

2.2 BREVE HISTÓRICO

Desde o princípio, as ferrovias vêm adaptando a madeira como o elemento destinado a suportar os trilhos e manter a bitola da via. Os dormentes de madeira apresentam como qualidade uma grande flexibilidade, o que resulta numa grande capacidade de suportar as vibrações oriundas das ações dinâmicas atuantes na via permanente.

Com o desenvolvimento e a conseqüente concorrência de outros meios de transporte, a escassez e o preço elevado das madeiras nobres, menor durabilidade e maior necessidade de manutenção e principalmente com o surgimento do concreto protendido, a partir da 2ª Guerra Mundial os países da Europa, com destaque para Inglaterra, França e Alemanha, começaram a substituir os dormentes de madeira pelos dormentes de concreto (biblocos e monoblocos).

O primeiro projeto de dormente de concreto data de 1884 e pertence ao francês Mounier. A Áustria e a Itália foram os primeiros países a produzir dormentes de concreto. A ferrovia federal suíça, em 1904, e a sueca, em 1910, experimentaram a aplicação do concreto armado nos dormentes. A ferrovia estatal francesa iniciou os seus experimentos e testes de dormentes monoblocos e biblocos de concreto armado, em 1913, e as ferrovias nacionais alemãs em 1922. De modo geral, os testes realizados com dormentes de concreto armado conduziram a resultados insatisfatórios, com exceção do dormente monobloco projetado pela Eternit na Itália, que utilizava cimento com fibras de asbesto (fibro-cimento).

O desenvolvimento histórico do dormente de concreto pode ser dividido em duas etapas: a primeira que vai até 1940, e a segunda, de 1940 até o presente. Na primeira, os três tipos de dormente (monobloco, bibloco e articulado) eram confeccionados com concreto armado comum; de modo geral, não obtiveram êxito. Na segunda, com o advento do concreto protendido e o surgimento das fixações elásticas, os dormentes monoblocos pré e pós-tensionados obtiveram grande sucesso e desenvolvimento. Mas o período de 1920 a 1940 foi importante, pois alguns modelos de dormente foram produzidos em escala industrial, além de que nesta fase surgiram os dois tipos principais: o monobloco e o bibloco.

2.3 DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO NOS PRINCIPAIS PAÍSES

Do primeiro dormente de concreto até os modernos e atuais, numerosos foram os tipos e modelos experimentados. O fracasso de alguns modelos facilitou o melhor conhecimento do comportamento do dormente e a importância das solicitações a considerar no projeto. Os modelos atuais dos dormentes de concreto, que são seguros,

resistentes e econômicos, decorrem dos inúmeros melhoramentos feitos nos primeiros modelos, através das longas experimentações e investigações realizadas em diversas ferrovias do mundo.

O desenvolvimento dos dormentes de concreto ocorreu ao longo do século XX em diversos países, como Inglaterra, Alemanha, França, ex-União Soviética, Hungria, Suécia, Estados Unidos, África do Sul, Japão, China e vários outros. A fim de não alongar por demais o texto, apresentam-se apenas os fatos mais importantes ocorridos na Inglaterra, Alemanha, França e Estados Unidos.

2.3.1 Inglaterra

Um dormente bibloco desenvolvido pela “Stent Precast Concrete” foi utilizado em grande escala de 1915 a 1934. Juntamente com o bibloco francês VAGNEUX, constituiu, naquela época, um grande avanço na técnica dos dormentes de concreto.

Durante a 2^a Guerra Mundial, a Inglaterra realizou uma ampla pesquisa sobre os tipos de dormentes então existentes. Desta investigação, surgiram as bases para o projeto e a fabricação de dormentes monoblocos de concreto armado e protendido. Entre 1941 e 1945, diferentes dormentes de concreto foram testados em via; os dormentes de concreto armado apresentaram problemas e foram abandonados. Com o fim da Guerra, os dormentes de madeira voltaram a ser utilizados, pois os de concreto, além dos problemas ocorridos, apresentavam custo mais elevado.

Foi na Inglaterra que surgiu a primeira aplicação do concreto protendido em dormentes. Em 1943, um dos primeiros dormentes protendidos desenvolvidos foi o modelo DOW-MAC. Em 1948, com a melhoria do DOW-MAC, surgiu o modelo monobloco STENT, de comportamento excelente.

Em 1946, o número de dormentes DOW-MAC instalados era de 50.000 e, em 1956, apenas 10 anos depois, passou a 1.500.000 unidades, com a aplicação de 300.000 anualmente. Os dormentes foram fabricados pelo método de protensão em linhas longas, o qual foi posteriormente adaptado em muitos outros países.

Em vias importantes, a Inglaterra tem hoje mais de 30 milhões de dormentes de concreto instalados.

2.3.2 Alemanha

Em 1926, as ferrovias alemãs ensaiaram, na via entre Munique e Salzburgo, um dormente bibloco semelhante aos modelos STENT e VAGNEUX, com condições severas de tráfego, carga e velocidade. Os dormentes permaneceram em serviço até 1938, comportando-se satisfatoriamente nesse período.

A partir de 1940, as ferrovias alemãs iniciaram experiências com o dormente monobloco de concreto armado denominado B 1. Foi logo substituído pelo modelo B 3, semelhante ao anterior, mas com o desenho modificado e com sensível diminuição da amadura, a qual passou dos 17 kg iniciais para 11 kg. Foram assentados 20.000 dormentes até 1945, com a maior parte permanecendo em serviço por mais de uma década, sob tráfego intenso de cargas. Apesar de apresentarem fissuras de flexão, comportaram-se de forma satisfatória. Ao mesmo tempo, desenvolvia-se o primeiro dormente monobloco de concreto protendido, o B 2. Este era constituído de 56 fios de aço com diâmetro de 2,5 mm e torcidos aos pares. Após 12 anos de atividade na via, o seu comportamento foi excelente, permitindo prever uma vida útil considerável para os dormentes monoblocos protendidos. Em 1948 deixou de ser usado, por causa de sua fabricação exigir grandes bancos de protensão. Em consequência surgiram os modelos B 6 (com protensão com aderência) e B 9 (com protensão sem aderência e ancoragem nos extremos), desenvolvidos pelas empresas Beton & Monier Bau A.G. e Dyckerhoff & Widmann A.G., respectivamente.

Após uma detalhada pesquisa, a Ferrovia Federal Alemã (DB) decidiu em 1949 usar os dormentes monoblocos de concreto protendido. De 1949 a 1953, uma enorme pesquisa experimental foi realizada em via com diferentes modelos de dormentes.

Modificações sucessivas na forma e na armadura de protensão conduziram aos tipos B 61, B 62 e BV 63, derivados do B 6, e aos tipos B 91, B 12 e B 53, derivados do B 9. Com ensaios e a experiência adquirida dos diversos tipos empregados, em 1953 surgiram os modelos B 53 e B 53-V. A produção anual nessa época alcançava a 2.100.000 unidades.

Em consequência de descarrilamentos ocorridos, a partir de 1955 os dormentes passaram a fornecer maior capacidade de suporte aos trilhos e maior resistência aos impactos e deslocamentos laterais. Assim surgiram os modelos B 55 e B 58.

Desde 1949, as ferrovias alemãs (DB) têm mais de 49 milhões de dormentes monoblocos de concreto protendido instalados em vias. Os projetos recentes são dormentes monoblocos de concreto protendido pós-tensionados.

Atualmente os dormentes de uso corrente são do tipo B 58 e B 70, com comprimento de 2,60 m para bitola internacional (1435 mm) e grandes velocidades.

2.3.3 França

Entre a 1^a e a 2^a Guerra Mundial, as ferrovias francesas instalaram milhares de dormentes de concreto armado, projetados por Weinberg, Vagneux e Lefranc. Esses dormentes não obtiveram bom desempenho em linhas principais, devido aos sistemas de fixação do trilho existentes naquela época.

Após o término da 2ª Guerra Mundial, a França intensificou o emprego dos dormentes de concreto, com a experimentação de quatro tipos: o dormente protendido STUP, projetado por Freyssinet, seus derivados SCOP e SNCF-V-W e o dormente bibloco VAGNEUX. O modelo SCOP, com 54 fios de protensão com diâmetro de 2,5 mm, por causa de seu elevado custo e dificuldades de fabricação, foi substituído pelo modelo SNCF-V-W.

Em 1949, o engenheiro Roger Sonneville desenvolveu após sucessivos aperfeiçoamentos o dormente bibloco SNCF/RS, com a fixação elástica RN criada em 1947. Nos anos seguintes, a ferrovia estatal francesa SNCF (*Société Nationale de Chemins de Fer Français*) considerou o dormente bibloco como uma alternativa à substituição dos dormentes de madeira em linhas de tráfego moderado.

Em 1956 existiam em serviço, nas vias ferroviárias francesas, cerca de 3.000.000 de dormentes de concreto, dos quais 2.000.000 do tipo SNCF/RS.

Depois de vinte anos de experiência e com os melhoramentos obtidos, a SNCF confirmou a sua preferência pelos dormentes biblocos, devido ao seu baixo custo e a sua maior resistência lateral no lastro. Desde 1970, o dormente bibloco tem sido instalado em quase todas as linhas principais, inclusive nas vias de alta velocidade (TGV). Os dormentes monoblocos têm uso limitado, não chegando a 10 % dos dormentes da SNCF.

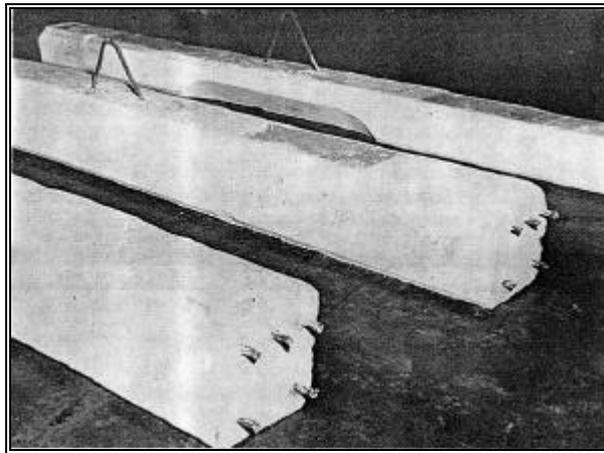
2.3.4 Estados Unidos

O primeiro uso dos dormentes de concreto nos Estados Unidos foi em 1893, quando 200 unidades foram instaladas na via pela "Reading Company" em Germantown. De 1925 a 1927, a Pennsylvania Railroad instalou 25.000 dormentes de concreto armado e, em 1952, aproximadamente 4.500 unidades ainda estavam em uso (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - 1958). Entre 1893 e 1930, mais de 150 tipos de dormentes de concreto armado foram projetados e patenteados no país. Mais de 60 instalações experimentais foram construídas em várias ferrovias. O desempenho de muitos dormentes foi insatisfatório por causa do projeto incorreto ou da fixação inadequada (WEBER - 1975). Além disso, segundo a PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (1958), o preço dos dormentes de concreto era de 8 a 14 dólares, enquanto o preço do dormente de madeira era de 4,5 dólares.

