

3

Programa experimental

3.1

Introdução

Neste capítulo são descritos os ensaios de laboratório realizados no presente trabalho, assim como os aparelhos e materiais utilizados no processo experimental. Este ensaio experimental tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico dos dormentes plásticos submetidos a ações de carregamento transversal e sua fluência no tempo, por meio de ensaios de fluência, flexão, carga estática e ensaios de impacto. Nos ensaios medimos deslocamentos, deformações observando-se também o desempenho dos dormentes para cargas de impacto e cargas estáticas. Foram ensaiados três dormentes fornecidos em 2006 pela empresa Wisewood Soluções Ecológicas. Para facilitar os ensaios, os corpos de prova foram identificados conforme a Tabela 3-1, onde as letras D.P. significam dormente de plástico, seguido do número do dormente, E.F. ou E.C., e significam ensaio de fluência ou ensaio de carga estática, e os números finais correspondem ao número de ciclo do ensaio de fluência e número de ensaio para carga estática. Neste capítulo também são apresentados os materiais utilizados nos ensaios, suas características, os dispositivos de ensaio, os esquemas dos sistemas de aplicação de carga e os aparelhos de leitura de força, deformações e de deslocamentos, além das descrições de cada um dos ensaios. Para os ensaios de carga estática e de impacto foram utilizados os mesmos dormentes dos ensaios de fluência e flexão, como foi realizado por Gupta (2003). O uso de dormentes que já foram ensaiados anteriormente não influencia nos resultados. Na terceira coluna da Tabela 3-1 apresentamos os ensaios que foram feitos em cada um dos dormentes, sendo ensaiados quatro vezes o corpo de prova número 1, o dormente dois foi ensaiado três vezes e o dormente três teve somente um ensaio.

Tabela 3-1 Características geométricas e ensaios realizados nos dormentes da Wisewood.

Dormente	Corpo de Prova	Dimensões	Ensaio
1	D.P.1.0.E.F.1.C.6	L= 281,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Fluência Flexão
1	D.P.1.1.E.F.1.C.6	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Fluência
1	D.P.1.2.E.F.1.C.5	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
2	D.P.2.0.E.F.1.C.5	L= 281,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
2	D.P.2.1.E.F.1.C.5-1	L= 160 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Flexão
1	D.P.1.1.E.F.1.C.6.C.E.1	L= 140,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática
2	D.P.2.1.E.F.1.C.5-2.C.E.2	L= 121,2 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática
3	D.P.3.0.E.C.E.3	L= 60,6 cm b= 23,3 cm h= 16,1 cm	Carga Estática

3.2

Materiais Utilizados.

Em novembro de 2006 o Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro recebeu seis dormentes de plástico reciclado (RPL) da empresa Wisewood para realizar ensaios de arrancamento, torque e de flexão (momento positivo e negativo). Nestes ensaios, foram utilizados quatro dormentes, ficando armazenados desde então os dois dormentes restantes e um dos dormentes ensaiados em 2006 (Dumont e Campos, 2006). Os dormentes foram armazenados durante cinco anos sem exposição à luz ou a intempérie.

3.2.1

Dormentes

A empresa Wisewood desenvolveu um processo para a produção de dormentes de plástico reciclado (RPL), como consta na página eletrônica da empresa (<http://www.wisewood.com.br>). O processo de extrusão contínua faz com que os dormentes tenham formas imperfeitas, como pequenas flechas no centro do vão medidas antes dos ensaios de 1,2mm devido à mudança de calor (Oliveira, 2007). Na Figura 3-1 são apresentados os dormentes que foram ensaiados, seus comprimentos e a sua seção transversal de densidade variável, sendo mais densos na sua parte externa que no centro da seção. A composição dos dormentes de plástico tem uma vantagem sobre os dormentes de madeira. Segundo a própria empresa Wisewood, as vantagens mais importantes são: vida útil de 50 anos comparada aos 25 anos no caso da madeira (Oliveira-2007), são impermeáveis e totalmente recicláveis, além de reduzirem o custo de manutenção da via férrea.

