4. LOCOMOTIVAS

7.4.1. Definição

As Locomotivas são os principais veículos tratores das ferrovias, servindo para a tração de composições de vagões e/ou carros de todos os tipos.

7.4.2. Classificação das Locomotivas

As locomotivas são classificadas, basicamente, segundo dois critérios:

a) *Em função do Motor Primário*

a.1) Locomotivas de Motor Térmico:
i) Locomotivas à vapor;
ii) Locomotivas à diesel;
iii) Locomotivas termonucleares;

iv) Locomotivas com turbinas a gás;
v) Locomotivas de turbina à vapor, com motor elétrico.

a.2) Locomotivas Elétricas.

b) *Em função de sua Utilização*
b.1) Locomotivas para trens de carga;
b.2) Locomotivas para serviços de manobra;
b.3) Locomotivas para trens de passageiros;
b.4) Locomotivas de montanha (de grande peso e fácil inscrição em curvas);
b.5) Locomotivas de cremalheira.

7.4.3. Locomotivas Diesel

São locomotivas que empregam como motor primário, um motor diesel de 2 ou 4 tempos, superalimentado, de alta rotação, ou seja, acima de 1 200 r.p.m., podendo chegar até 3 200 r.p.m., sendo dotadas de um sistema de transmissão que pode ser mecânico, elétrico ou hidráulico.

Assim, em função dos sistemas de transmissão podemos ter:

a) *Locomotiva Diesel com Transmissão Mecânica*:
- As dimensões e complexidade da transmissão aumentam com as forças a serem transmitidas. Por esta razão, as locomotivas deste tipo estão limitadas a potências abaixo de 400 HP.

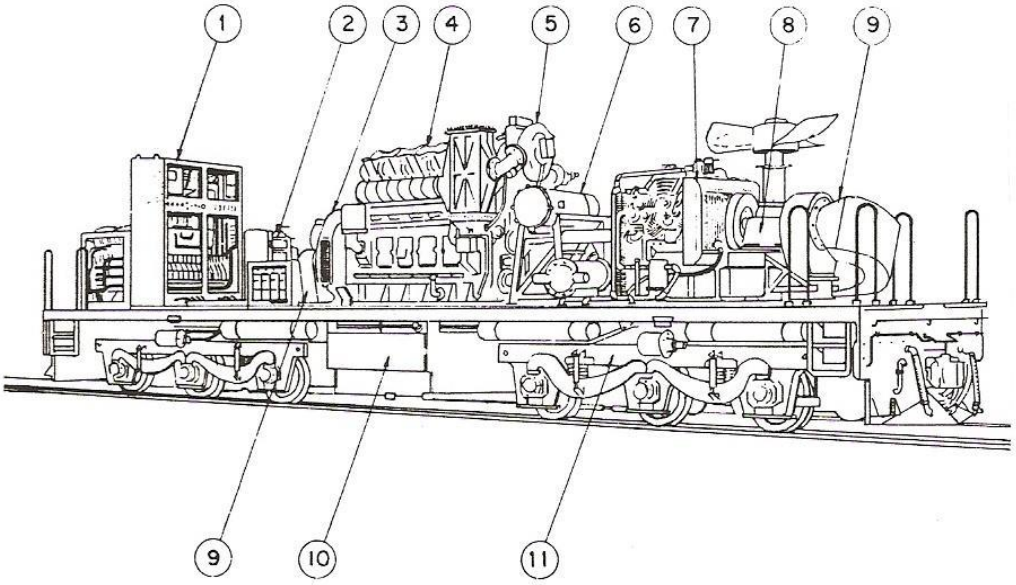
b) *Locomotiva Diesel com Transmissão Hidráulica*:
- Neste sistema, o motor diesel aciona uma bomba centrífuga que aspira óleo e o injeta sobre as pás de uma turbina, a qual é ligada por meio de engrenagens, correntes, tirantes, etc., aos eixos dos veículos de modo a transmitir o esforço-motor. O óleo ao deixar a turbina, entra novamente, na bomba, fechando o circuito.
- O rendimento deste tipo de transmissão atinge 85% e permite utilizar maior potência, em igualdade de peso, comparado às locomotivas Diesel-Elétricas.
- As locomotivas hidráulicas podem rebocar trens mais pesados, em baixas velocidades ou em maiores rampas que as Diesel-Elétricas, já que as elétricas superaquecem a velocidades menores que 20 km/h, ao passo que as hidráulicas aceitam velocidades menores com muito maior força de tração.

- As Diesel–Hidráulicas, são fabricadas com potências que variam entre 650 HP a 4 500 HP, com motor diesel de 1 500 HP (são empregadas em trechos montanhosos).
- As velocidades máximas estão entre 100 km/h e 140 km/h, com maiores forças de tração, entre 15% e 23%, das velocidades máximas.
- Máquinas de pequeno porte (650 HP a 1 200 HP) são ideais para manobras e as demais para uso geral.
- Segundo Togno (1968), a economia em conservação e manutenção, lhes é tão favorável que é de esperar-se que as Diesel-Hidráulicas substituam as Diesel-Elétricas, onde as instalações fixas de manutenção destas (DE), não tenham recebido grandes investimentos.

c) *Locomotivas Diesel com Transmissão Elétrica (DE)*:
- Nestas é acoplado o motor diesel a um gerador que fornece corrente para os motores elétricos engrenados nos rodeiros da locomotiva.
- A locomotiva DE é, essencialmente, uma locomotiva elétrica com uma usina geradora autotransportada (portátil).
-

d) *Gerador de Autoexcitação*:
- Controlando-se a corrente de excitação do gerador, regula-se a saída para a carga imposta aos motores.

e) *Sistemas de* Partida:
- Como é necessário um torque inicial, já que o motor diesel tem torque nulo na partida, pode-se recorrer a um motor a gasolina acoplado ao eixo ou usar bateria elétrica, fazendo o gerador funcionar como um motor, para aplicar a compressão inicial do motor diesel.
- Diferentemente da locomotiva elétrica que possui disponibilidade, praticamente, ilimitada de potência, a potência de uma DE, é limitada pela capacidade do motor diesel.



1 - ARMÁRIO DOS CONTROLES

2 - CONJUNTO DOS COMANDOS

3 - GERADOR

4 - MOTOR DIESEL

5 - TURBO COMPRESSOR

6 - UNIDADE DE ÓLEO LUBRIFICANTE

7 - COMPRESSOR

8 - CAIXA DE CÂMBIOS DO VENTILADOR

9 - VENTILADORES DOS MOTORES DE TRAÇÃO

10 - TANQUE DE COMBUSTIVEL

11 - TRUQUES

Fig. 98 – Locomotiva Diesel-Elétrica. Fonte: Brina (1983).

8. ESFORÇO TRATOR

8.1. ESFORÇO TRATOR E O TRANSPORTE

Três fatores intervém no deslocamento ou transporte de cargas:

a) A *Carga* a ser transportada que possui um peso útil ***"Q"*** que somado à Tara ***"t"***, resultará no Peso Total ***"P"***;
b) A *Força* ***"F"*** a ser aplicada à carga total e que causará o seu deslocamento;
c) O *Trajeto* ou caminho a ser percorrido.

8.2. O PERFIL DAS VIAS

A partir do momento em que o ser humano percebeu que poderia transportar cargas utilizando-se de algum tipo de veículo arrastável, sobre o qual pudesse acomodar volumes maiores que aqueles que pudesse acomodar sobre seu próprio corpo, percebeu também que o esforço dispendido para efetuar deslocamento por arraste precisava vencer uma força de atrito que surgia entre o veículo, a carga e o próprio solo, assim:

$$F_A = \mu . P$$

F_A – força de arraste;
μ - coeficiente de atrito de arraste;
P – peso ou força normal, gerado pela carga e a tara.

Após a descoberta da roda, o coeficiente de atrito de arraste entre a carga e o solo passou a ser substituído pelo de atrito de rolamento:

$$F_A = \mu_R . P$$

μ_R – coeficiente de atrito de rolamento

Entretanto, percebeu-se que o esforço aumentava, consideravelmente, quando se fazia necessário vencer rampas e terrenos íngremes, o que fazia com que o ser humano procurasse escolher caminhos que oferecessem rampas menos acentuadas, isto é: rotas com perfis mais suaves.

Quando se iniciou o desenvolvimento do transporte sobre trilhos demonstrou-se que ao deslocar-se, em nível, sobre trilhos de ferro um

veículo podia fazê-lo com um esforço trator igual a ¼ do exigido para efetiva-lo em uma estrada sem pavimento.

No entanto, no caso da necessidade de superar aclives, percebeu-se, então que esse esforço necessário crescia mais rapidamente sobre trilhos, do que no caso em que fosse utilizada uma estrada de rodagem com qualquer espécie de pavimento, quando se aumentava a inclinação da rampa.

Assim, no caso de transporte sobre trilhos, percebeu-se ser necessária a especificação de perfis de rodagem com rampas ainda mais suaves, para ser melhor aproveitada, a vantagem da economia do esforço trator.