De 1930 a 1957 havia poucos dormentes de concreto em atividade, pois os dormentes de madeira eram fornecidos em quantidade suficiente e com métodos de tratamento que estendiam a sua vida útil em serviço (WEBER - 1975). A primeira instalação significativa de dormentes protendidos nos Estados Unidos ocorreu em 1966, quando 74.000 unidades foram instaladas na Florida East Coast Railway (HANNA - 1986).

Em 1957, a *Association of American Railroads* (AAR) decidiu que os dormentes de concreto deveriam novamente ser projetados, fabricados, testados e instalados em várias ferrovias. Ensaios de investigação da resistência às ações estáticas e repetidas foram realizados com dormentes de concreto protendido. Resultaram os modelos A, B, C, D e E, sendo que algumas características dos modelos A e E serão aqui apresentadas.

O modelo A tinha 203 mm de altura, 229 mm de largura na base e 259 cm de comprimento (fig. 2.3). Era o modelo mais resistente e também de maior massa, 272 kg. Eram cinco as barras de protensão, com diâmetro de 12,7 mm, três na metade superior e duas na base.



*Fig. 2.3 - Dormente americano modelo A em primeiro plano.
(FONTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - 1958).*

O modelo E diferiu do A na forma da sua parte central inferior, em forma de V para reduzir o apoio sobre o lastro, e na posição dos fios de protensão superiores, os quais foram colocados mais acima na seção transversal do dormente, além de um outro sistema de fixação.

A ferrovia Florida East Coast Railway fez a primeira instalação do dormente E (comercialmente designado MR 2 - fig. 2.4) em 1964 sobre 16 km de via, com o espaçamento de 762 mm entre os dormentes. Muitos problemas aconteceram, como a ruptura de dormentes decorrente da fissuração na posição do trilho e no centro do dormente, além do arrancamento de chumbadores. Posteriormente, os modelos instalados passaram a ter a base inferior lisa no centro e com menor espaçamento (610 mm). Na Seaboard Coast Line Railroad, entre 1960 e 1967, cerca de 250.000 dormentes foram instalados na via; o desempenho não foi bom, principalmente em curvas.

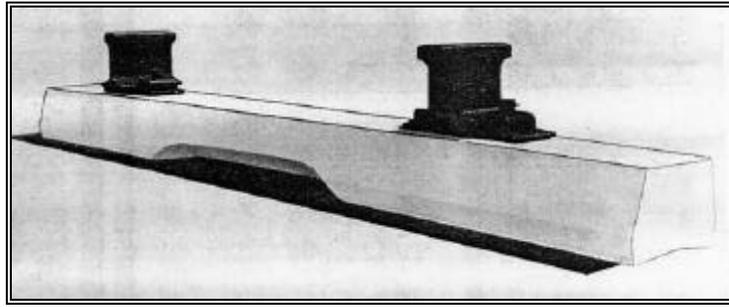


Fig. 2.4 - Dormente de concreto protendido modelo E (MR 2) da AAR.
(FONTE: NEUMANN - 1963).

Apesar das modificações realizadas, os dormentes posteriormente instalados nas vias principais continuaram a apresentar sérios problemas. Nos anos de 1967 e 1968, estudos conduzidos pela *Portland Cement Association* identificaram quatro tipos de problemas:

- a) arrancamento dos chumbadores;
- b) fissuras de flexão na parte central do dormente;
- c) fissuras de torção na parte central do dormente;
- d) fissuras de flexão na posição abaixo dos trilhos.

Ainda, vários problemas não-estruturais ocorreram, como abrasão no concreto e almofada, quebra de parafusos e grampos da fixação e fissuração na região dos chumbadores.

Segundo TAYLOR (1996), no projeto desses dormentes foi assumida uma carga de eixo menor do que as então existentes, e ainda, como o coeficiente dinâmico foi tomado igual a 0,5, as conseqüências de defeitos comuns de rodas e via não foram totalmente admitidas.

As fissuras de flexão e de torção no centro do dormente ocorreram porque a forma em V da parte central do dormente (ver fig. 2.4) não impediu o apoio sobre o lastro e, pior, enfraqueceu o centro do dormente, causando até mesmo a ruptura de algumas unidades por torção. O modelo seguinte adotou a base inferior lisa, eliminando a forma em V da parte central, o que resultou em maior resistência (WEBER - 1975). Os modelos alemães similares, ou seja, com menor seção na parte central, como por exemplo o modelo B 53, já tinham também enfrentado problemas semelhantes e foram substituídos pelos modelos reforçados no centro, como os modelos B 55 e B 58.

O problema principal encontrado foi a fissuração por flexão na base do dormente na posição dos trilhos. A fissura progredia para cima alcançando os chumbadores, levando à ruptura do dormente. Concluíram que o dormente não era tão resistente quanto o projeto indicava e as fissuras originadas de supercarregamentos (impactos) não fechavam.

O dormente apresentou-se fraco na posição do trilho, devido ao comprimento insuficiente de ancoragem das barras de protensão, resultando em fissuras na região, perda de aderência entre as barras e o concreto e conseqüentemente perda de protensão. As fissuras permaneciam abertas no dormente descarregado e foram indicadoras da ruptura prematura do dormente. A solução para o problema foi melhorar a aderência das barras com o concreto e, durante o processo de fabricação, transferir as forças de protensão para o concreto de forma suave e não brusca, pois isto resulta em um menor comprimento necessário para a transferência das forças das barras para o concreto.

A solução prática para o problema foi adotar uma maior quantidade de fios com menores diâmetros e com a aderência mecânica proporcionada pelas saliências ou mossas. Como uma alternativa, podem também ser utilizados dispositivos de ancoragem, similar àqueles dos dormentes pós-tensionados.

Com os problemas encontrados e descritos anteriormente, a *American Railroad Engeneering and Manutenance Association* - AREMA - formou um Comitê Especial para preparar novas especificações de desempenho para todos os tipos de dormentes de concreto que poderiam ser usados nas vias principais. Os dormentes projetados segundo a nova especificação receberam o nome de "*dormentes intermediários*". Durante os anos de 1971 e 1972 várias ferrovias aplicaram esses dormentes em trechos curtos (~ 1,5 km) para testes. O objetivo era avaliar os dormentes, os sistemas de fixação e as almofadas de apoio em condições normais de tráfego. Rapidamente os problemas começaram a surgir, como quebras de parafusos, cliques soltos e ruptura ou deslocamento das almofadas. Com a remoção de parte do lastro, foi possível observar que a maioria dos dormentes inspecionados apresentavam fissuras de flexão abaixo dos trilhos. Constatou-se que em duas locações, os dormentes foram submetidos a maiores momentos fletores na posição do trilho e no centro, devido à baixa qualidade do lastro (um deles consistia de cinza vulcânica e o outro, embora com material de boa qualidade, sofreu grande infiltração de areia). Quase 100 % dos dormentes apresentaram fissuras na base do dormente sob o trilho (WEBER - 1975).

Dormentes fissurados em via e testados em laboratório apresentaram perda de 30 % na resistência última. Acreditou-se que a perda de resistência resultou de uma perda parcial da aderência e conseqüentemente redução da protensão no dormente. Concluíram então naquela época que, em serviço, fissuras no dormente são indesejáveis e deveriam ser eliminadas pelo uso de dormentes mais resistentes, redução do espaçamento e melhoria da qualidade do lastro.

Em outros trechos de testes com lastro de melhor qualidade, os dormentes também apresentaram desempenho inadequado. Concluiu-se que as Especificações AREMA versão de 1971 para dormentes de concreto e fixações eram inadequadas para os dormentes de concreto a serem usados nas vias principais. A partir das revisões e

correções efetuadas em 1973 pela AREMA, os dormentes projetados conforme esta mais nova versão passaram a ser designados como “*novos dormentes*” (WEBER - 1975).

Em 1973 e 1974, os “*novos dormentes*” foram instalados para testes em quatro pequenos trechos ferroviários. Os trechos incluíam diferentes condições climáticas, lastros excelentes e pobres, vias retas e curvas, variações de tráfego como: baixa densidade com velocidade moderada, média densidade com alta velocidade etc. Ainda, os diferentes modelos de dormentes e demais componentes foram instalados em diferentes trechos de testes, com uma mesclagem entre os tipos de dormente e de fixação. Um trecho de teste foi no Alaska, com o objetivo de testar o dormente e a fixação sob condições severas de temperatura e condições desfavoráveis do lastro. Após seis invernos, o dormente e a fixação estavam desempenhando extremamente bem (VENUTI - 1980). Em uma outra locação de testes, diferentes projetos de dormentes, sistemas de fixação e almofadas foram investigadas. O desempenho dos dormentes e das fixações foi excelente, ocorrendo apenas deslocamento de almofadas, quebras de isoladores e inclinação de placas de apoio.