Os dormentes fabricados pela empresa Wisewood foram projetados para suprir qualquer dimensão de emprego ferroviário, metroviário ou LVT (Veículo Leve sobre Trilhos) e a produção é de até 60.000 dormentes por ano (<http://www.wisewood.com.br>). Pires et al (2007) informam que a madeira plástica deve substituir em quase a sua totalidade a madeira de origem arborea, para haver uma sustentabilidade real no futuro.



Figura 3-1 Dormente de madeira plástica da empresa Wisewood.



Figura 3-2 Seção transversal de um dormente de madeira plástica fabricado pela Wisewood.

Cada dormente de plástico reciclado tem uma composição de polímeros tais como PEBD, PEAD PVC e PET, (Oliveira, 2005), podendo ser agregadas misturas de fibras de vidro, algodão papel e pneus (Teixeira, 2000), dando-lhes uma textura muito similar à da madeira usada na via férrea. A empresa Wisewood fornece diferentes tipos de dormentes (Tabela3-2) e descreve as características geométricas, cor e peso de cada dormente disponível no mercado. Ainda segundo a empresa, esses dormentes fabricados podem ser reaproveitados, servindo de matéria-prima novamente, formando um ciclo virtuoso que contribui ostensivamente para a preservação do meio ambiente.

Tabela 3-2 Especificações técnicas da empresa Wisewood.

COR	DIMENSÕES (mm)	PESO(kg)
Cinza	2000 X 240 X 170	70
	2300 X 240 X 170	85
	2800 X 240 X 170	100

3.3

Instrumentação e equipamento

Para a realização dos ensaios foram usados equipamentos para medidas de deslocamentos, deformações e controle de carregamento. Também foi usado um eletroímã fabricado no laboratório para sustentar o peso nos ensaios de impacto.

3.3.1

Sistema para a medição dos deslocamentos

A obtenção das medidas de deslocamentos se deu através de transdutores de deslocamento reativo (LVDT). Os LVDTs usados foram de 5cm, 10cm e de 30cm de alargamento, para medições em seis pontos da face superior do dormente, para os ensaios iniciais de fluência, flexão e carga estática. Para os últimos ensaios de fluência foram obtidos leituras em doze pontos das faces superior e inferior do dormente junto a três medições de deformação. Para os primeiros ensaios de fluência, flexão e carga estática, os LVDT foram despostos da seguinte maneira: dois LVDT foram posicionados nas arestas do centro do vão do dormente, dois

LVDT posicionados sobre os pontos de apoio, e dois LVDTs colocados nas extremidades do dormente que mediram deslocamentos de corpo rígido por movimento dos apoios. A aquisição simultânea de dados foi feita com um sistema NI-PXI 1052 dual do fabricante NATIONAL INSTRUMENTS S/A integrado com um computador. A interface com o usuário foi feita com o software LABVIEW 6.0 do mesmo fabricante. Na Seção 3.5 descrevemos como foram instalados e posicionados os LVDTs de acordo com cada ensaio.

3.4

Sistema de aplicação de carga

Para a aplicação de forças nos dormentes foi utilizado um pórtico metálico (1) montado no laboratório, usando-se dois tipos de atuadores hidráulicos que pressionavam o dormente (6) contra seus apoios. Conforme descrevemos na Figura 3-3, um atuador hidráulico (2) foi colocado sobre a parte superior do dormente entre uma placa de neoprene (8), uma placa de aço (4) e uma célula de carga (3) de 200 kN para o ensaio de fluência no dormente D.P.1.E.F.1.C.6 e para os ensaios de flexão nos dormentes D.P.1.2.E.F.1.C.5, D.P.2.0.E.F.1.C.5, e D.P.2.0.E.F.1.C.5-1, e uma célula de carga 1000 kN para os ensaios nos dormentes D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1, D.P.2.0.E.F.1.C.6.E.2 e D.P.3.0.E.C.E.3. O dormente teve uma montagem isostática. Em cada um dos seus apoios foi colocada uma placa de neoprene entre o dormente e uma placa de aço que está sobre um rolete para o apoio de um grau de liberdade (4) e sobre três placas de apoio separadas entre roletes para simular um apoio de dois graus de liberdade (8), sendo toda esta montagem apoiada sobre dois blocos de concreto (7).