8.3. TRAÇÃO POR ADERÊNCIA

Aderência é a resistência que se opõe ao deslizamento relativo entre dois corpos, a partir do repouso. É uma Força de Atrito Estática. Após ocorrer o deslizamento, surge a força de atrito dinâmica, de valor menor do que a primeira. Segundo Brina (1983), a tração por aderência pode ser explicada como segue:

Seja uma roda de eixo ***E*** e raio ***R***, apoiada sobre um trilho e submetida a um sistema conjugado motor de forças C_m (Fig. 95). Este conjugado poderá ser decomposto em duas forças ***F***, uma aplicada em ***E*** e outra tangenciando o trilho, tendendo a empurra-lo no sentido contrário, com o braço da alavanca igual a **R**.

$$C_m = F \cdot R$$

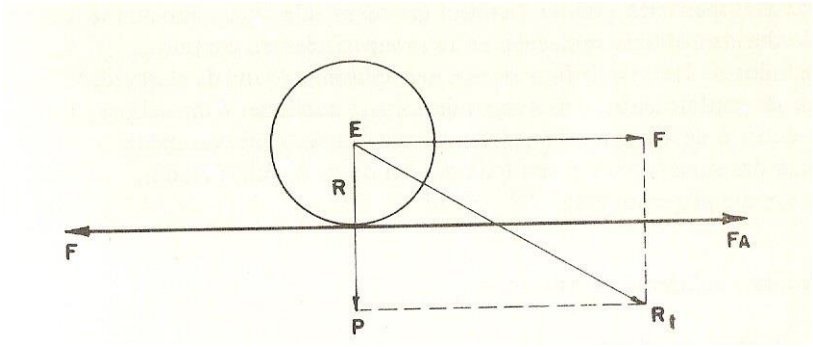


Figura 95 – Sistema conjugado de forças. Fonte: Brina, 1983

No ponto de contato entre a roda e o trilho aparece uma força de atrito F_A, que se opõe ao deslizamento da roda e que se denomina Aderência. Esta força de aderência será o produto do peso P_A descarregado pela roda,

pelo coeficiente de atrito estático f, chamado agora de coeficiente de aderência. Assim:

$$F_A = P_A \cdot f$$

Com a aplicação do Momento Conjugado ou Conjugado Motor da roda motora (aquela roda que possui o conjugado ou torque motor), poderemos observar duas situações:

a) $F > P_a \cdot f$

Neste caso a roda terá um movimento de rotação em torno de ***E***, e o atrito passará a ser um atrito de deslizamento e a roda não terá movimento de translação. Desta forma, haverá "patinagem" da roda.

b) $F \leq P_a \cdot f$

Neste caso, a força ***F*** sobre o trilho é neutralizada pela força F_A de aderência e o peso P_a será equilibrado pela reação de apoio. Restará a força ***F*** aplicada ao eixo que, vencendo o atrito de rolamento e demais resistências internas (mancais), impulsionará a roda (e o veículo) para a frente.

A equação $F \leq P_a \cdot f$ é denominada de "Equação de Coulomb" e é a equação básica da tração por aderência. O peso P_a da roda motora (que possui o conjugado ou torque motor) é conhecido como "peso aderente".

Para um conjunto de rodas, teríamos:

$$F \leq \sum P_a \cdot f$$

8.3.1. Estudo da aderência

8.3.1.1. Natureza

A Aderência não é uma característica exclusiva da rugosidade porquanto superfícies polidas também apresentam a aderência.

A existência do atrito entre superfícies pode ter sua explicação na atração molecular entre os materiais.

Estudos aplicando a teoria da elasticidade demonstram que a superfície de contato entre dois corpos é sempre uma superfície elíptica de modo

que a pressão máxima no centro da mesma é, aproximadamente, uma vez e meia a pressão média sobre as superfícies. Se uma das superfícies for plana como, por exemplo, os trilhos e a outra cônica (rodas), a elipse de contato se transforma em um retângulo de pequenas dimensões.

a) Coeficiente de aderência

O coeficiente de aderência "f" é um parâmetro que varia com a natureza das superfícies em contato, (tipo dos materiais), com o estado das mesmas (existência ou não de matéria estranha interposta), com as condições atmosféricas e com a velocidade.

As superfícies rugosas apresentam maior coeficiente de aderência do que as lisas.

O coeficiente de aderência de rodas de aço sobre trilhos do mesmo material, tem valores aproximados aos apresentados na tabela a seguir:

Fatores de aderência em função do estado do trilho

	Material	Coeficiente
1.	Trilho completamente seco	0,33
2.	Trilho lavado pela chuva	0,33
3.	Trilho seco e limpo	0,22
4.	Trilho seco	0,20
5.	Trilho molhado pela chuva	0,14
6.	Trilho úmido de orvalho	0,125
7.	Trilho úmido e sujo	0,11
8.	Trilho com óleo	0,10

Obs.:

1. Na prática adota-se para cálculos de tração o valor médio de 0,22 como coeficiente de aderência, para trilho seco.
2. O baixo coeficiente de aderência do trilho úmido pelo orvalho é explicado pela existência de uma película de orvalho que atinge uma parte do boleto que estaria suja de óleo, mesmo seco, e que em virtude do fenômeno da tensão superficial, faz com que o óleo siga adiante, formando uma fina película deste líquido (filme) que lubrifica a cabeça do trilho, reduzindo a aderência.

b) Variação do coeficiente de aderência

O ponto de contato entre a roda e o trilho caracteriza-se por ser um "Centro Instantâneo de Rotação", e assim, é "nula" a velocidade relativa naquele ponto, qualquer que seja a velocidade do trem. Com o aumento da velocidade, o coeficiente de aderência diminui. Esta diminuição se deve às seguintes causas:

b.1) Irregularidades nas superfícies de contato, provocando choques e vibrações que reduzem a superfície de contato "roda-trilho", diminuindo o valor de "$\boldsymbol{f}$". Com isso, torna-se necessário o uso de suspensões adequadas para reduzirem-se as trepidações.

b.2) Pequenas diferenças de diâmetro entre as rodas de um mesmo eixo, o que provoca deslizamentos elementares, longitudinais ou transversais, acarretando diminuição do valor de "$\boldsymbol{f}$".

b.3) Variação do esforço de compressão em um ponto do trilho, esforço que é crescente com a aproximação da roda, passando por um máximo e decrescendo até zero, após a passagem da roda. Esta variação do esforço produz uma compressão elástica e consequentes deslizamentos elementares entre a roda e o trilho, com diminuição do coeficiente de aderência "$\boldsymbol{f}$".

b.4) Variações bruscas no esforço trator, que ocasionam deslizamento das rodas.

b.5) Escorregamento das rodas externas nas curvas de pequeno raio.

O efeito total das causas acima descritas, na redução do fator de aderência pode ser traduzido, empiricamente, pela seguinte expressão:

$$f = \frac{f_o}{1 + 0{,}01\,V}$$

Onde:

f_o - coeficiente de aderência à velocidade nula
V - velocidade em km/h

Obs.:

1. Os valores de f_o são os indicados na tabela dada acima, utilizando-se nas aplicações práticas o valor médio 0,22.

2. O valor de f cai pela metade, quando a velocidade atinge 100 km/h - Ver Fig. 96

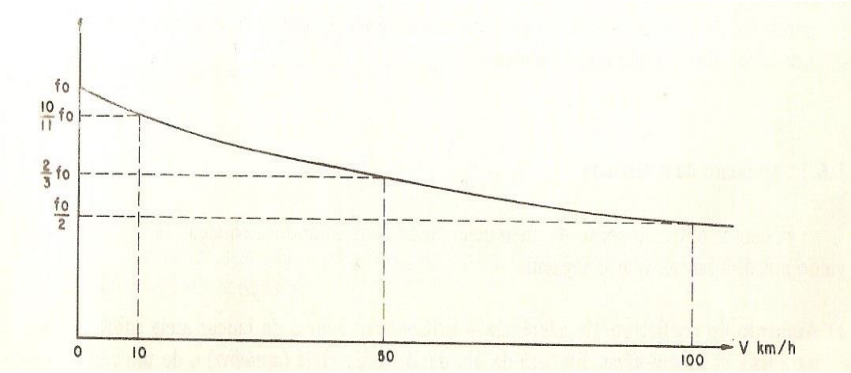


Figura 96 – Variação do Fator de aderência com a Velocidade.
Fonte: Brina 1983

c) Patinagem

Para haver translação de um trem é necessário que o sistema de forças atuantes atenda a Equação de Coulomb:

$$F \leq P_a \cdot f$$

Se $F > P_a \cdot f$ as rodas motoras deslizarão no mesmo lugar, sem deslocamento. Neste caso dizemos que a locomotiva "patina" e o atrito estático é substituído pelo atrito dinâmico ou de deslizamento que é menor que o de aderência podendo reduzir-se a 0,03.

c.1.) Causas da Patinagem

De acordo com a análise da Equação de Coulomb, concluímos que as causas da patinagem são:

c.1.1) O aumento de F – quando há um aumento brusco de força tratora, pode ocorrer que esta supere o valor de $P_a \cdot f$, levando a locomotiva a patinar, o que ocorre, principalmente, na partida, porque ela desenvolve maior esforço trator.

c.1.2) A redução de f – O valor do coeficiente de aderência pode baixar com a presença de umidade ou óleo nos trilhos.

c.1.3) A diminuição do peso aderente P_a – devido a trepidações trilhos, deficiência de nivelamento da via ou mau balanceamento das rodas, poderá ocorrer o descarregamento de algumas das rodas, diminuindo o peso aderente.