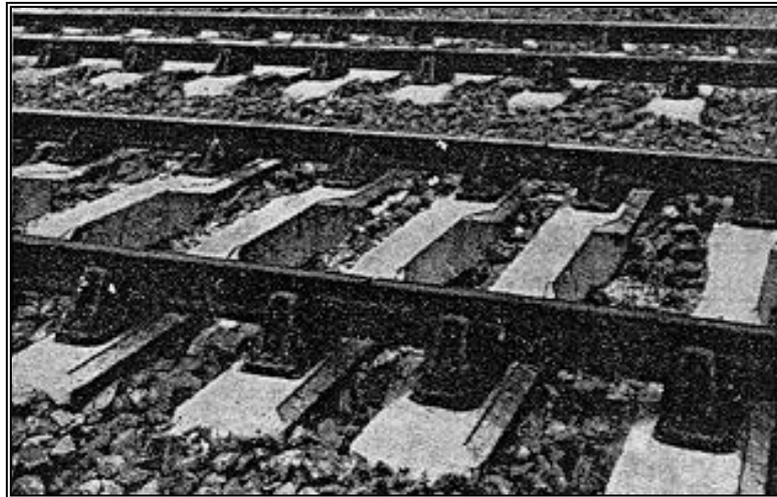
Um longo e interessante teste de desempenho de dormentes de concreto e de sistemas de fixação vem sendo realizado desde 1976 no *Facility for Accelerated Service Testing* (FAST). A locação consiste de um trecho (8 km) separado da via, para onde os veículos são desviados para realizarem uma volta completa, até voltarem à via normal. O trecho separado possui pequenas retas e curvas com diferentes configurações; foi projetado para testar simultaneamente os veículos, a estrutura da via, trilhos, dormentes, lastro, fixações, equipamentos de segurança, métodos de manutenção e desvios. READ (1991) realizou uma pesquisa para investigar o comportamento dos dormentes atuais sob a aplicação de cargas de eixo de 390 kN. Observou que nenhum dormente rompeu em serviço e, em uma curva, 15 dormentes ou 2,6 % do total desenvolveram fissuras de flexão na parte superior do dormente entre o centro e o trilho, mas todos permaneceram em serviço. Esses dormentes sob carga de eixo de 330 kN não tinham apresentado qualquer fissuração.

2.4 OS PRIMEIROS MODELOS DE DORMENTES

Os primeiros e principais dormentes biblocos e monoblocos de concreto armado e concreto protendido estão descritos a seguir, na ordem cronológica em que ocorreram os seus desenvolvimentos. Vários outros tipos e modelos de dormentes, desenvolvidos em países como a ex-União Soviética, Japão, República Tcheca, Itália, Áustria, Hungria, Bulgária, Suécia, Noruega e Polônia, não foram abordados para não estender demais esta descrição.

2.4.1 Dormente ORION

Na França, entre 1928 e 1933, cerca de 200.000 dormentes monoblocos de concreto armado do tipo ORION foram instalados (fig. 2.5).



*Fig. 2.5 - Via com dormente monobloco de concreto armado ORION.
(FONTE: GUITART - s.d.).*

Este dormente media 220 cm de comprimento, 26 cm x 16 cm (largura x altura) no apoio do trilho, na parte central a sua espessura se reduzia a 13 cm com uma curvatura na parte inferior a fim de evitar que apoiasse no lastro. Era armado com barras de aço quadradas e torcidas.

A fixação dos trilhos era garantida com a utilização de parafusos apertados sobre tacos de madeira dura embutidos no concreto. O trilho assentava-se no dormente através de uma placa de madeira de 8 mm de espessura.

Após 20 a 25 anos, uma grande quantidade de dormentes ainda continuava em serviço e somente a fixação se mostrou deficiente após 15 a 20 anos. Na época, o dormente monobloco ORION foi o único de concreto armado que apresentou resultados satisfatórios.

2.4.2 Dormente VAGNEUX

Este dormente bibloco surgiu na mesma época do dormente ORION. O modelo VAGNEUX na França e o modelo STENT na Inglaterra foram os primeiros dormentes biblocos desenvolvidos. As dimensões do bloco em centímetros eram 72x32x20,7 (comprimento x largura x altura) e 185 kg a massa total do dormente (fig. 2.6). Entre o

trilho e o dormente colocava-se uma placa de madeira dura. O sistema de fixação consistia em parafusos apertados em tacos de madeira ou espirais metálicas introduzidas no concreto; o resultado não foi bom com ambos os materiais. Os dormentes que receberam manutenção permanente apresentaram excelentes resultados, continuando em serviço após 25 anos.

De 1922 a 1934, 900.000 foram instalados na França, Itália, Suíça, Bélgica, Indochina e países da África. O principal problema deste dormente foi a corrosão da travessa metálica devida à ação da água. Os dormentes que receberam manutenção permanente continuaram em serviço após 20 a 25 anos.

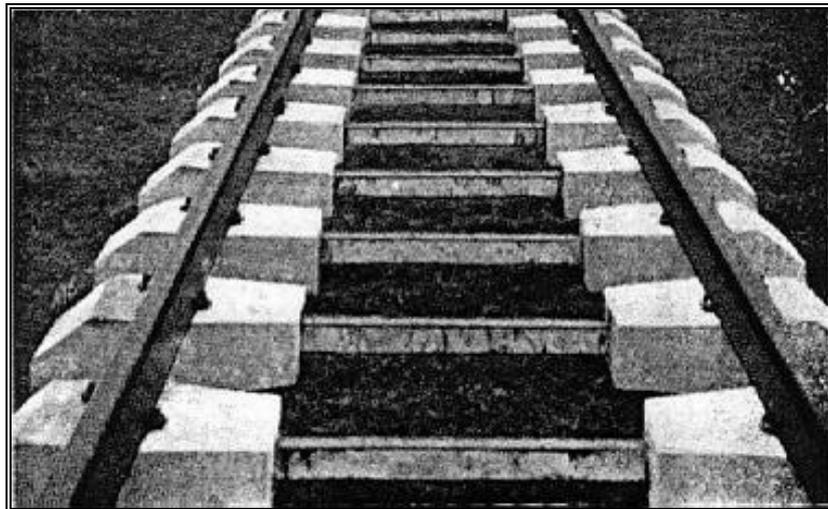


Fig. 2.6 - Via com dormente bibloco VAGNEUX (FONTE: INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - 1954).

2.4.3 Dormente DOW-MAC

Este dormente monobloco protendido foi desenvolvido na Inglaterra e surgiu em 1942 (fig. 2.7). Tinha o comprimento total de 2,60 m, a altura de 20 cm sob os trilhos e 12,5 cm na parte central, com a massa de 240 kg. A armadura de protensão por aderência era constituída por 20 fios lisos de 5 mm de diâmetro, sendo cada fio tracionado com uma força de 22 kN; a força total de pré-compressão alcançava a 440 kN. O trilho assentava-se sobre o dormente por intermédio de uma placa metálica sobre uma lâmina de borracha. A fixação do trilho era obtida através de parafusos passantes no dormente.

Os dormentes eram fabricados em série (30 a 50 unidades) em pistas de protensão de comprimento de 100 a 150 m. Após seis a sete anos em serviço, os responsáveis pela conservação da via manifestaram a sua satisfação com o desempenho do dormente, que demonstrou excelente estabilidade e menor necessidade de conservação.

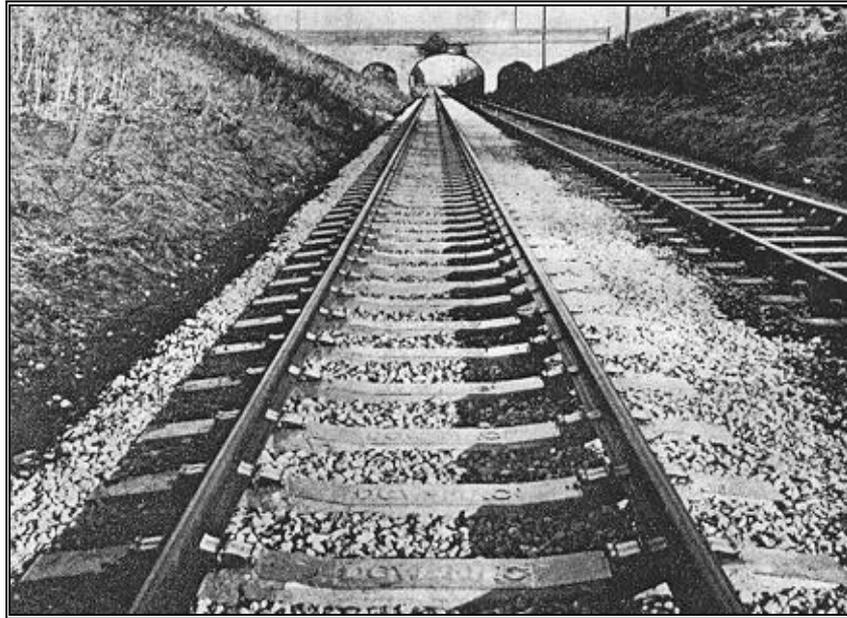


Fig. 2.7 - Via com o dormente DOW-MAC (FONTE: NEUMANN - 1963).

2.4.4 Dormente FRANKI-BAGON

Este dormente foi fabricado na Bélgica em 1946. Consistia de dois blocos de concreto armado para apoio dos trilhos, unidos por uma travessa também de concreto armado (fig. 2.8). Entre a travessa e os dois blocos eram colocados elementos com módulo de elasticidade inferior ao do concreto utilizado. Os blocos e a travessa eram acoplados através da aplicação de uma força de protensão de 150 kN, aplicada em oito fios de 5 mm de diâmetro e após o endurecimento do concreto.

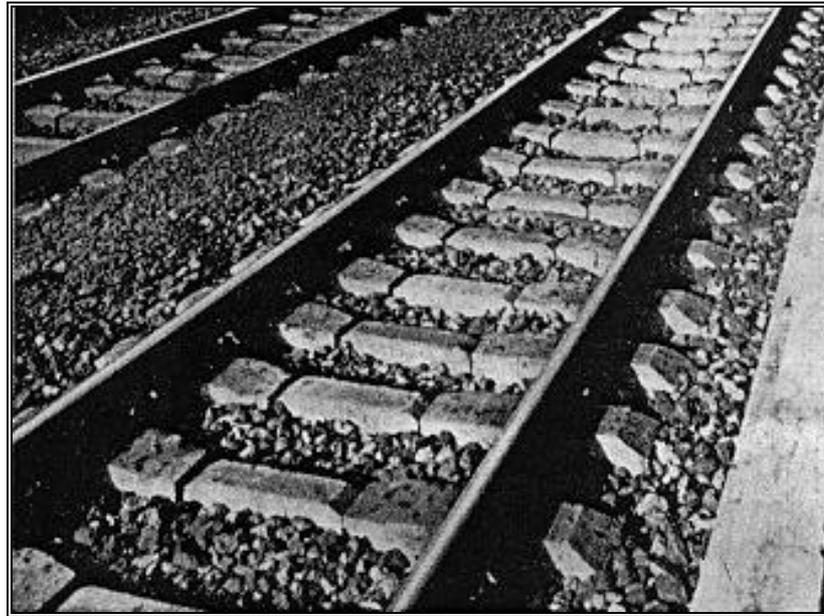


Fig. 2.8 - Via com dormente articulado belga Franki-Bagon (FONTE: NEUMANN - 1963).