Para o ensaio de carga estática (Figura 3-4) o dormente foi apoiado sobre uma placa de aço (5) em um bloco de concreto (7), a mesma montagem para o atuador hidráulico. Para o funcionamento dos atuadores hidráulicos foi preciso o uso de duas bombas com capacidade de 1100 kN e de 6000 kg/cm² respectivamente, controladas manualmente. Para o ensaio de fluência o controle de carga teve que ser mantido com uma válvula de controle de pressão, com ajuste manual ao longo do ensaio.

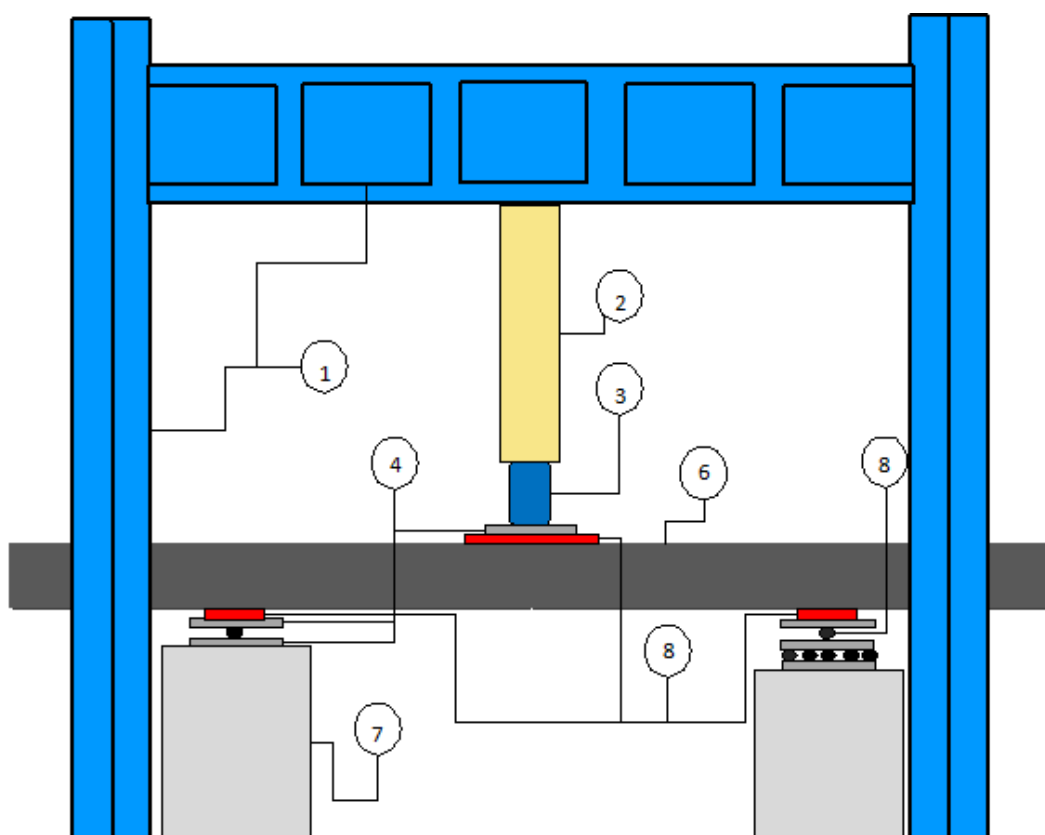


Figura 3-3 Sistema de aplicação de carga do laboratório LEM/DEC.