8.4. ESFORÇO TRATOR E POTÊNCIA MÁXIMA APLICÁVEL A UM EIXO

O deslocamento de um veículo ferroviário ocorrerá quando não houver o fenômeno de “patinagem” assim, no caso de um eixo com peso ***P*** o esforço trator máximo poderá ser definido pela expressão:

$$F_{máx} = P_a \ . f = P_a \ \frac{f_o}{1 + 0{,}01\, V}$$

No caso de locomotiva com múltiplos eixos motores, teremos:

$$F_{máx} = \frac{\Sigma\, P_a\, f_o}{1 + 0{,}01\, V}$$

onde $\boldsymbol{\Sigma\, P_a}$ é o peso aderente da locomotiva. Em vista disso, a potência máxima aplicável à locomotiva será:

$$W_{máx} = F \ . \ v \ = \frac{\Sigma\, P_a\, f_o}{1+0{,}01\, V} \ . \ v$$

Onde:

v - velocidade em m/s;
P_a – peso aderente em kg.

Fazendo-se a velocidade em km/h, $\boldsymbol{P_a}$ em tf e a potência em HP, ficaremos com:

$$\boldsymbol{W_{máx} = \frac{1}{75,9} \cdot \frac{1000\, \Sigma\, P_a\, f_o}{1 + 0,01\, V} \cdot \frac{V}{3,6} = 3,66\ \frac{\Sigma\, P_a\, f_o\, V}{1 + 0,01\, V}}$$

8.5. INFLUÊNCIA DA ADERÊNCIA NA FRENAGEM

A frenagem de uma composição ferroviária efetua-se com a aplicação de pressão de sapatas de freio nas rodas dos veículos, através de um conjugado retardador, conforme mostra a figura 97:

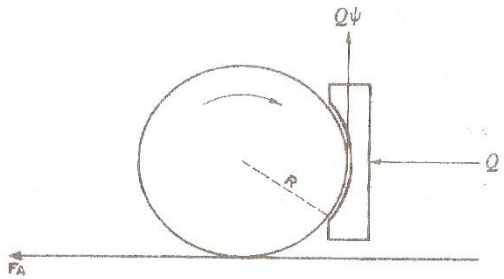


Figura 97 – Modelo esquemático do dispositivo de frenagem (sapata de freio) de uma roda. Fonte: Brina 1983

Se chamarmos de $\boldsymbol{\Psi}$ o coeficiente de atrito da sapata na roda, o conjugado retardador será:

$$C_R = Q\Psi \ .R$$

Apesar de ter sido eliminado o esforço trator na roda, esta continua a girar, pois continua submetida a um conjugado igual a

$$P \ . \ f. \ R$$

P é o peso descarregado pela roda e $\boldsymbol{f}$ é o coeficiente de atrito da roda com o trilho. Para que a roda não seja travada e continue a girar, é preciso que

$$Q\Psi \ . \ R \ < \ P \ . \ f. \ R$$

Ou

$$Q\Psi < \ P \ . \ f$$

Com esta desigualdade satisfeita, a roda continuará a girar enquanto o trem estiver em movimento e estará imobilizada quando o trem estiver parado. Dessa forma o conjugado retardador exercerá uma força de frenagem sobre a roda.

Caso a roda fosse travada, o efeito seria o deslizamento da roda sobre o trilho sendo o coeficiente de atrito reduzido a um coeficiente de atrito de deslizamento, menor que o coeficiente de atrito entre a sapata e a roda. Caso a roda fosse travada, o efeito seria o deslizamento da roda sobre o trilho sendo o coeficiente de atrito reduzido a um coeficiente de atrito de deslizamento menor que o coeficiente de atrito entre a sapata e a roda, mesmo que com redução gradual da velocidade

Entretanto, caso a roda permanecesse em movimento giratório, ainda persistiria um atrito de rolamento entre a roda e o trilho, causando também efeito retardador ao movimento.

O valor de $\boldsymbol{\Psi}$, coeficiente de atrito da sapata de freio de ferro fundido sobre o aro de aço, tem variação semelhante à variação do coeficiente de aderência, podendo-se expressar esta variação pela fórmula empírica:

$$\Psi = \frac{\Psi_o}{1 + 0{,}026\, V}$$

Onde $\boldsymbol{\Psi_o}$ é o valor máximo para a velocidade nula e é um valor muito próximo do valor de $\boldsymbol{f_o}$ (coeficiente de aderência).

Em função da velocidade, as curvas Pf e $Q\Psi$, podem ser representadas como mostra a figura 98:

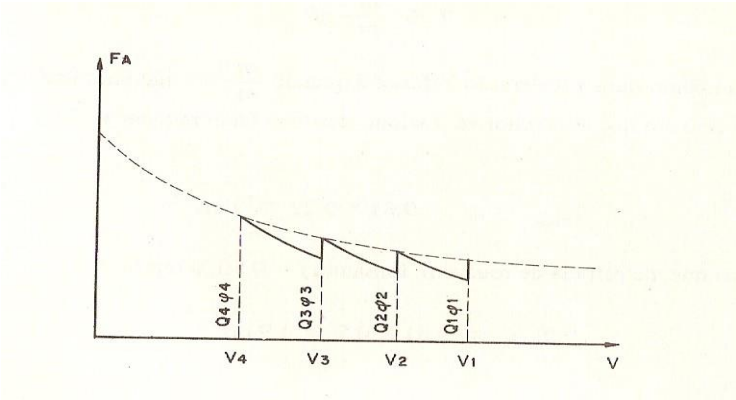


Figura 98 – Curvas de Pf e $Q\Psi$, em função da velocidade
Fonte: Brina 1983

Ao ser comprimida a sapata de freio contra a roda, a velocidade se reduz. O coeficiente de atrito $\boldsymbol{\Psi}$ decresce mais rapidamente do que o coeficiente de aderência $\boldsymbol{f}$**,** com a redução da velocidade. Assim, como podemos ver na Figura 98, ao ser imprimida uma redução de velocidade por acionamento da sapata de freio, a força retardadora $\boldsymbol{Q\Psi}$, crescerá mais rapidamente que a força aderente $\boldsymbol{Pf}$ superando-a, num determinado momento e provocando uma patinagem. Para que isso não ocorra, será necessário promover um alívio na força $\boldsymbol{Q}$**,** de modo que o efeito de redução de velocidade se repita, novamente e assim, sucessivamente, até a total imobilização do veículo.

8.6. LIMITE DE ACELERAÇÃO E FRENAGEM NAS ESTRADAS DE FERRO

Conforme a Equação de Coulomb, a força de tração deve ser sempre menor ou igual à força de aderência, para que haja o deslocamento:

$$F \leq P_a \,.\, f$$

Entretanto, sabemos que **F = m' . γ**, onde **m'** representa a massa total do trem e $P_a = m_a \,.\, g$, em que m_a corresponde à massa do peso aderente. Logo, teremos:

$$m' \,.\, \gamma \leq m_a \,.\, g \,.\, f$$

$$\gamma \leq \frac{m_a}{m'} \,.\, g \,.\, f$$

Assim, vemos que o máximo valor para a aceleração **γ,** será obtido quando $\frac{m_a}{m'}$ for máximo ou, $m_a = m'$.

Nesse caso concluímos que a locomotiva desloca-se sem rebocar vagões (escoteira) e dessa forma:

$$\gamma_{max} = g \,.\, f = 9{,}81 \text{ m/s}^2 \,.\, 0{,}22 \approx 2{,}0 \text{ m/s}^2$$

8.7. PESO ADERENTE DAS LOCOMOTIVAS

O peso aderente das locomotivas, corresponde à soma total dos pesos descarregados pelos eixos motores, isto é, daqueles que possuem "conjugado motor".

Sendo P_e o peso total da locomotiva, o peso aderente será:

$$P_a = k \,.\, P_e$$

Onde:

k – coeficiente de peso aderente

O esforço trator é no limite igual a $P_a \,.\, f$, por isso o aumento do esforço trator da locomotiva depende, diretamente, do aumento de P_a. Isso sempre poderá ser obtido aumentando-se k ou P_e. Quando se obtiver $k = 1$ teremos a locomotiva de "aderência total".

8.8. DESCARREGAMENTO DOS EIXOS POR ESFORÇO DE TRAÇÃO (CABRAGEM)

Entre as causas de redução de aderência está o alívio da carga em um determinado eixo, fazendo assim, que outro eixo venha a receber uma sobrecarga.

A locomotiva, durante a tração, fica submetida a duas forças de sentidos inversos: o “esforço trator” aplicado ao nível dos trilhos e um “esforço resistente”, aplicado em um ponto acima do plano dos trilhos, resultando disso um novo “conjugado” que tende a descarregar alguns eixos e sobrecarregar outros. Esse alívio, em alguns casos pode atingir o valor de até 20% do peso aderente e é uma das causas do fenômeno da “reptação”.

9. RESISTÊNCIAS AO DESLOCAMENTO

9.1. DEFINIÇÕES

Segundo Brina (1983), denomina-se resistência de trem, ao conjunto de forças que se opõem ao movimento dos veículos ferroviários, sejam tratores ou rebocados, ao deslocarem-se sobre a linha férrea. Esta resistência é considerada no ponto de contato entre as rodas e os trilhos e se opõe ao esforço trator nas rodas da locomotiva.