2.4.5 Dormente STENT

De 1948 a 1951 foi desenvolvido e testado na Inglaterra o dormente STENT, com comprimento de 2,51 m, dez fios de protensão com diâmetro de 5,6 mm ancorados nas extremidades. O dormente era produzido em moldes individuais.

Quando, a partir de 1951 surgiu o fio de protensão com saliências ou mossas e com as alterações no sistema de protensão e os diferentes trilhos fabricados, outros três modelos do dormente STENT (grupos E, F e G) foram desenvolvidos para vias expressas de velocidade até 96 km/h e vias de tráfego pesado (fig. 2.9).

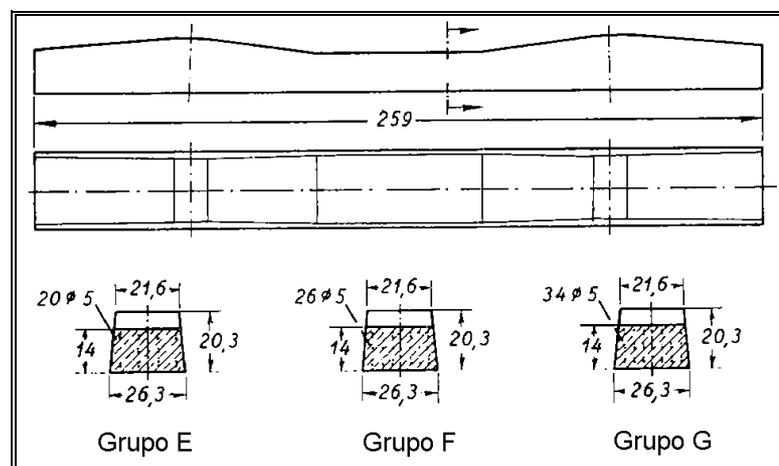


Fig. 2.9 - Dormente STENT, grupos E, F e G (FONTE: NEUMANN - 1963).

2.4.6 Dormente SNCF-VW

Na França, após longa investigação e realização de ensaios, surgiu em 1950 o dormente monobloco protendido pré-tensionado de denominação V-W (VALETTE-WEINBERG) da ferrovia estatal SNCF (fig. 2.10 e 2.11).

Assim como no caso dos dormentes de concreto armado, este dormente desenvolveu-se com o aperfeiçoamento de outros dois dormentes, o STUP (concebido por Freyssinet) e o SCOP, que não obtiveram resultados inteiramente satisfatórios.

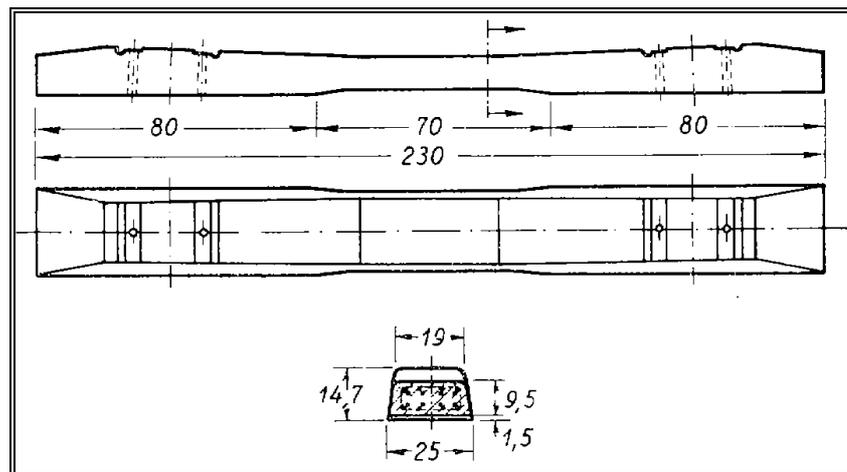


Fig. 2.10 - Dormente monobloco protendido SNCF-VW (FONTE: NEUMANN - 1963).

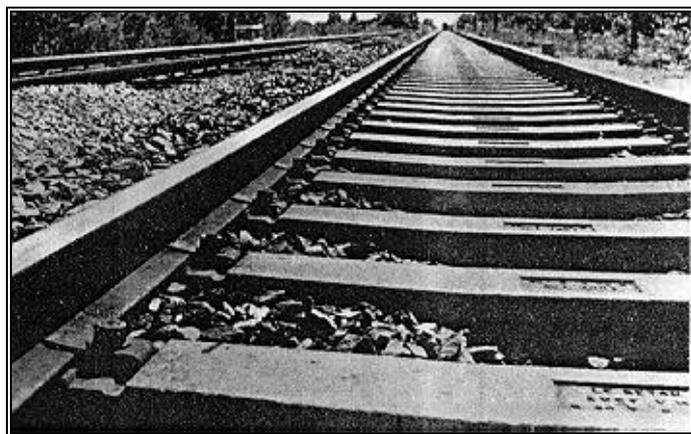


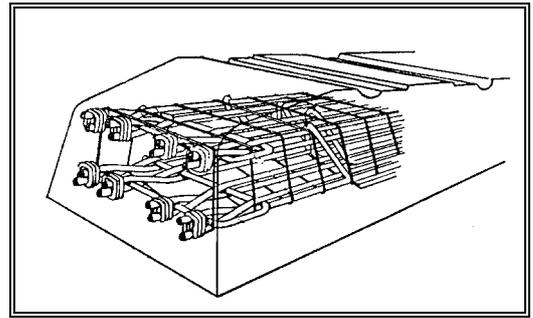
Fig. 2.11 - Via com o dormente SNCF-V-W instalado (FONTE: NEUMANN - 1963).

O comprimento deste dormente era de 2,30 m, a seção transversal trapezoidal com altura de 14,7 cm sob os trilhos e 9,5 cm na parte central, e a massa total de 150 kg.

A fig. 2.12 mostra o detalhe da armação nas extremidades do dormente, constituída por 16 fios protendidos com diâmetro de 5 mm e tensão de escoamento de 1050 MPa, dispostos em dupla e inicialmente tracionados com uma força de 320 kN.

Fig. 2.12 - Detalhe da armação nas extremidades do dormente SNCF-V-W.

(FONTE: INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - 1954).



O concreto era lançado em moldes individuais e em seguida vibrado. A cura efetuava-se à temperatura de 70° C durante 5 horas.

Após a instalação e utilização na via, foram observadas fissuras individuais e transversais de flexão na parte inferior do dormente, na posição de apoio dos trilhos. As causas foram a inadequada capacidade de resistir aos momentos fletores, em consequência da excentricidade da força de protensão, das tensões alternadas de alta frequência e das vibrações resultantes dos efeitos dinâmicos das ações.

A força inicial de protensão de 320 kN foi aumentada para 400 kN e a posição do centro de gravidade da armadura foi melhorada. Essas alterações resultaram no modelo SNCF-V-W tipo CE, contendo 20 fios de protensão com diâmetro de 5 mm e tensão de escoamento de 1050 MPa, e o modelo SNCF-V-W tipo DE, contendo oito fios de protensão com diâmetro de 7 mm e a mesma tensão de escoamento.

A fixação do trilho era do tipo RN com mola na forma de clipe e parafuso apertado em espiral metálica no interior do concreto (fig. 2.13).

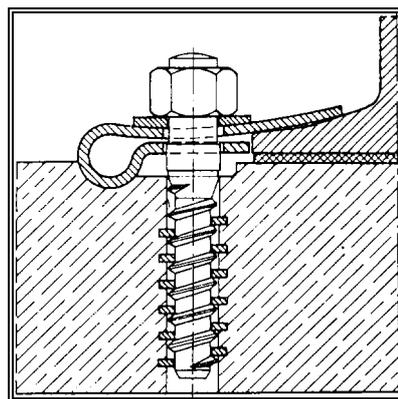


Fig. 2.13 - Fixação RN utilizada no dormente SNCF-V-W (FONTE: NEUMANN - 1963).

2.4.7 Dormente B 9

Um dos primeiros dormentes pós-tensionados fabricados na Alemanha foi o modelo B 9, no período de 1949 a 1953. O comprimento do dormente era de 230 cm e a face inferior da parte central ficava 5 cm acima da face inferior das partes extremas, a fim

de não permitir o apoio no lastro em 80 cm da parte central do dormente (fig. 2.14). A armadura era constituída de duas barras de 18,6 mm de diâmetro com tensão de escoamento de 550 MPa, com a força de protensão de 240 kN. As barras não ficavam aderentes ao concreto e a ancoragem era obtida nas extremidades das barras por meio de parafusos, porcas e arruelas.

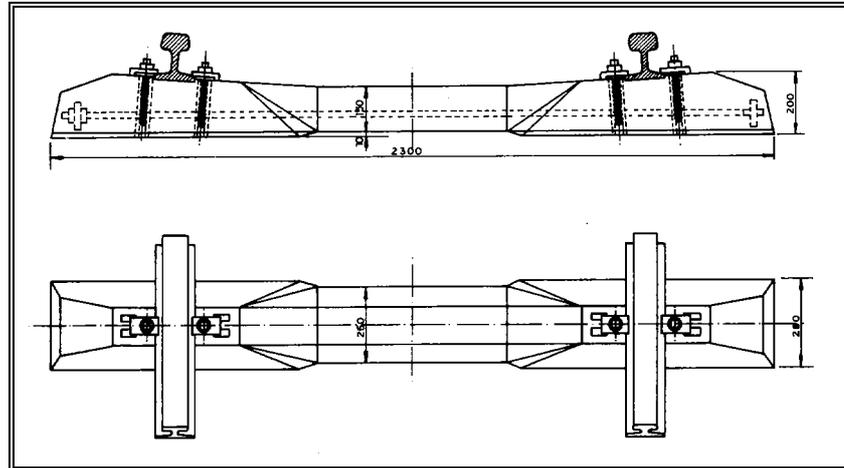


Fig. 2.14 - Forma do dormente B 9 (FONTE: NEUMANN - 1963).

O consumo de cimento era de 360 kg/m^3 e a relação água/cimento para o concreto 0,38. Os moldes para a sua fabricação eram metálicos e para três unidades (fig. 2.15). Outros dormentes, como o B 91, B 12 e B 53, faziam parte deste desenvolvimento (fig. 2.16).