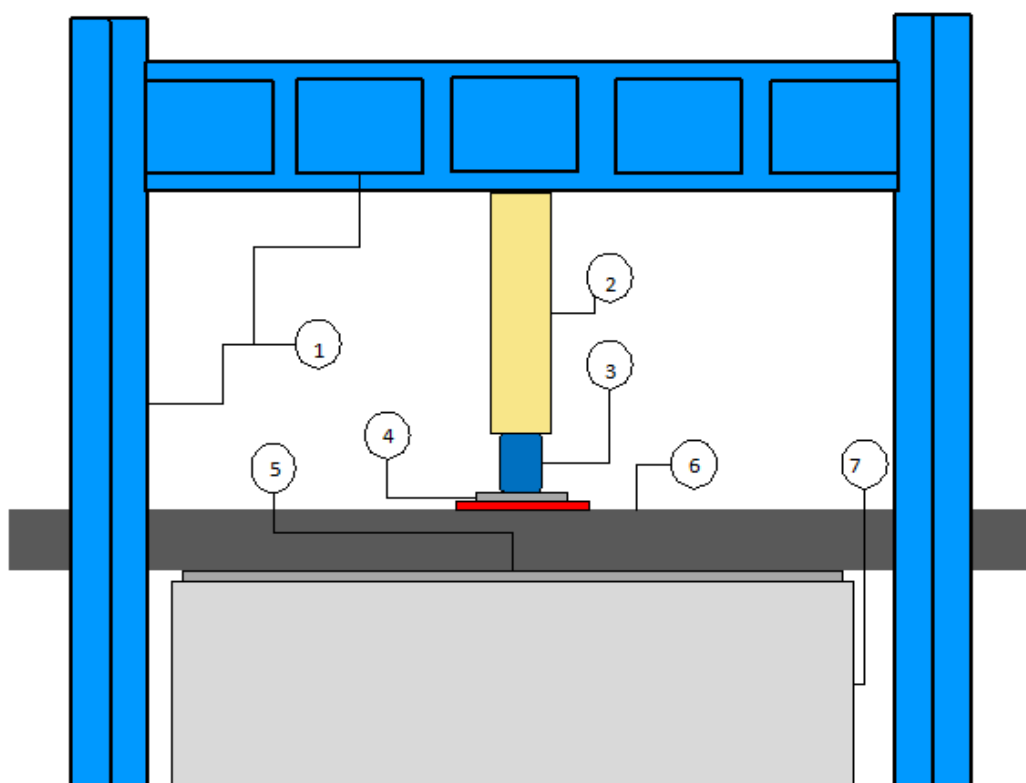


Figura 3-4 Sistema de aplicação de carga do laboratório LEM/DEC.

3.5

Ensaaios

Foram realizadas quatro montagens diferentes para a realização dos ensaios, seguindo o procedimento adotado por Jordan e Morris (2006), Gupta (2003) e Dumont e Campos (2006)

3.5.1

Ensaio de fluência sem placa base no dormente D.P.1.E.F.1.C.6 em Viga Curta , com Prevalhecimento do Cisalhamento

Um dormente de comprimento 281,2 cm foi cortado em duas metades, denominadas D.P.1.E.F.1.C.6 e D.P.1.E.F.1.C.5. O dormente D.P.1.E.F.1.C.6 foi ensaiado seguindo o programa experimental de Jordan e Morris (2006). Este corpo de prova foi submetido a seis ciclos de carregamento, iniciando os três primeiros ciclos com uma carga de 50kN. Nos dois primeiros ciclos, o carregamento foi mantido durante dez minutos, com um descarregamento de tempo igual. Para o ciclo três, a carga teve uma duração de dezoito horas e logo depois a carga foi retirada durante 21 horas. Para o quarto e quinto ciclos de carga, aumentamos o carregamento para 100kN com uma duração de aplicação contínua sobre o dormente de seis horas, tendo uma descarga entre ciclos de dezoito horas. Finalmente, o dormente foi carregado com 150kN durante 6 horas.