A unidade usual adotada é kgf/tf, isto é, resistência em quilograma-força oferecida por tonelada-força do trem. Assim, conhecida a resistência unitária, em kgf/tf de uma locomotiva ou vagão, para obter-se a resistência total é suficiente multiplicar-se esse valor pelo peso total, em toneladas-força, da locomotiva ou vagão.

Por convenção, adota-se ***R*** para a resistência total de um veículo, em kgf, e ***R***’, para a resistência unitária que será chamada de “taxa de resistência”.

9.2. CLASSIFICAÇÃO

As resistências são classificadas conforme existam de forma permanente ou surjam apenas em circunstancias específicas, sendo assim:

a) Resistências normais - permanentes, próprias dos veículos, em reta e nível;
b) Resistências acidentais:
   b.1) por alteração da via – resistência de curva (atrito) e resistência de rampa (gravidade)
   b.2) por alteração do estado de repouso ou movimento – inicial (para vencer a inércia do veículo em repouso) e para aumentar a velocidade (acelerar).

9.3. DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS

9.3.1. Resistência Normal

São diversos o fatores que compõe a resistência normal dos veículos, não sendo assim possível determinar seu valor analiticamente, adotando-se a seguinte expressão para sua determinação:

$$R'_n = a + bV + cV^2$$

Pela impossibilidade de uma abordagem analítica das diversas parcelas componentes dessa resistência, recorre-se a sua determinação experimental, obtendo-se fórmulas práticas que só são válidas para as condições em que foram determinadas. São exemplo disso as Fórmulas de Davis, aplicadas para locomotivas elétricas, diesel-elétricas, carros de passageiros, vagões, carros motores e trens-unidades, todas em diversas condições bem específicas.

Assim, por exemplo, para uma locomotiva com peso superior a 5 toneladas:

$$R'_{nloc} = 1{,}3 + \frac{29}{w} + 0{,}03\,V + \frac{0{,}0024\,A\,V^2}{w\ x\ n}$$

E para um vagão com peso por eixo superior a 5 toneladas:

$$R'_{nvag} = 1{,}3 + \frac{29}{w} + 0{,}045\,V + \frac{0{,}0005\,AV^2}{w\ x\ n}$$

ou ainda, para um carro de passageiros com peso superior a 5 toneladas, temos:

$$R'_{npass} = 1{,}3 + \frac{29}{w} + 0{,}03\,V + \frac{0{,}00034\,A\,V^2}{w\,x\,n}$$

Onde:

R'_n – Taxa de resistência em *ℓb*/ton (*libra/tonelada inglesa – libra/short-ton*);
A – área frontal em *sq-ft* (*square-feet*);
V – Velocidade em *mi/h* (*milhas/hora*);
n – número de eixos por veículo;
w – peso médio por eixo em ton (*short-ton*).

Observações:

a) Os dois primeiros termos das fórmulas, representam o atrito nos mancais. O terceiro termo corresponde ao atrito nos frisos das rodas e o último à resistência do ar.
b) A resistência normal é maior no início do movimento. Esta resistência cresce com o tempo de repouso do veículo por haver deformação da via e ruptura da película de óleo nos mancais. Como o cálculo da lotação dos trens é sempre feito para o caso mais desfavorável (rampa e curva) e os pátios de manobra são em reta e nível, sempre haverá folga no esforço trator, para a partida do trem.
c) Para aplicação das Fórmulas de Davis, sendo os pesos dados em toneladas métricas, deve-se converte-los em toneladas inglesas e a velocidade de km/h para mi/h:

- 0,622 mi (milhas) = 1 km
- 1 *ℓb*/ton = 0,5 kgf/tf

9.3.2. <u>Resistências acidentais</u>

9.3.2.1. Resistência de Inércia

É a força que deve ser aplicada ao veículo de determinada massa para que o mesmo adquira velocidade ou a aumente, se já estiver em marcha.

Não é, a rigor, uma resistência. É usualmente calculada em função da velocidade ***V*** adquirida, ao fim de um percurso $\boldsymbol{l}$ **:**

$$R'_{\boldsymbol{\gamma}} = 4\,\frac{V_2^2 - V_1^2}{l}$$

Onde:

R'_{γ} = resistência de inércia;
V_1 = Velocidade no início do percurso;
V_2 = Velocidade no fim do percurso.

9.3.2.2. Resistência de rampa

O Cálculo da resistência de rampa permite avaliação analítica exata, bastando que se determine a componente do peso a ser vencida. Figura 99:

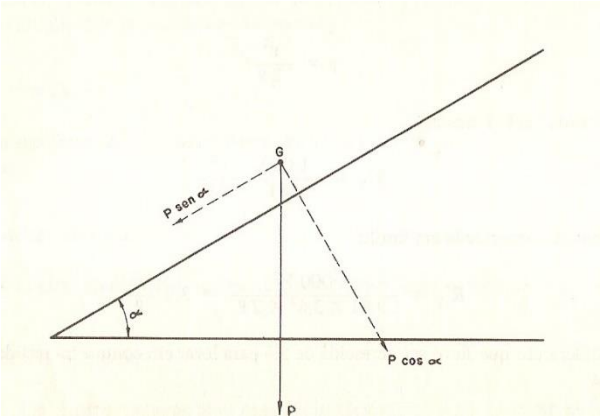


Figura 99 – Esquema de forças atuantes em uma rampa
Fonte: Brina 1983

$$\boldsymbol{R_i = P\,tg\,\alpha}$$

Mas, sen $\boldsymbol{\alpha}$ = tg $\boldsymbol{\alpha}$**,** logo:

$\boldsymbol{R_i = P\,tg\,\alpha}$ = 1000 P_t tg α, em kgf (com P em tf)

Assim, tomando $\boldsymbol{i}$ **em percentagem (**$\boldsymbol{i}$**%), teremos:**

$$\boldsymbol{R'_i = 1000\,tg\alpha = 1000\,\frac{i\%}{100}} = 10\,\boldsymbol{i\%}\ \textbf{kgf/tf}$$

É usual, entretanto, exprimir-se a declividade da via em lugar de “por percentagem”, em “por mil”, isto é, em “milímetros por metro”. Figura 100:

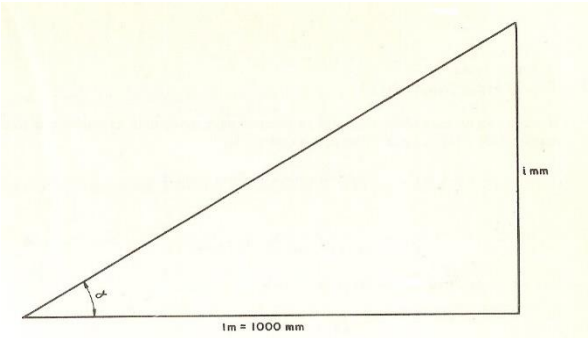


Figura 100 – Rampa em i mm/m (milímetros por metro)
Fonte: Brina 1983

$$\boldsymbol{R'_i = i\ mm/m} \text{ kgf/tf}$$

Assim, o número que mede rampa em mm/m é o mesmo que dá a resistência em kgf/tf.

9.3.2.3. Resistência de Curva

Existe grande incerteza na determinação teórica da resistência de curva e são adotadas, na prática, expressões que conduzem a aproximações consideradas razoáveis. Assim, por exemplo:

a) Para locomotivas (Fórmula de Stevenson)

$$R'_c = 0{,}2 + \frac{100}{R}\ (p + b + 3{,}8)$$

Onde:

R - raio da curva em metros;
p - base rígida da locomotiva;
b - bitola da linha;
R'_c - Taxa de resistência em kgf/tf.

b) Carros e vagões

$$R'_c = \frac{500\ b}{R}$$

Onde:

R - raio da curva, em metros;
b - bitola da via;
R'_c - taxa de resistência, em kgf/t

9.4. RAMPAS COMPENSADAS

O conceito de rampa compensada pressupõe que a soma da resistência de rampa com a resistência de curva seja igual à resistência máxima do trecho, em tangente. Assim, nas curvas, sempre que a resistência da curva somada à resistência de rampa ultrapassar o valor $\boldsymbol{R'_{imax}}$, a declividade da rampa será reduzida, em todo o trecho curvo.

9.4.1. Cálculo da nova rampa, no trecho curvo

$$R'_{i\,max} = R'_i + R'_c$$

Mas, sabe-se que

$$R'_{imax} = 10\,\boldsymbol{i}\%\ kgf/tf$$

$$R'_i = 10\,\boldsymbol{i}\ kgf/tf$$

Logo,

$$10\,\boldsymbol{i}max = 10\,\boldsymbol{i} + R'_c$$

Que, dividindo-se por 10,

$$i_{max} = i + 0{,}1\,R'_c$$

Resultando em

$$i_{\%} = i_{max\%} - 0{,}1\,R'_c$$

Dessa forma, quando em uma rampa em curva, obtivermos percentagem superior à dada por essa expressão, esta declividade será reduzida até esse valor obtido.

9.5. CÁLCULO DA LOTAÇÃO DOS TRENS - APLICAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS TRENS

Aplicando-se o conceito de resistência dos trens, podemos determinar a lotação dos trens, entendida aqui, como sendo a capacidade máxima de unidades que pode ser rebocada por uma determinada locomotiva, em

cada velocidade e considerando-se um determinado trecho de linha em que se conheçam o raio mínimo e a rampa máxima.

Esse cálculo é feito, conforme segue:

a) Estabelecimento da velocidade mínima (velocidade crítica) com qual o trem deverá superar o trecho crítico, isto é, aquele que tem o raio mínimo e a rampa máxima.