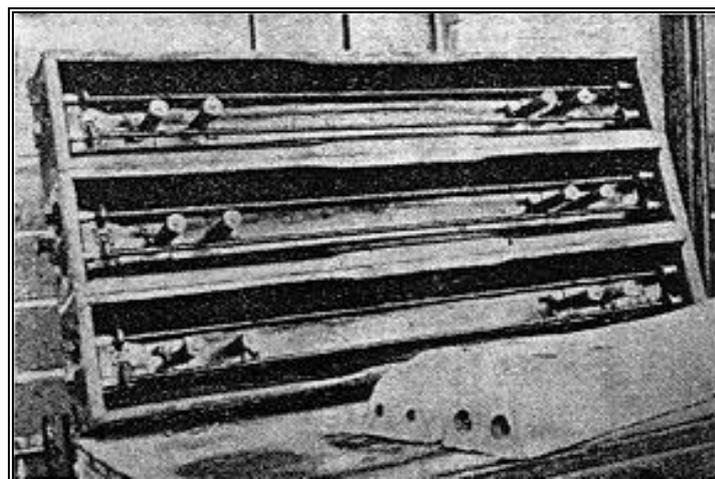


Fig. 2.15 - Moldes metálicos para a fabricação do dormente B 9.
(FONTE: GUITART - s.d.).

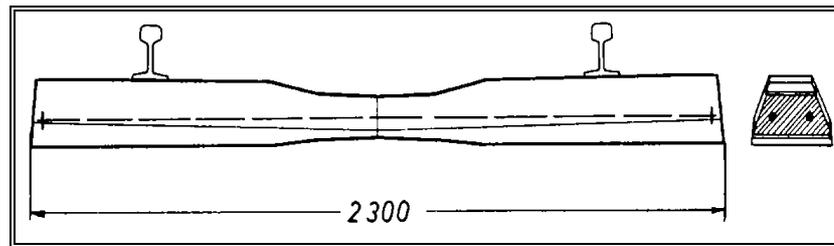


Fig. 2.16 - Dormente alemão B 53.

(FONTE: INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - 1954).

Os dispositivos de ancoragem da armadura de protensão consistiam nos seguintes elementos (ver fig. 2.17): as barras longitudinais (a) tinham em um dos extremos uma placa (b) para ancoragem no concreto, no outro extremo havia uma porca (d) que se apoiava sobre uma arruela deslizante (c).

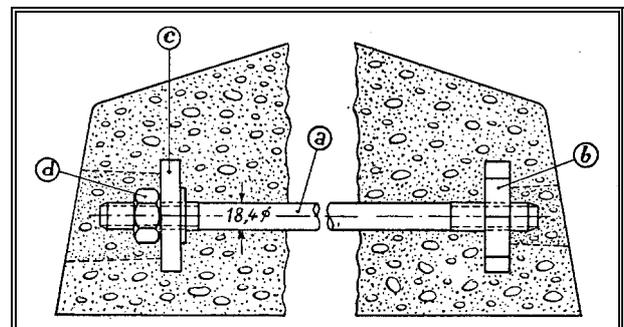


Fig. 2.17 - Detalhes da ancoragem da armadura do dormente B 53.

(FONTE: INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO - 1954).

A protensão era realizada com as seguintes operações: aplicação de uma pequena tensão nas barras antes que os dormentes fossem manipulados e retirados do local de fabricação; após um mês de fabricação era aplicada uma pré-compressão até a força nominal; após 10 semanas era aplicada uma segunda pré-compressão que compensava as perdas anteriores.

2.4.8 Dormentes B 55 e B 58

O modelo B 55 de 1955 e B 58 de 1958, foram desenvolvidos para proporcionar às vias uma maior capacidade de carga, melhor resistência aos esforços de impacto e maior resistência aos deslocamentos horizontais (fig. 2.18). Estas características foram obtidas com o reforço da parte central do dormente, a variação uniforme da seção transversal em direção aos extremos do dormente e o mínimo de quatro barras de protensão. O dormente B 58 tinha o comprimento de 240 cm, ou seja, era 10 cm maior que o modelo B 55 (fig. 2.19).

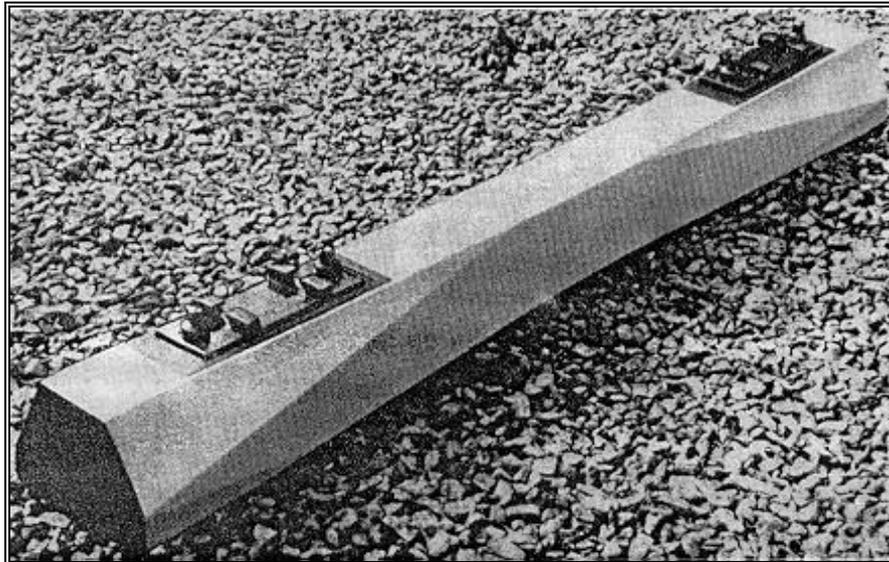


Fig. 2.18 - Dormente modelos B 55 e B 58 (FONTE: NEUMANN - 1963).

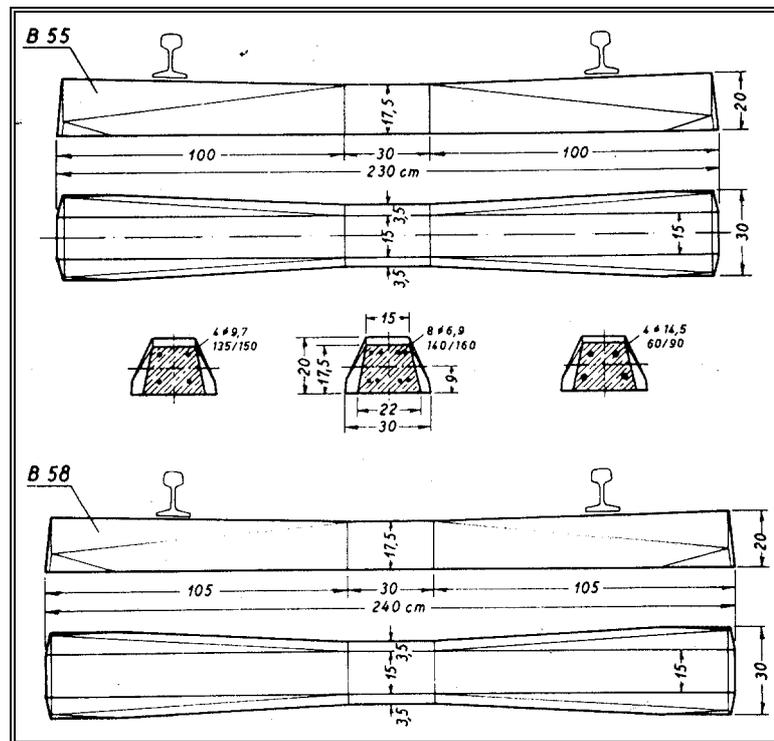


Fig. 2.19 - Dormentes modelos B 55 e B 58 (FONTE: NEUMANN - 1963).

O tipo de armadura e o processo de protensão e produção ficavam à escolha dos fabricantes, sendo autorizados os seguintes sistemas (fig. 2.20):

- a) Beton & Monierbau AG, com quatro barras de protensão de 14,5 mm de diâmetro e tensão de escoamento de 600 MPa, tracionadas contra o molde;
- b) Dyckerhoff & Widmann KG, com quatro barras de protensão de 9,7 mm de diâmetro e tensão de escoamento de 1350 MPa, com desmolde do dormente com o concreto ainda

fresco e pós-tensionamento contra o concreto endurecido, de acordo com o sistema Dywidag/Karig;

c) Thormann & Stiefel AG, com oito barras de protensão de 6,9 mm de diâmetro e tensão de escoamento de 1400 MPa, tracionadas contra o molde de acordo com o método Thosti- BBRV;

d) Wayss & Freytag KG, com quatro barras de protensão de 9,7 mm de diâmetro e tensão de escoamento de 1350 MPa, tracionadas contra o molde.

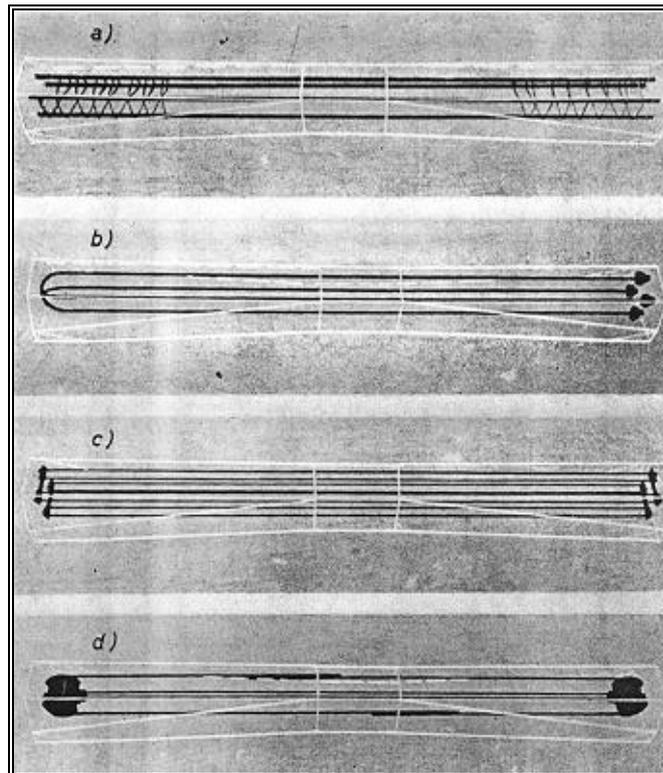


Fig. 2.20 - Tipos de armadura de protensão do dormente B 58.

(FONTE: NEUMANN - 1963).