Na Figura 3-5 ilustramos esquematicamente a montagem do ensaio de fluência. Na Figura 3-6 o dormente foi apoiado sobre uma base de borracha entre ele e os apoios. Colocamos, também, uma borracha entre a placa de aplicação de carga e o dormente. A Figura 3-6 mostra com detalhe a montagem do ensaio e a localização dos LVDTs assim como o ponto da aplicação da carga. O ensaio teve duração de uma semana, para a aplicação dos seis ciclos de carregamento.

As figuras 3-5 e 3-6 mostram os detalhes da montagem do ensaio segundo Jordan e Morris, (2006) para uma viga curta.

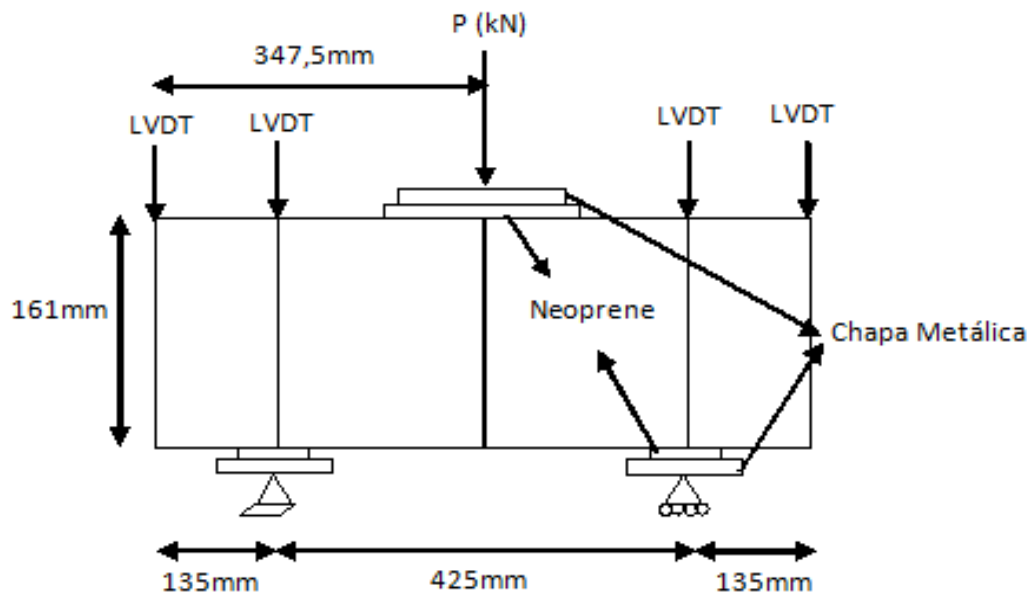


Figura 3-5 Detalhes do esquema do ensaio de fluência.