Observações:

- para trens de carga, esta velocidade poderá ser indicada pelos fabricantes das locomotivas e corresponderá ao esforço trator contínuo que a máquina possa manter, continuamente, sem danificar os motores de tração.

- para trens de passageiros, deverá ser uma velocidade superior à $\boldsymbol{V_{min}}$, considerando-se que os mesmos são mais leves que os trens de carga, o que deverá melhorar o tempo de percurso no trecho.

b) Verificação, pela curva "velocidade - esforço trator" característica de cada locomotiva, qual o esforço trator nas suas rodas que corresponde à velocidade crítica, ou então calcular este esforço pela expressão:

$$F_R = \frac{273{,}24\ x\ 0{,}82\ x\ W_{HPG}}{V_c}$$

Onde:
F_R – Esforço trator na velocidade crítica;
W_{HPG} – Potência entregue no gerador principal;
V_c - Velocidade crítica (velocidade mínima no trecho crítico).

c) Verificar que esse Esforço Trator não ultrapasse a aderência:

$$F_{máx} = P_a \,.\, f_v$$

Onde, $\boldsymbol{P_a}$ é o peso aderente da locomotiva e $\boldsymbol{f_v}$ é o coeficiente de aderência na velocidade crítica, ou

$$F_{máx} = \frac{P_a f_o}{1 + 0{,}01V}$$

d) Calcular as taxas de resistência das locomotivas e dos vagões, em kgf/tf:

$$R'_{nloc}, R'_{nvag}, R'_{cloc}, R'_{cvag}, R'_{i}$$

e) Calcular a resistência total da locomotiva:

$$R_{loc} = P_{loc}\,(R'_{nloc} + R'_{cloc} + R'_{i})$$

Onde, $\boldsymbol{P_{loc}}$ é o peso da locomotiva, em toneladas e $\boldsymbol{R'_{nloc}}$, $\boldsymbol{R'_{cloc}}$ $\boldsymbol{e}$ $\boldsymbol{R'_{i}}$ são as taxas de resistência normal, de curva e de rampa, respectivamente.

f) Determinar o esforço trator útil, no engate da locomotiva:

$$F_u = F_R - R_{loc}$$

g) Calcular a taxa de resistência total dos vagões:

$$R_v = R'_{nvag} + R'_{cvag} + R'_{i}$$

h) Cálculo da lotação da locomotiva (em toneladas):

$$P_t = \frac{F_u(kgf)}{R_v(\frac{kgf}{tf})}$$

i) Cálculo do número de vagões:

$$N = \frac{P}{p_{vag}}$$

Onde, $\boldsymbol{p_{vag}}$ é o peso do vagão (lotação + tara), sendo que a lotação (carga útil) será função do peso específico da mercadoria.

9.6. EXEMPLO DE CÁLCULO DE LOTAÇÃO DE UM TREM

Calcular a lotação de um trem de carga a ser rebocado por uma locomotiva diesel-elétrica, de peso total igual a 68 940 kgf em uma linha de bitola métrica, onde o trecho crítico possui rampa de 2,5% e raios de 80 metros. A base da locomotiva é de 2,40 m. e todos os vagões têm 36 tf de lotação e tara de 14,3 tf.

A_{loc} = 110 sq.ft
A_{vag} = 85 sq.ft

O esforço contínuo da locomotiva se dá a 12 km/h. A potência entregue no gerador principal da locomotiva é de 875 HP.

Solução:

Conforme o roteiro apresentado no item 2.5., teremos:

a) $F_R = \frac{273{,}24\ x\ 0{,}82\ x\ 875}{12} = 16\ 337{,}47\ kgf$

b) $F_{máx} = \frac{68\ 940\ x\ 0{,}22}{1+0{,}01\ x\ 12} = 13\ 541{,}79\ \ kgf$

Será adotado, então, o esforço limitado pela aderência:

$$F_{máx} = 13\ 541{,}79\ kgf$$

c) Cálculo das resistências:

c.1) Resistência Normal:

- Locomotiva

Peso por eixo:

$$P_{eixo} = \frac{68{,}940}{4}\ x\ 1{,}1 = 18{,}96\ ton$$

Velocidade:

$$V = 12\ x\ 0{,}622 = 7{,}46\ mi/h$$

Assim,

$$R'_{nloc} = 1{,}3 + \frac{29}{18{,}96} + 0{,}03\ x\ 7{,}46 + \frac{0{,}0024\ x\ 110\ x\ 7{,}46^2}{75{,}83}$$

$$R'_{nloc} = 3{,}203\ lb/ton$$

Que por conversão,

$$R'_{nloc} = 3{,}203\ x\ 0{,}5 = 1{,}602\ kgf/tf$$

- Vagão:

Peso por eixo:

$$P_{eixo} = \frac{36 + 14{,}3}{4}\ x\ 1{,}1 = \frac{55{,}33}{4} = 13{,}83\ ton/eixo$$

Assim,

$$R'_{nvag} = 1{,}3 + \frac{29}{13{,}83} + 0{,}045\ x\ 7{,}46 + \frac{0{,}0005\ x\ 85\ x\ 7{,}46^2}{55{,}33}$$

$$R'_{nvag} = 3{,}78\ \ lb/ton$$

Que por conversão,

$$R'_{nvag} = 3{,}78\ x\ 0{,}5 = 1{,}89\ kgf/tf$$

c.2) Resistência de curva:

- Locomotiva:

$$R'_{cloc} = 0{,}2 + (2{,}4 + 1{,}0 + 3{,}8)\ \frac{100}{80} = 9{,}2\ kgf/tf$$

- Vagão:

$$R'_{cvag} = \frac{500\ x\ 1{,}0}{80} = 6{,}25\ kgf/tf$$

c.3) Resistência de rampa:

$$R'_i = 10\ x\ 2{,}5\% = 25\ kgf/tf$$

d) Resistência total da locomotiva

$$R_{loc} = 68{,}94\ (1{,}602 + 9{,}2 + 25) = 2\ 468{,}19\ kgf$$

e) Esforço útil no engate da locomotiva

$$F_u = 13\ 541{,}79 - 2\ 468{,}19 = 11\ 073{,}60\ kgf$$

f) Taxa de resistência total dos vagões

$$R_v = 1{,}89 + 6{,}25 + 25 = 33{,}140\ kgf/tf$$

g) Lotação do trem

$$P = \frac{11\ 073{,}60}{33{,}140} = 334{,}15\ tf$$

h) Número de vagões

$$N = \frac{334{,}15}{50{,}3} = 6{,}64 \text{ ud}$$

Conclusão: Adota-se uma composição com 7 vagões, cuja lotação será igual a 7 x 50,33 = 352,10 tf.

9.7. QUADRO DE LOTAÇÃO

Em função das condições técnicas das linhas, calcula-se a lotação que a locomotiva poderá rebocar, na velocidade que venha a ser fixada (normalmente a velocidade crítica) e organiza-se uma ***Tabela de Lotação das Locomotivas***, a ser consultada pelos administradores da linha (agentes), responsáveis pela formação dos trens.

Observação: o cálculo feito acima só é válido quando todos os vagões considerados tenham o mesmo peso. No caso de vagões com pesos diferentes ou quando alguns estiverem lotados e outros vazios, o cálculo será feito por outros métodos: Método direto ou Método do Carro Fator.

9.8. PROGRAMAÇÃO DE TRENS

Para o transporte de uma carga hipotética de $\boldsymbol{P_u}$ toneladas úteis, em um dado prazo de $\boldsymbol{D}$ dias, é desejável que se estabeleça uma programação de recursos disponíveis, para o sucesso da empreitada.

Para isso, inicialmente é preciso fixar-se os tipos de locomotivas e de vagões que deverão ser empregados, em função do tipo de mercadoria a ser transportada.

Em seguida, é preciso estabelecer o número de trens a serem formados, por dia de 24 horas, necessários para cumprir aquela meta. Este número será adotado em função da capacidade de tráfego (vazão) do trecho de

via a ser utilizado, além do número de trens de passageiros e de carga que já estão circulando no trecho:

São os seguintes, os dados referentes à capacidade de tráfego do trecho que deverão ser considerados:

$\boldsymbol{P_u}$ – Toneladas úteis, a transportar;
$\boldsymbol{D}$ – Período de transporte, em dias;
$\boldsymbol{n_t}$ – número de trens, por dia.

Solução do problema de transporte: cálculo da lotação do trem.

Sendo:

$\boldsymbol{P_{tu}}$ – lotação do trem;
$\boldsymbol{N}$ – número de vagões;

A carga útil, por trem, para uma locomotiva tracionar, será dada pelo número de vagões ($\boldsymbol{N}$), multiplicado pela carga útil de cada vagão ($\boldsymbol{p_u}$), em toneladas.

$$P_{tu} = N \,.\, p_u$$

A carga a transportar, por dia, será:

$$P_d = \frac{P_u}{D}$$

Admitindo-se que seja empregada tração múltipla, com ***m*** locomotivas, por trem e seja preciso então, determinar esse número:

$$n_t = \frac{P_d}{m \,.\, P_{tu}} = \frac{P_d}{m \,.\, N . p_u}$$

Isso nos leva a:

$$m = \frac{P_d}{n_t \,.N\,.p_u} \text{ (locomotivas/trem)}$$

Considerando o exercício resolvido no item **9.6.** e supondo-se que se deseje transportar 1.166.400,0 toneladas, por ano, de uma determinada mercadoria, cujo peso específico permita preencher a lotação nominal do vagão, teremos:

P – 1.166.400,0 tf/ano;
D – 360 dias;
N – 7 vagões;
p_u – 36 tf.