O concreto apresentava resistência à compressão aos 28 dias (medido em cubos) de 60 MPa. O molde para a produção conjunta de três dormentes está mostrado na fig. 2.21.

2.5 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS DORMENTES DE CONCRETO

Segundo a FIP (1987), desenvolvimentos recentes de vias com dormentes de concreto mostraram, além de ótimo desempenho em vias para altas cargas por eixo, benefícios de custo em vias muito curvas, de grande fluxo de passageiros e de grande velocidade.

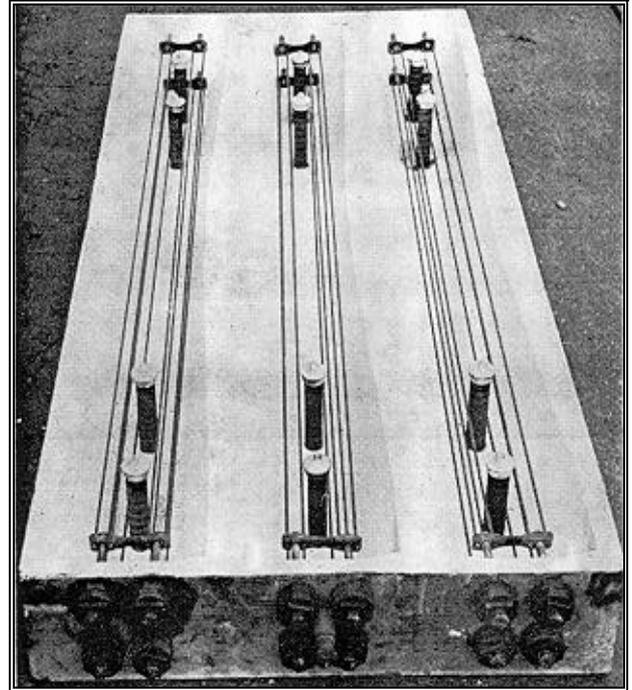


Fig. 2.21 - Molde triplo para a produção do dormente B 55.

(FONTE: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION - 1958).

Em muitos países, principalmente da Europa, o custo da via com dormentes de concreto é menor do que de uma via com dormentes de madeira.

As vantagens de vias com dormentes de concreto sobre vias com dormentes de madeira, conforme a FIP (1987) são de quatro categorias.

As vantagens da *via* são:

- a) a durabilidade dos dormentes de concreto é de 50 anos;
- b) uma superior rigidez lateral e vertical, devido à maior massa dos dormentes de concreto e à fixação elástica;
- c) há restrição longitudinal continuamente;
- d) não há pregos cravados para dificultar a substituição de trilhos;
- e) uma qualidade adequada é realizável;
- f) são requeridos 1640 dormentes de concreto por quilômetro, contra 1930 de madeira;
- g) há uma consistente manutenção da bitola, com redução na extensão dos problemas dinâmicos.

As vantagens para o *trilho* são:

- a) fácil e rápida substituição dos trilhos, que é importante em vias de grande movimento e curta durabilidade dos trilhos;
- b) aumento da vida do trilho;
- c) redução das tensões de flexão no trilho, devido ao aumento de estabilidade da via.

As vantagens na *manutenção* da via são:

- a) um recalque mais uniforme da via;
- b) reduzida frequência de descarrilamentos;
- c) melhora na qualidade da viagem devido à melhor geometria da via;

- d) há mais tempo para obter receitas com os veículos;
- e) uma significativa redução no custo de manutenção da via permanente.

Com o aumento do módulo da via e a menor ondulação dos trilhos, reduz-se o consumo de energia no mínimo de dois a três por cento.

QUEIROZ (1990) estudou o comportamento estrutural em escala natural de dormente monobloco de concreto, submetido a carregamento cíclico, de modo a simular a passagem das composições ferroviárias. Os resultados obtidos foram comparados com os de dormentes de aço e de madeira. O trabalho concluiu que: *“em condições semelhantes de solicitações, o dormente de concreto necessita de uma menor altura de lastro, resultando, portanto, numa substancial economia de material. Por outro lado deve ser requerida uma faixa de socaria mais ampla que a necessária para os dormentes de aço e de madeira.”*

Conforme VENUTI (1980) as desvantagens dos dormentes de concreto são:

- a) custo de transporte para a via maior que para o dormente de madeira, devido ao seu maior peso;
- b) a reutilização do dormente após um descarrilhamento é questionável;
- c) o tempo de vida do dormente é especulativo, pois em condições de serviço ainda não foi completamente avaliado;
- d) os sistemas de fixação não são ajustáveis ao desgaste do trilho e ao alargamento da via;
- e) há a necessidade de controle de qualidade na fabricação dos dormentes.

2.6 ALGUNS DOS ATUAIS MODELOS

Este item mostra as características principais de alguns modelos importantes de dormentes monoblocos fabricados atualmente na Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos.

2.6.1 Inglaterra

Em 1988, as fábricas Costain e Dow Mac foram unidas e posteriormente, em 1995, adquiridas pela empresa Tarmac Precast Concrete Limited (TAYLOR - 1996). Entre os vários modelos monoblocos diferentes produzidos pela Tarmac, podem-se destacar os modelos F40, EF28(O)S e NTF504. O modelo F40 é um dormente para uso em muitas categorias de via, utiliza fixação Pandrol JG8 ou Pandrol Fastclip, a massa é de 285 kg e o comprimento é de 2420 mm. Na fig. 2.22 estão mostrados os momentos de projeto do dormente, no centro: positivo de 16,70 kNm e negativo de 13,22 kNm; no trilho: positivo de 23,45 kNm e negativo de 5,44 kNm.

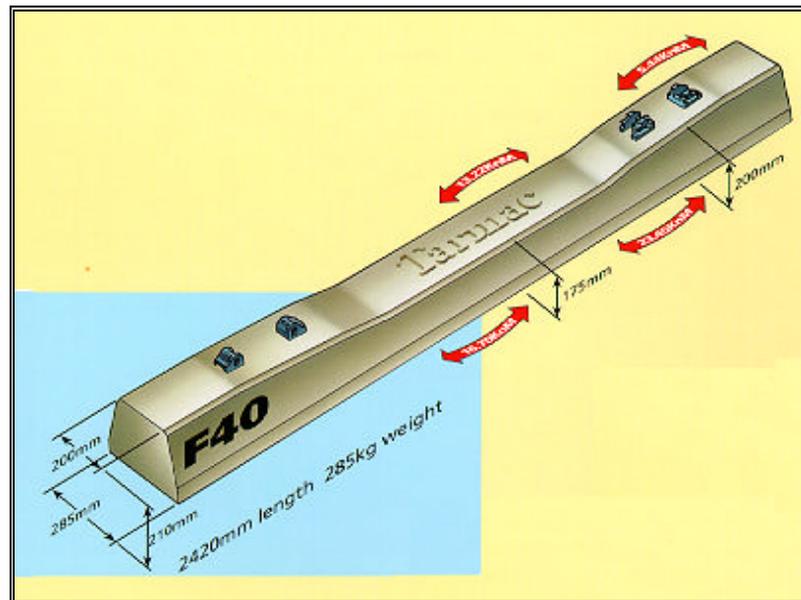


Fig. 2.22 - Dormente inglês modelo F40 (FONTE: TARMAC - 1996).

O modelo EF28(O)S é um dormente com menor altura, comprimento de 2580 mm e menor massa - 265 kg (fig. 2.23). É indicado para uso em vias onde a altura máxima ou as condições do terreno requeiram um dormente com menor altura. Utiliza fixação Pandrol JG5 ou Fastclip com ombreiras (chumbadores). Na fig. 2.23 estão mostrados os momentos de projeto do dormente, no centro: positivo de 15,85 kNm e negativo de 10,69 kNm; no trilho: positivo de 23,85 kNm e negativo de 3,60 kNm.

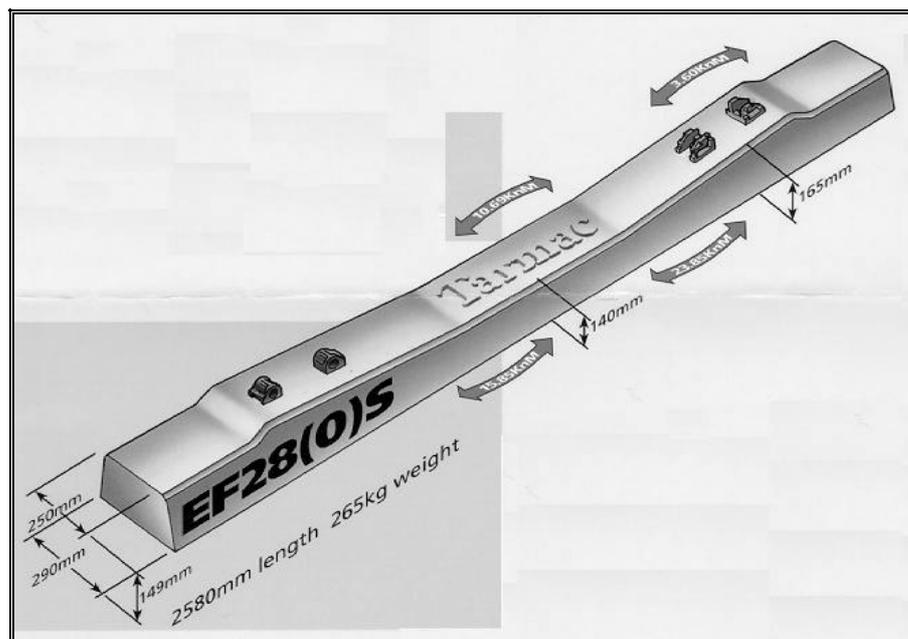


Fig. 2.23 - Dormente inglês modelo EF28(O)S (FONTE: TARMAC - 1996).

O modelo NTF504 é o dormente padrão utilizado no metrô de Londres, tanto na superfície quanto em túneis, com lastro de pedra (fig. 2.24). O sistema de fixação é o Pandrol 3906, a massa de 260 kg e o comprimento é de 2580 mm.

Segundo a FIP, em 1987 havia mais de 30 milhões de dormentes de concreto instalados em vias importantes na Inglaterra.



Fig. 2.24 - Dormente inglês modelo NTF504 (FONTE: TARMAC - 1996).