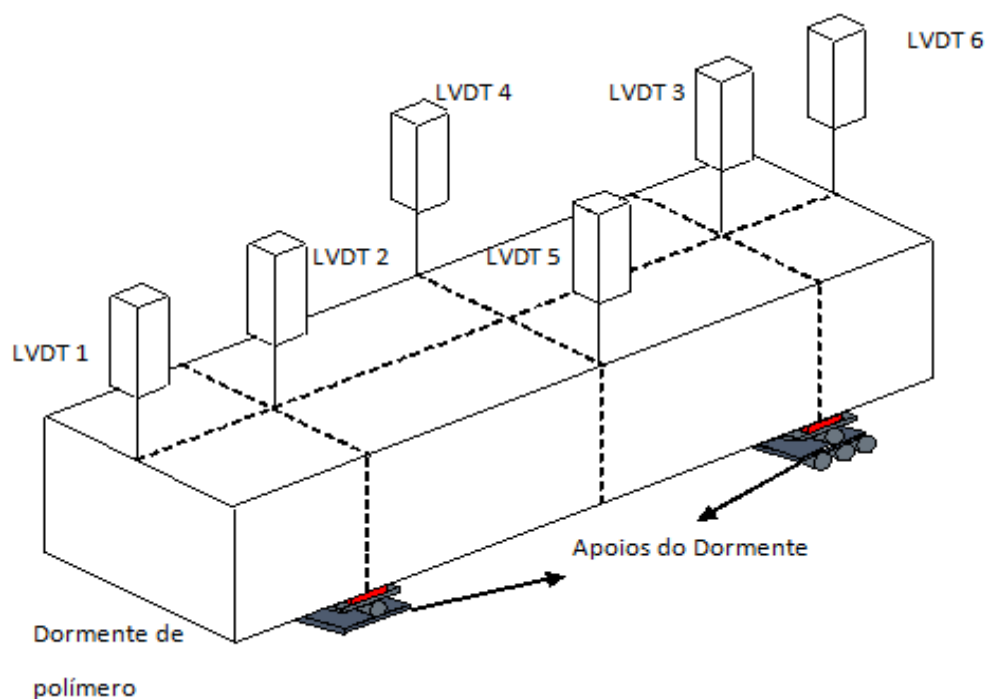


Figura 3-6 Montagem do ensaio de fluência (Jordan e Morris, 2006).

Nas figuras 3-7 e 3-8 apresentamos um registro fotográfico, que mostra como foi montado o ensaio em laboratório e como foi feita a obtenção dos dados de deslocamento no dormente. Este ensaio tem como objetivo determinar a deformação lenta do material em um tempo longo de aplicação de carga, que eventualmente poderia causar uma falha gradual, (Lampo et al, 2001).



Figura 3-7 Montagem do ensaio de fluência.