Considerando-se, ainda, que 5, tenha sido o número de trens por dia (n_t), fixado:

Teremos, então:

$$P_d = \frac{1\ 166\ 400}{30\ .\ 12} = 3\ 240\ tf/dia$$

$$m = \frac{3\ 240}{5\ .\ 7\ .\ 36} = 3\ locomotivas$$

Conclusão: o transporte pretendido será efetuado por trens com 7 vagões em tração tripla.

10. A CIRCULAÇÃO DOS TRENS

10.1. OS TRENS E A CIRCULAÇÃO

Para que a circulação dos trens se faça com segurança e produtividade em uma rede ferroviária, é necessário que seja obedecido um conjunto de regras estabelecido e controlado por um órgão capacitado da empresa ferroviária, responsável pela movimentação dos trens que serão formados conforme a necessidade imposta pelo objeto a ser transportado, isto é, cargas ou passageiros.

10.2. FORMAÇÃO DOS TRENS

A formação dos trens deve seguir regras que garantam a eficiência e segurança dos transportes. Os trens circularão quando estiverem devidamente equipados e possuírem todos os elementos de segurança necessários.

10.3. CLASSIFICAÇÃO DOS TRENS

Os trens são classificados em função do perfil da carga que irão transportar. Poderão ser de carga, mistos e de passageiros.

10.3.1. Trens de Carga

São aqueles destinados apenas ao transporte de cargas ou animais. Na formação serão agrupados conforme o destino, sendo acomodados na cauda da composição aqueles que serão desengatados em primeiro lugar e assim nessa ordem, até os que devam ser deixados por último. No caso de trens de carga que precisem de servidores embarcados, será acrescentado na cauda um vagão "caboose", que lhes sirva de acomodação, no trajeto. Esses carros especiais são dotados de infraestrutura sanitária, dormitório e meios de comunicação com o maquinista-chefe do trem.

No caso de tração múltipla as locomotivas acopladas terão comando único, ligadas na dianteira do trem.

Os trens de carga poderão ser diretos ou "Unitários" ou trens de carga "Paradores", que podem receber ou entregar cargas nas estações existentes no percurso.

10.3.2. Trens Mistos

Esses trens são compostos por vagões de carga e carros de passageiros. Os vagões de carga estarão ligados à locomotiva, vindo depois o carro correio-bagagem que dispõe de acomodação onde viaja o Chefe do Trem.

São, caracteristicamente, trens de velocidade moderada que param em todas as estações para apanhar e deixar passageiros e também, pequenas expedições, incorporando para isso um carro, chamado de coletor.

São trens que atendem, normalmente, trechos de pequeno tráfego, servindo para aproveitar a lotação do trem de passageiros, para transporte adicional de cargas de pequena monta.
De modo geral o trem misto é, relativamente, lento como trem de passageiros e de aproveitamento deficiente como trem de cargas e por isso é eliminado quando o tráfego da via tende ao crescimento.

10.3.3. Trens de Passageiros

Esses trens são compostos de carros para transporte exclusivo de passageiros, recebem, excepcionalmente, vagões para mercadorias especiais, para transportes diretos.

Os trens de passageiros podem ser *diretos* ou *paradores*. Os trens diretos só param em poucas estações e são de longo percurso. Os trens paradores param em todas as estações para receber e deixar passageiros. São, normalmente, os de subúrbio e aqueles de percursos mais longos.

Os trens diretos são os chamados *expressos, rápidos e noturnos*, sendo que estes últimos, são os que podem atingir a velocidade máxima autorizada na linha. Os *rápidos* e *noturnos* são, normalmente, os que dispõe de mais luxo e conforto para os passageiros. O número de paradas dos trens diretos depende das condições de cada ferrovia, podendo, inclusive, circular sem parar, entre a origem e o destino.

A composição dos trens de passageiros, varia conforme a empresa ferroviária e a região por ela servida. Geralmente é composta por um carro correio-bagagem, ligado à locomotiva e em seguida a carros de 3ª, 2ª e 1ª classes, restaurante, poltrona-leito e cabines-leito.

Os trens de subúrbio circulam, normalmente, com um só tipo de carro, com bancos laterais e maior espaço para passageiros em pé.

10.4. LICENCIAMENTO E SINALIZAÇÃO

A circulação dos trens é estudada tendo como princípio a característica da sujeição dos veículos à via. Isto significa ser impossível o desvio dos veículos ao trafegarem em uma mesma linha sem que a mesma seja dotada de dispositivos especiais que torne este evento possível e seguro.

Assim, são adotados diversos critérios e normas, para que a circulação dos trens se faça com absoluta segurança, para que não ocorram abalroamentos ou colisões.

Um primeiro elemento usado para disciplinar a circulação dos trens é a Tabela de Horários. Nela, horários são estabelecidos de forma que as composições só se cruzem em estações ou outros locais dotados de infraestrutura que permita o cruzamento.

Tendo em vista que atrasos podem ocorrer, causados por diversos fatores, torna-se imperativo que sejam estabelecidas regras para disciplinar a circulação, sendo estas comunicadas por escrito ao pessoal ligado ao serviço de circulação de trens e às estações.

Assim, os princípios em que se baseiam a segurança e a circulação na via são: exata aplicação das normas sobre a circulação e o rigoroso cumprimento das mesmas pelo pessoal das estações e dos trens.

O conjunto das normas utilizadas para que a um trem seja permitido o deslocamento por um determinado trecho é denominado *licenciamento.* A autorização dada ao maquinista, de forma direta ou indireta, para que conduza a composição por esse trecho, é denominada *licença*.
A licença pode ser efetivada de duas maneiras: por obediência a um intervalo de tempo ou por obediência a um intervalo de espaço.

Assim, nessas modalidades, temos:

a) Licenciamento por intervalo de tempo:

   Em que a separação entre as composições é calculada com base na distância a ser percorrida e nas suas velocidades em função das características geométricas do trecho.

b) Licenciamento por intervalo de espaço:

   Em que a distância entre as composições é mantida sempre maior do que a necessária para sua frenagem, utilizando-se de sinais de bloqueio dos trechos que impedem, completamente, sua passagem, enquanto um determinado segmento da via esteja ainda sendo ocupado por outra composição. Esse licenciamento pode ser efetuado de três formas diferentes:

   b.1) Licenciamento por ordem escrita;
   b.2) Licenciamento por *Staff Elétrico*;
   b.3) Licenciamento por sinal.

Estes e outros sistemas de sinalização permitem que sejam estabelecidos sistemas de bloqueio de tráfego automáticos, através dos circuitos de via ou mesmo manuais, que impedem por meio de sinais, que composições trafeguem em linhas já ocupadas, evitando colisões e abalroamentos entre os trens.

10.5. CAPACIDADE DE TRÁFEGO DE UM TRECHO

Entende-se por capacidade de tráfego ou vazão de um trecho ferroviário como o número de trens que poderão nele circular em um determinado intervalo de tempo. Geralmente esse intervalo considerado é de 24 horas.

O número de trens que pode ser despachado em sequência, em um intervalo de 24 horas, de acordo com o horário estabelecido para cada um deles, pode ser determinado através de um gráfico de circulação. Entretanto, isso também pode ser determinado, analiticamente, com suficiente aproximação.

Diversos fatores, tais como velocidade das composições, condições geométricas da via (curvas e rampas) e distância entre estações, pátios de manobras e desvios, interferem nesse cálculo.

Basicamente, a regra seguida é que sejam implantadas estas estruturas, na via, a distâncias que sejam percorridas, pelas composições padrão, com o mesmo tempo de percurso.

Diminuindo-se as distâncias entre estas estruturas ou adotando-se um sistema de bloqueio por sinais, pode-se aumentar, consideravelmente a capacidade de tráfego de uma via, pois um trem poderá partir de uma estação ou de um sinal de bloqueio, quando a composição precedente tiver ultrapassado o sinal seguinte. Como as seções intermediárias de bloqueio, podem estar a distâncias menores do que aquelas entre as estações, com isso aumenta-se a segurança de tráfego e assim também, a capacidade da via.

10.6. CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE UMA LINHA

Denomina-se capacidade de transporte de uma linha, ao número de toneladas úteis que por essa linha, pode ser transportado em um ano. Sendo conhecida a capacidade de tráfego, a capacidade de transporte pode ser determinada.

A programação dos trens é feita com base na capacidade das locomotivas e nas condições de serviço de uma linha. Do número de trens que podem circular em 24 horas é deduzido o número de trens de passageiros, obtendo-se assim, o número de trens de carga, o que permite deduzir a capacidade de transporte.

10.7. HORÁRIOS DOS TRENS

Em geral uma linha deverá ser percorrida por trens capazes de se deslocarem em diversas velocidades, isto é: trens rápidos, de passageiros e trens de menor velocidade (de carga).

É necessário que se estabeleça a disposição mais otimizada possível, entre os trens destas diversas categorias, de modo a ser obtido o melhor aproveitamento econômico de toda a estrutura.