2.6.2 Alemanha

O modelo B 58 W - 54 apresenta uma geometria que o faz seguro para vias sujeitas a ações usuais. A massa de 235 kg e a grande superfície de apoio proporcionam vias com alta estabilidade (fig. 2.25). É indicado para trilhos S 54 e S 48 (largura de 125 mm da flange inferior de apoio e utiliza sistema de fixação W (Vossloh).

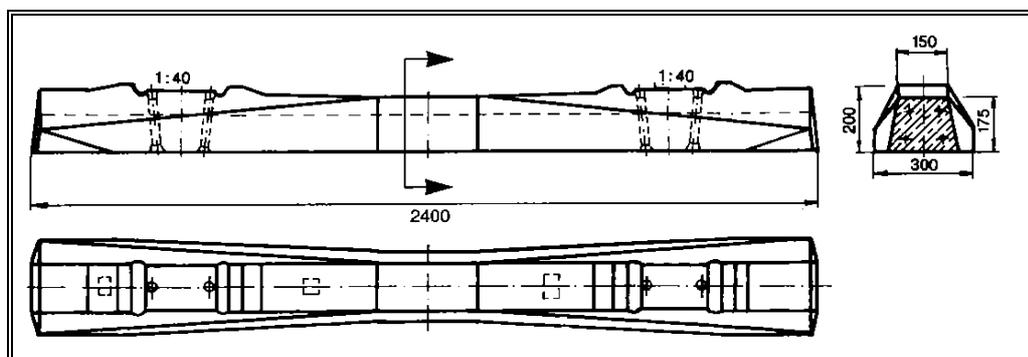


Fig. 2.25 - Dimensões e forma do dormente B 58 W - 54.
(FONTE: BETONWERK RETHVISCH - 1996).

O modelo B 70 W - 60/54 apresenta uma grande superfície de apoio que, aliada à massa de 303 kg, proporciona um alto nível de estabilidade aos trilhos, principalmente em vias de alta velocidade. As principais características do modelo fabricado para as ferrovias alemãs são: para trilhos UIC 60 (largura de 150 mm da flange inferior de apoio), S 54 e S 49 (largura de 125 mm da flange inferior de apoio), sistemas de fixação W (Vossloh) e Pandrol, carga máxima por eixo de 225 kN e velocidade máxima de 250 km/h (fig. 2.26).

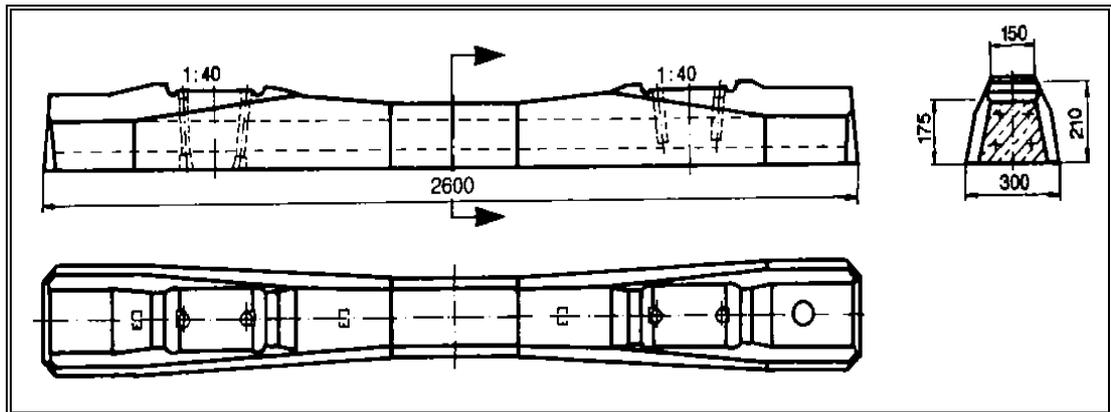


Fig. 2.26 - Dimensões e forma do dormente B 70 W - 60/54.

(FONTE: BETONWERK RETHVISCH - 1996).

A forma de fabricação, armadura de protensão e outros detalhes desses modelos variam conforme o fabricante. Como exemplo, os modelos podem ser pré-tensionados em pistas de protensão ou pós-tensionados em moldes individuais.

A armadura de protensão adotada pela empresa DYWIDAG (1996) para a fabricação do dormente por pós-tensionamento consiste em quatro barras de 9,7 mm de diâmetro, com tensão de escoamento de 1325 MPa e tensão de ruptura de 1470 MPa (fig. 2.27).

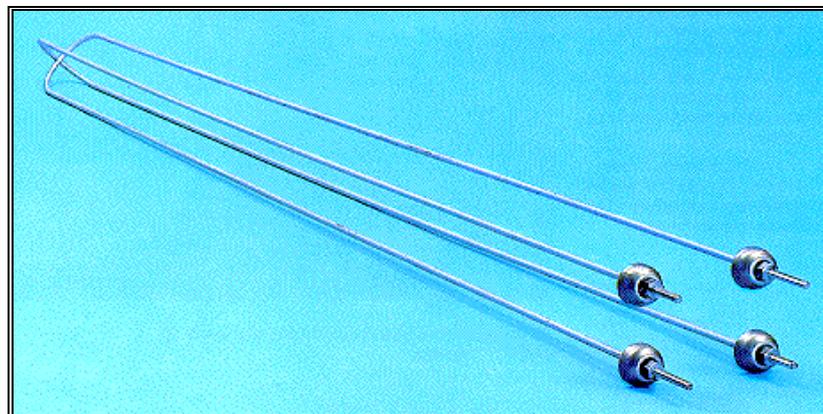


Fig. 2.27 - Armadura de protensão para os dormentes pós-tensionados B 58 e B 70.

(FONTE: DYWIDAG SYSTEMS INTERNATIONAL - 1996).

A resistência do concreto à compressão aos 28 dias é de 60 MPa, medida em cubos de 15 ou 20 cm de arestas. A armadura adotada pela empresa BETONWERK RETH-WISCH (1996) é composta de quatro barras de 10 mm de diâmetro, com tensão de escoamento de 1325 MPa e tensão de ruptura de 1470 MPa, com aderência entre as barras e o concreto.

Segundo a empresa DYWIDAG SYSTEMS INTERNATIONAL (1996), até o final de 1994, 49 milhões de unidades de dormentes de concreto protendido foram instaladas em vias na Alemanha e, desde 1970, um total de 22 milhões dos dormentes aplicados foram do tipo B 70 W.

2.6.3 Estados Unidos

Atualmente há vários fabricantes de dormentes de concreto nos Estados Unidos. Como exemplos, apenas alguns modelos de dois fabricantes serão mostrados. Os dormentes de concreto da empresa *Rocla Concrete Tie* são monoblocos pré-tensionados, fabricados em pistas de protensão. Os modelos apresentam comprimentos de 251 e 259 cm, com formas semelhantes. Outras características são: bitola de 1435 mm, seção trapezoidal, resistência do concreto à compressão aos 28 dias igual a 49,3 MPa, massa de 258 ou 280 kg para o comprimento de 251 cm (fig. 2.28 e 2.29) e 326 ou 347 kg para o comprimento de 259 cm.

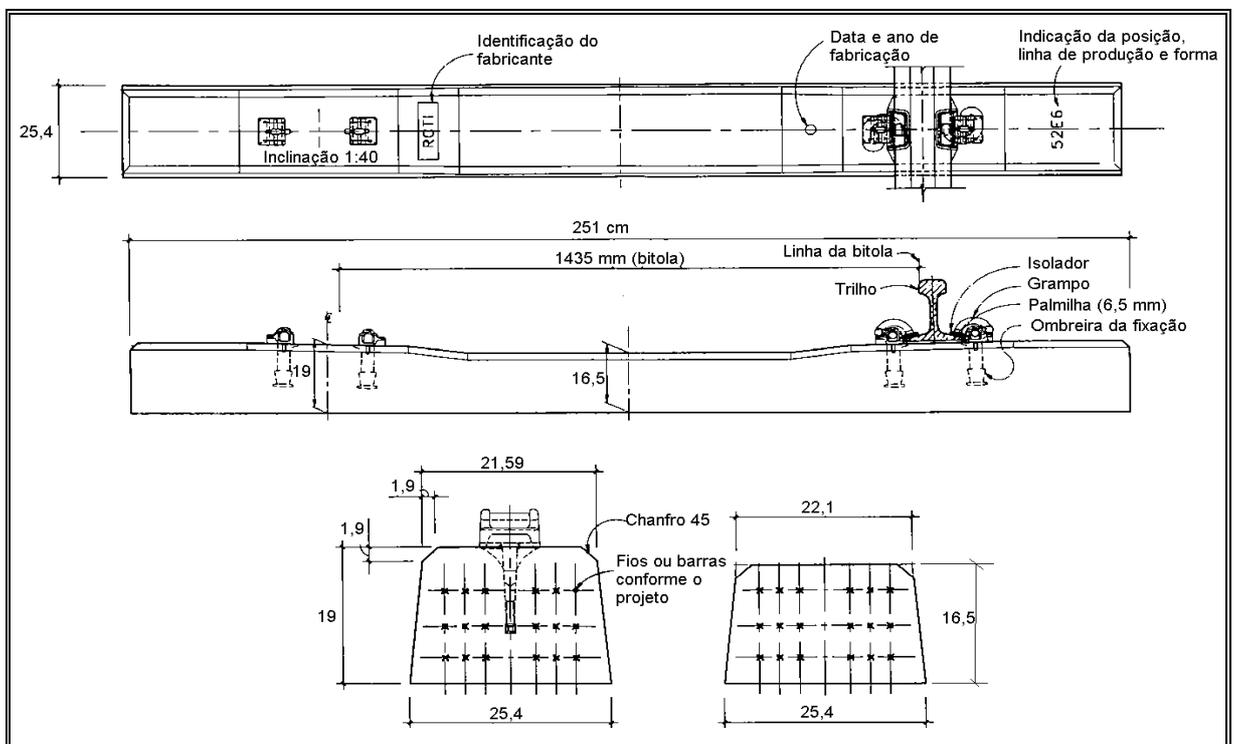


Fig. 2.28 - Dormente americano modelo padrão da empresa Rocla.
(FONTE: ROCLA CONCRETE TIE - 1995).

A armadura de protensão consiste em fios de 5 mm de diâmetro, com tensão de escoamento de 1620 MPa, ou barras de 9,5 mm de diâmetro com tensão de escoamento de 1861 MPa. O número de fios ou barras é especificado conforme o projeto.



Fig. 2.29 - Dormente Rocla na via (FONTE: ROCLA CONCRETE TIE - 1995).