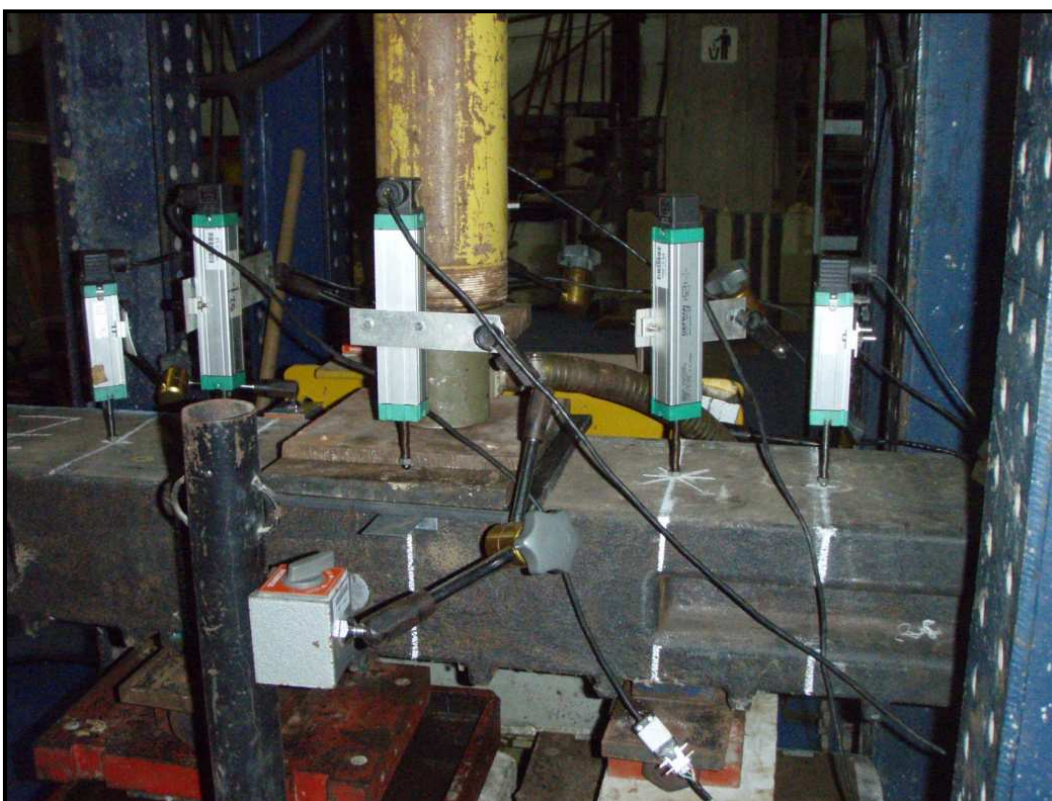


Figura 3-8 Montagem do ensaio de fluência no laboratório.

3.5.2

Ensaio de flexão sem placa base no dormente D.P.1.2.E.F.1.C.5

Este ensaio foi realizado num dormente de 281,2 cm de comprimento, que foi montado sobre dois apoios com uma distância de 167 mm entre eles. Inicialmente tinha-se planeado fazer um carregamento de 6 ciclos com um limite de carga de 50 kN já que este tipo de dormente teve uma ruptura de 58,7 kN (Dumont e Campos, 2006). No início do primeiro ciclo de carga e com um carregamento de 7kN o dormente fraturou. Uma foto do ensaio se apresenta na Figura 3-7, mostrando os detalhes das medidas entre os apoios e a posição dos LVDTs. Como é descrito no ensaio anterior, aplicamos um carregamento no centro do vão do corpo de prova do dormente, conforme a Figura 3-9. Neste ensaio foram utilizados dois LVDT de 30 cm (Figura 3-10) de extensão no centro do dormente. Segundo Dumont e Campos (2006), nos ensaios realizados os valores de deslocamento teriam um deslocamento maior que de 1000 mm.