É normal que se estabeleçam, em primeiro lugar, os horários de trens de maior categoria (rápidos, noturnos e expressos) e de longo percurso. Nos intervalos entre esses trens, inserem-se aqueles de menor categoria (mistos, subúrbios e de carga).

Para o estabelecimento correto de um horário de linha é indispensável o perfeito conhecimento das condições técnicas da linha (planta e perfil) e das locomotivas que serão utilizadas para a tração dos trens e isso é absolutamente necessário para que se obtenha, na operação das linhas férreas, um resultado financeiro que justifique a sua existência no cenário econômico e político de um sistema de transporte de cargas e passageiros de um país bem organizado.

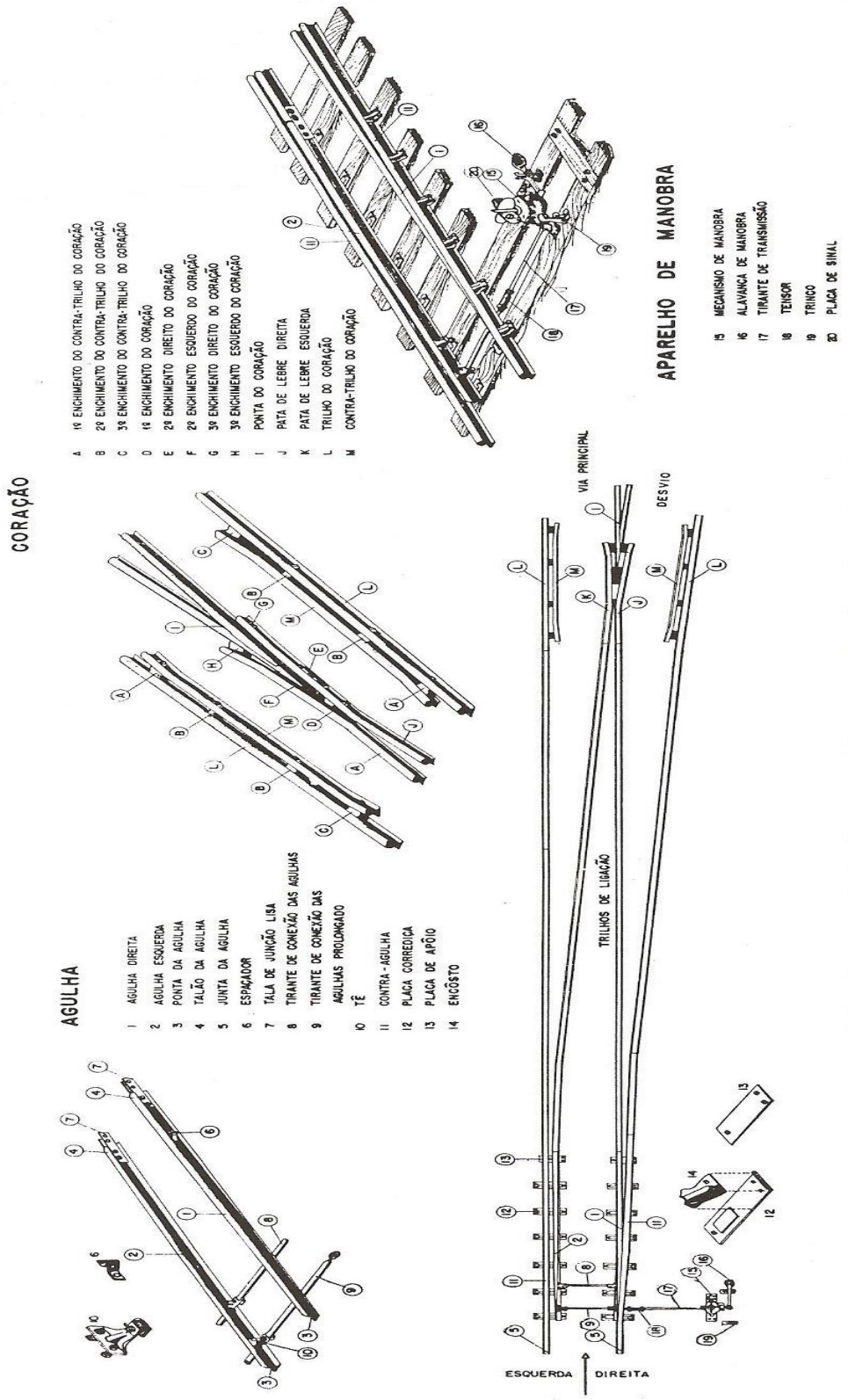
11. CONCLUSÃO

Considerando a proposta sobre a qual foi desenvolvido esse Manual Didático, completamos aqui esse trabalho certos de que foi possível nele reunir, sem a pretensão de esgota-los completamente, os principais conhecimentos e conceitos relativos à Engenharia Civil na disciplina de Ferrovias que como foi dito, é apenas uma das Áreas Profissionais que compõe cabedal de conhecimentos necessários completa formação de um Engenheiro Ferroviário.

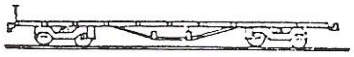
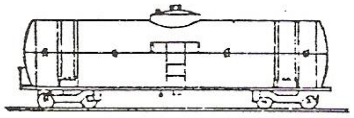
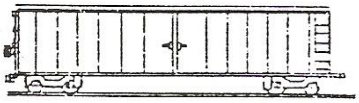
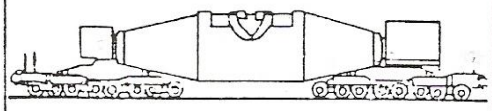
III. ANEXOS

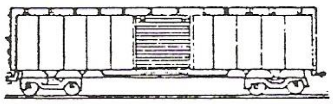
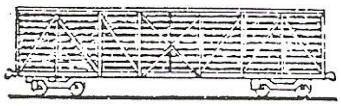
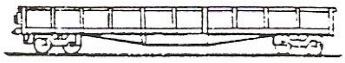
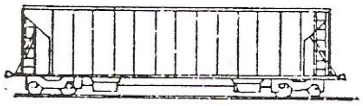
III.1. APARELHO DE MUDANÇA DE VIA

(Fonte: Semchechem, 1972).



III.2. TIPOS DE VAGÕES (Fonte: Furtado Neto, 1999).

VAGÃO	DESCRIÇÃO/FUNÇÃO	ILUSTRAÇÃO
PLATAFORMA	Vagão constituído de um simples estrado e destina-se ao transporte de mercadorias pesadas que não necessitem de proteção (veículos, máquinas, peças, trilhos, laminados, madeira, etc.).	
TANQUE	Vagão formado de um tanque cilíndrico preso a um estrado. Tem por finalidade o transporte de líquidos como gasolina, óleos, álcool, melaço, ácidos, etc.	
ISOTÉRMICO	Vagão fechado e isolado termicamente. Destina-se ao transporte de mercadorias que necessitam de baixa temperatura para sua conservação, tais como carnes, peixes, frutas, leite, etc.	
ESPECIAL	Vagão próprio para o transporte de grandes peças que não podem ser conduzidas em vagões comuns. Ex: turbinas, máquinas, transformadores.	

VAGÃO	DESCRIÇÃO/FUNÇÃO	ILUSTRAÇÃO
FECHADO	Vagão fechado que não possibilita a entrada de água de chuva. Próprio para o transporte de mercadorias que devem ser protegidas contra intempéries. Ex: cereais, gêneros alimentícios, tecidos, cimento, etc.	
GAIOLA	Vagão construído com as paredes em treliça, de modo a permitir ampla ventilação e a facilidade de limpeza e desinfecção. Destina-se ao transporte de animais vivos.Ex: bois,cavalos, carneiros, aves, etc.	
GÔNDOLA	Vagão aberto, constituído de bordas laterais tombantes, que permitem conter a mercadoria. Adequado para o transporte de; carvão, calcáreo, brita, minérios, etc.	
HOPPER	Vagão equipado com escotilhas para carregamento, tremonhas (com fundo em forma de funil) para a descarga de mercadorias diretamente nas moegas ou silos. Adequado para o transporte de cereais a granel.	