Os dormentes produzidos pela empresa *CXT Concrete Railroad Ties* incluem uma grande variedade de modelos, para diferentes tipos de vias. O modelo CT3 é o dormente padrão da *Canadian Pacific Rail* (fig. 2.30). Ele apresenta as seguintes características: resistência mínima do concreto aos 28 dias igual a 41,4 MPa, 4,5 % de ar incorporado, massa de 340 kg, especificação segundo a *Canadian Pacific*, fixação Pandrol série “e”, almofada de apoio com 5 mm de espessura de vários materiais. Foi testado e aprovado em curvas de deflexão total igual a 11 graus e gradientes longitudinais de até 2,2 % de inclinação.

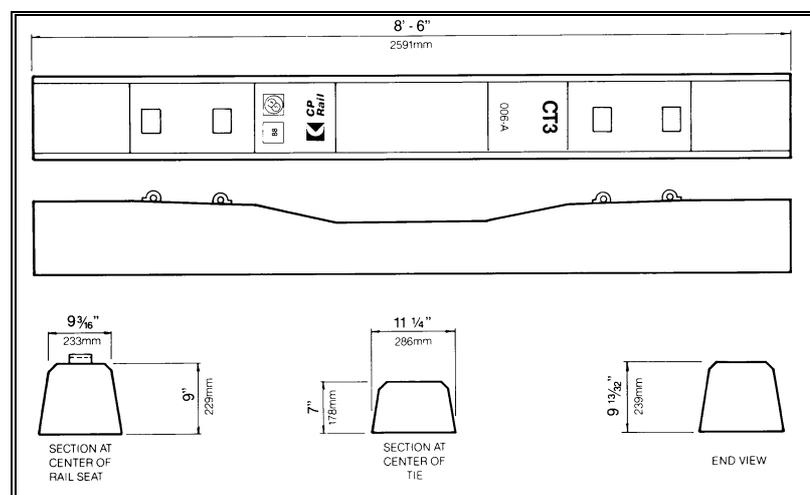


Fig. 2.30 - Dormente modelo CT3 para via de transporte pesado (FONTE: CXT CONCRETE RAILROAD TIES - 1996).

O modelo CC365 foi projetado para atender às Especificações AREMA e vem sendo aplicado em vias para transporte de cargas e passageiros (fig. 2.31). As suas características são: resistência mínima do concreto aos 28 dias igual a 48,3 MPa, 4,5 % de ar incorporado, massa de 340 kg, vários tipos de fixação e almofadas de apoio de 4 e 5 mm de espessura.

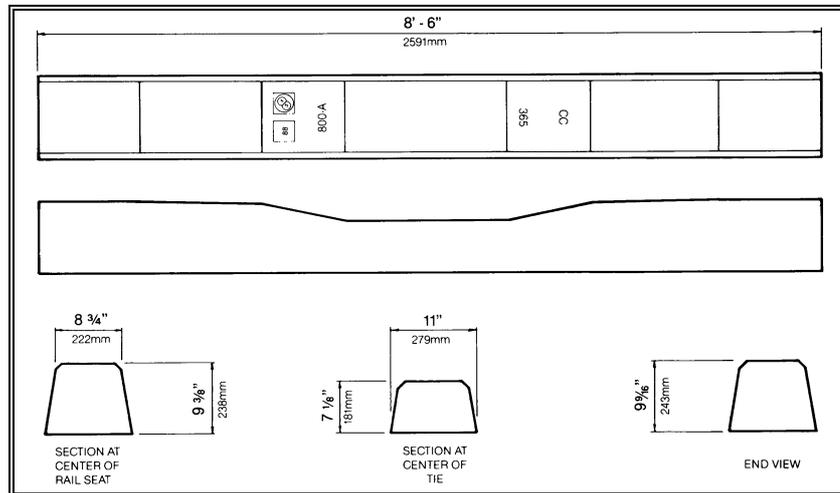


Fig. 2.31 - Dormente modelo CC365 para via de transporte pesado. (FONTE: CXT CONCRETE RAILROAD TIES - 1996).

O modelo CC329-F2 foi projetado para uma via de transporte leve da cidade de Calgary (fig. 2.32). Apresenta as seguintes características: resistência mínima do concreto aos 28 dias igual a 41,4 MPa, 4,5 % de ar incorporado, massa de 272 kg, especificação conforme exigências da cidade, fixação Pandrol série 600, almofada EVA (etil-vinil-acetato) com espessura de 9,5 mm, bitola de 1435 mm, 60 km/h de velocidade, carga máxima do eixo de 110 kN e espaçamento dos dormentes igual a 686 mm.

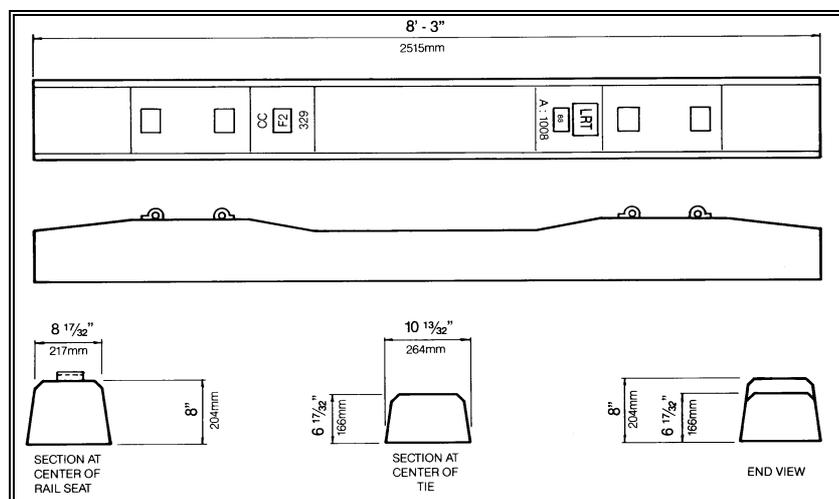


Fig. 2.32 - Dormente modelo CC329-F2 para via leve (FONTE: CXT CONCRETE RAILROAD TIES).

2.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

O desenvolvimento dos dormentes de concreto na Europa realizou-se com a experiência ao longo de décadas, sobre vias de tráfego misto entre veículos de carga e de passageiros. Os projetos da AREMA, por outro lado, são mais relacionados às vias para transporte de cargas pesadas, com as ações verticais das rodas dos vagões agora excedendo às das locomotivas. Como as vias para transporte de cargas apresentam um menor padrão do que aquelas para transporte de passageiros em alta velocidade, os ciclos de manutenção podem ser mais prolongados. Isso conduz a um aumento no risco do dormente apoiar-se no centro e, desse modo, o projeto de um dormente para tais vias requer altos momentos resistentes positivos na posição do trilho e negativos no centro do dormente.

O desenvolvimento de um dormente de concreto não é tão simples quanto se poderia imaginar. Como se pôde observar, os Estados Unidos iniciaram testes com os seus primeiros dormentes protendidos nos anos 60 e, até 1974, as empresas ferroviárias americanas ainda enfrentavam sérios problemas com os dormentes, como fissuras e rupturas (algumas vezes desastrosas), além de inúmeras deficiências nos sistemas de fixação, almofadas, isoladores e lastro. Para alcançar o projeto de um dormente confiável, as ferrovias americanas, em conjunto com os fabricantes, realizaram dezenas de testes em diferentes locações das vias principais espalhadas por todo o país, além dos testes normais de laboratório.

O texto mostra que a Alemanha, a Inglaterra e a França, ao longo da evolução de seus dormentes, sempre realizaram testes em trechos de vias para estudar e investigar o comportamento dos dormentes, fixações, isoladores, almofadas, lastro, etc. E para evitar grandes prejuízos, esse modelo de desenvolvimento deve ser seguido pelo Brasil. Antes de se dar início à aplicação de milhares de dormentes em uma via já existente, é imprescindível, quando possível, testar o sistema dormente/fixação/lastro na mesma via, pois assim, qualquer problema que venha a ocorrer poderá ser corrigido em tempo útil. Os testes podem ser realizados pelas empresas ferroviárias em conjunto com os fabricantes, instituições de pesquisa e universidades.

Uma comparação entre os dormentes ingleses, alemães e americanos para vias principais permite observar que os dormentes americanos apresentam uma maior altura na posição do trilho e no centro do dormente, pois o projeto reflete a necessidade de um dormente mais robusto para suportar a maior carga do eixo - 330 kN, contra 245 kN na Inglaterra e 221 kN na Alemanha. Mas considerando esses fatores, os dormentes americanos e ingleses apresentam um alto grau de convergência, são ambos pré-tensionados em pistas de protensão e utilizam fixação Pandrol. O dormente alemão

apresenta um maior comprimento e maior largura da base na posição do trilho, com o objetivo de proporcionar grande estabilidade à via para as altas velocidades (250 km/h). O centro do dormente é suficientemente forte para poder suportar impactos no caso de descarrilhamentos.

Na Inglaterra, os dormentes mais recentes possuem uma resistência à flexão reversa (em função da atuação de forças de impacto, uma mesma seção do dormente ora fica submetida a momento positivo, ora a momento negativo) muito maior do que os modelos anteriores, embora isso resulte em uma redução da resistência ao momento positivo na posição do trilho. Esses dormentes refletem a tendência de vias para trens mais rápidos, com melhor controle de cargas e melhor manutenção, características essas que reduzem os momentos positivos atuantes no dormente, pois os veículos leves e rápidos dão mais ricochete, exigindo maiores capacidades de resistir ao momento negativo (TAYLOR - 1996).

Uma recente recomendação para as vias de transporte de cargas é utilizar, nas vias retas, um dormente com menor resistência (com menor protensão, por exemplo) ou um maior espaçamento, em relação aos dormentes aplicados nos trechos curvos. A justificativa para tal procedimento é que as ações laterais aos trilhos nos trechos retos são bem menores do que nas curvas. Mas nas retas, as almofadas devem ter maior poder de atenuação dos impactos, que são maiores em altas velocidades (TAYLOR - 1996).

Atualmente, para estender a vida útil dos componentes da via, aumentar os ciclos de manutenção, aumentar as cargas dos eixos e principalmente para baixar os custos com a manutenção, as ferrovias americanas e canadenses vêm aplicando os dormentes de concreto de forma mais intensiva em vias novas, e principalmente nas áreas de alta tonelagem, alta densidade de tráfego e alto grau de curvatura.