III.3. TERMINOLOGIA BÁSICA

. **Tonelada Útil (tu) – total** de carga movimentada no transporte remunerado;

. **Tonelada.Quilômetro Útil (tku)** - Unidade de medida equivalente ao transporte de uma tonelada útil à distância de um quilômetro;

. **Tonelada.Quilômetro Bruto (tkb)** – Unidade de aferição do trabalho equivalente ao deslocamento de uma tonelada de trem;

. **Trem** – Conjunto de veículos, locomotivas e vagões que formam uma composição ferroviária. Para efeito de circulação, equiparam-se aos trens as locomotivas e veículos isolados que trafegam nas linhas férreas;

. **Trem de Carga** – Trens que conduzem vagões de cargas, (animais, mercadorias, veículos, combustíveis, etc.);

. **Trem de Passageiros** – Trem ferroviário destinado a transportes de passageiros;

. **Trem.Quilômetro (trem.km)** - Unidade de medida que representa o movimento de um trem, ao longo de um quilômetro. Apenas se deve considerar a distância efetivamente percorrida;

. **Velocidade Comercial do Trem** – Velocidade que corresponde à média do tempo gasto para percorrer a distância entre dois pontos, inclusive o tempo de parada nas estações intermediárias;

. **Velocidade de Percurso ou Marcha** – Velocidade que atribui aos trens em movimento;

. **Velocidade Média dos Trens** – Relação entre o número de trens-quilômetro e o Número de trens-hora, realizados ao mesmo tempo;

. **Velocidade Média Comercial** – Mede a relação entre o trem.km e o somatório dos tempos totais, despendidos entre a formação e o encerramento dos trens na malha;

. Velocidade Média de Percurso – Mede a relação entre o trem.km e o somatório dos tempos de marcha;

. Acidente Ferroviário - Ocorrência em que coma a participação direta de veículo ferroviário, é provocado dano a este, a instalação fixa, a pessoa, animal e/ou outro veículo, etc.;

. Tráfego Mútuo - É a operação em que uma concessionária, necessitando ultrapassar os limites geográficos de sua malha para complementar uma prestação de serviço público de transporte ferroviário, compartilha recursos operacionais, tais como: material rodante, via permanente, pessoal, serviços, e equipamentos, com a concessionária em cuja malha se dará o prosseguimento ou encerramento da prestação de serviço. Tudo, mediante remuneração ou compensação financeira;

. Direito de Passagem – É a operação em que uma concessionária, mediante remuneração ou compensação financeira, permite a outra, trafegar na sua malha para dar prosseguimento, complementar ou encerrar uma prestação de serviço público de transporte ferroviário, utilizando a sua via permanente e o seu respectivo sistema de licenciamento de trens;

. Transporte Ferroviário Comercial ou Remunerado – transporte efetuado para terceiros, contra pagamento;

. Transporte Ferroviário de Serviço – Transporte executado pela empresa para responder a necessidades internas quer esse transporte produza ou não receitas para efeito de controle;

. Vagão – É o veículo destinado ao transporte ferroviário;

. Locomotiva – Veículo ferroviário que fornece a energia necessária para colocar em movimento um trem;

. Carro de Passageiro – Veículo ferroviário destinado para transporte de passageiros, tendo compartimentos com poltronas ou leitos, banheiros, refeitórios, espaço reservado para bagagens, volumes, correios, etc.;

. Número de Passageiros Transportados – É a quantidade de passageiros transportados, embarcados ou transitados nos trens de passageiros da concessionária;

. Número de Trens Formados – É a quantidade de trens formados no transporte ferroviário, incluindo cargas, passageiros e serviço;

. Passageiro.Quilômetro – É o trabalho equivalente ao transporte de um passageiro à distância de um quilômetro;

. Produto Médio – Razão entre a receita operacional líquida e a quantidade de tonelada.quilômetro útil. Representa o valor médio da tku;

. Percurso Médio – É a relação entre o somatório do percurso dos vagões próprios, arrendados, alugados e de terceiros na malha e a frota de vagões em tráfego;

. Distância Total Percorrida (km) – É o somatório do percurso de todos os trens formados num determinado período;

. Tempo Total em Marcha (trem.hora) – É o somatório dos tempos, em horas, de circulação dos trens na própria malha e em outras malhas, descontados os tempos de parada em pátios para recomposições ou em manobras, no período;

. Tempo Total Parado – É o somatório dos tempos de parada, em horas (não inclui trem em formação), de todos os trens formados no período;

. Consumo de Combustível (litro) – É a quantidade de combustível consumido pela frota de locomotivas utilizada pela ferrovia para desempenho de suas operações de transporte;

. Imobilização – Oficina (loco-hora e/ou vagão-dia) – é o somatório dos tempos de imobilização em oficinas, por modelo, próprio, arrendado, alugado e de terceiros, num determinado período;

. Frota Total em Tráfego (operacional) – São todas as locomotivas à disposição das concessionárias, sejam elas: próprias, arrendadas da antiga RFFSA, de clientes, arrendadas de terceiros, ou mesmo

aquelas de outras concessionárias, colocadas à disposição mediante contrato;

. Faixa de Domínio - Faixa de terreno de pequena largura em relação ao comprimento, em que se localizam as vias férreas e demais instalações da ferrovia, inclusive os acréscimos necessários à sua expansão.

III.4. LINHA DO TEMPO

1. HISTÓRIA

- Se não existe uma história anterior que nos leve falar e refletir sobre uma coisa qualquer (contexto);
- Se a própria coisa não tem, ela própria uma história (relevância);
- Se essa coisa não tem capacidade, ela própria, de gerar ou produzir história para ser contada no futuro;
- Não merece minha atenção...

1.1. Império Romano – nossa origem latina

- Fundação de Roma – 07/04/753 (a.C.);
- República Romana – 509 a.C. / 27 a.C.;
- Império Romano –
    - Ocidente – 27 a.C. / 476 d.C. (Roma);
    - Oriente – 476 d.C. / 1453 d.C. (Constantinopla);
- Maomé – 600 d.C.

1.2. Portugal

- 1169 d.C. (fundação – D. Afonso Henriques); Dinastia de Avis;
- 1568 – D. Sebastião, Coroado Rei, com 14 anos;
- 1578 – Morte de D. Sebastião em Alcácer-Quirbir (Marrocos);
- 1580 - Tratado de Tomar, União Ibérica – Felipe II (Espanha);
- 1640 – Fim da União Ibérica – Dinastia de Bragança.

1.3. América e Brasil

- 1494 – Colombo (descobrimento da América)
- 1500 – Cabral (descobrimento do Brasil)
- 1654 – Início do povoamento de Curitiba
- 1668 – Incorporação à Paranaguá (Gabriel de Lara)
- 1693 – Fundação de Curitiba
  – Pelourinho (Mateus Leme)
- 1721 – Ouvidor Pardinho
  (Provimentos e Imposição das Ordenações Reais);
- 1808 – Chegada da Família Real Portuguesa, ao Brasil
- 1821 – Retorno de D. João VI, a Portugal
- 1822 – (09/01) – Dia do Fico
  (07/09) – Proclamação da Independência do Brasil
  (ass. pela Princesa Dna. Leopoldina)
- 1831 – (07/04) Abdicação de D. Pedro I
  (Pedro de Alcântara – 5 anos)
  - 3 Regências (Revoltas: Sabinada; Balaiada; Farrapos)

- 1840 – Maioridade de D. Pedro II (14 anos)
- 1841 – Fim da Balaiada (Caxias)
- 1845 – Fim da Revolta dos Farrapos (Caxias)
- 1853 – Emancipação Política do Paraná (10ª Comaerca)
- 1861 / 1865 – Guerra Civil Americana (Sesseção)
- 1865 / 1869 – Guerra do Paraguai (Caxias)

1.4. Invenções / Máquina a Vapor

- Heron de Alexandria – Bola de Vento
- 1679 – Denis Papin
  – Panela de pressão com Válvula
- 1698 / 1699 - Thomas Savery
  – 1ª máquina a vapor (bomba d'água)
- 1712 – Thomas Newcomen
  – Pistão (máquina atmosférica)
- 1765 / 1770 – James Watt
  – Paralelogramo de Watt (manivela)
- 1780 – James Pickard – Biela e manivela
- 1800 – Robert Fulton
  – 1º barco submersível (Nautilus)
- 1804 – Richard Trevithick – 1ª locomotiva
  (com rotação do eixo de tração)
- 1807 – Robert Fulton – 1º barco a vapor comercialmente viável
  (The North River Steamboat)
- 1824 – George Stephenson
  – Locomotiva "The Rocket"
- 1825 – George e Robert Stephenson
  – 1ª Ferrovia (Stockton a Darlington)
- 1847 – Sobrero – Nitroglicerina
- 1865 – Alfred Nobel – Dinamite

III.5. CONVERSÕES DE BITOLAS

Nº	Unid. Métrica	Unid. Inglesa
1.	100 cm	3' 3 3/8"
2.	143,5 cm	4' 8 ½"
3.	152,4 cm	5'
4.	160 cm	5' 3"
5.	163 cm	5' 4 3/16"
6.	167 cm	5 ½'

III.6. FATORES DE CONVERSÃO DE UNIDADES

Foram utilizados fatores de conversão com aproximação de três casas decimais, para as unidades a seguir:

1 kW	1,3596 cv
1 HP	1,0139 cv
1 cv	0,9863 HP
1 polegada (inch)	2,54 m
1 pé (foot)	30,480 cm
1 jarda	91,440 m
1 jarda cúbica	0,764 m^3
1 galão (americano)	3,785 litros
1 libra	0,4536 kg
1 cv (elétrico)	0,746 kW
1 cv (métrico)	0,735499 kW
1 lb/pol^2 (psi)	0,0703069 kgf/cm^2
1 tonelada métrica	1,1 short ton (tonelada inglesa)
1 km	0,622 milhas
1 lb/ton (pound/short ton)	0,5 kgf/tf

III.7. GOVERNOS REPUBLICANOS APÓS O TÉRMINO DO CICLO DE GOVERNOS MILITARES

1984 – Fim do Ciclo dos Governos Militares
1984 / 1990 – José Sarney
1991 / 1994 – Fernando Collor de Mello (impeachment) / Itamar Franco
1995 / 1998 – Fernando Henrique Cardoso
1999 / 2002 – Fernando Henrique Cardoso
2003 / 2006 – Luiz Inácio da Silva
2007 / 2010 – Luiz Inácio da Silva
2011 / 2014 – Dilma Roussef
2015 / 2018 – Dilma Roussef (impeachment) / Michel Temer
2019 / 2022 – Jair Messias Bolsonaro
2023... - Luiz Inácio da Silva