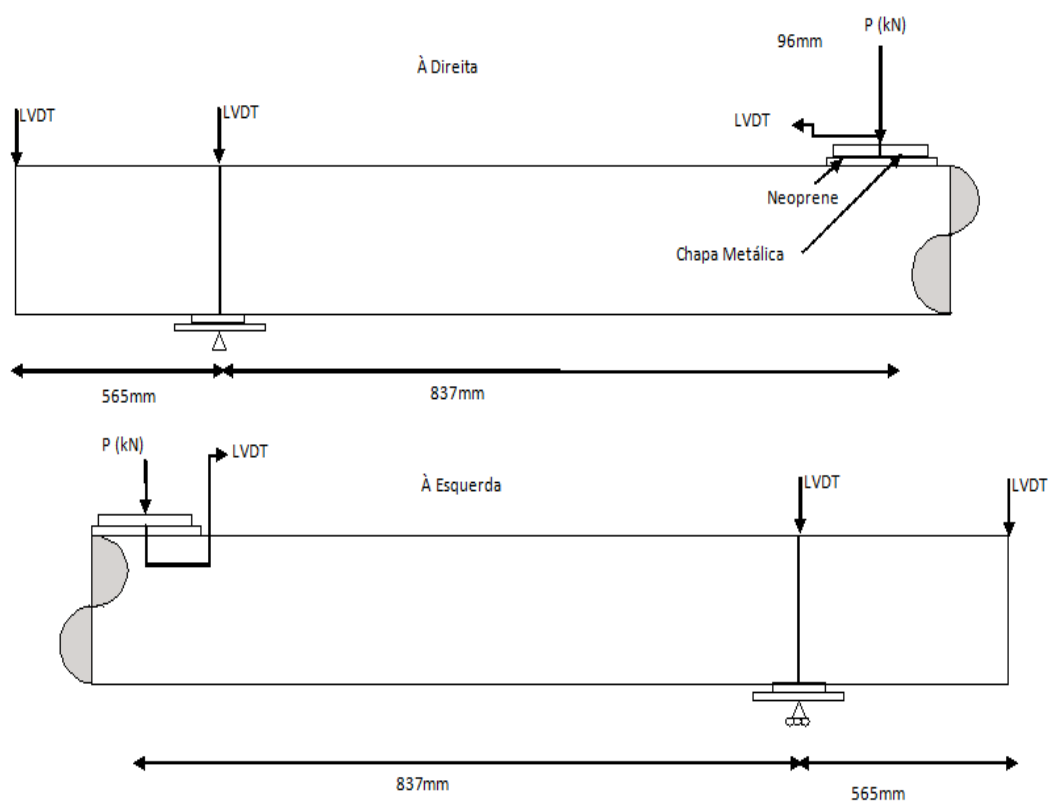


Figura 3-9 Descrição da montagem para o ensaio de flexão.

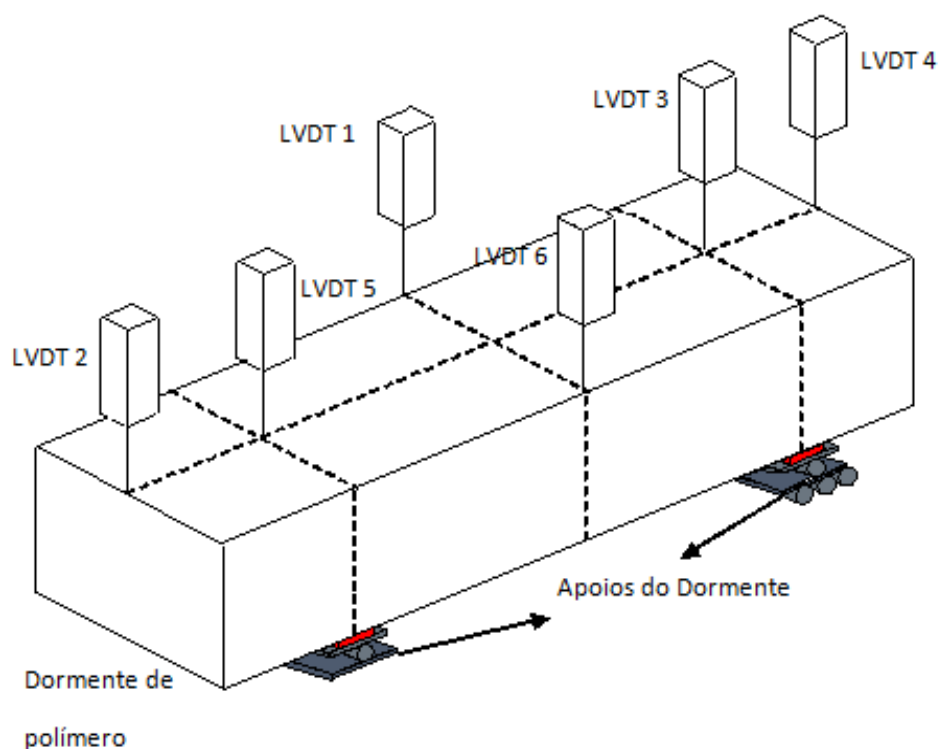


Figura 3-10 Localização dos LVDTs na face superior do dormente.

Nas Figuras 3-11 e 3-12 são mostrados alguns detalhes da montagem do ensaio no laboratório, observando claramente o incremento do vão entre os apoios do dormente.



Figura 3-11 Montagem do ensaio no dormente de comprimento de vão de 167 mm.



Figura 3-12 Montagem do ensaio no dormente de comprimento de vão de 167 mm.

3.5.3

Ensaio de flexão sem placa de base no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5

Este ensaio tem uma montagem similar ao ensaio anterior, mudando-se o comprimento do vão para 1113 mm. Nas Figuras, 3-13, 3-14 e 3-15 são apresentados os detalhes da montagem e a instrumentação feita no dormente. Em todos os ensaios de flexão e de fluência colocamos uma borracha entre o dormente e a placa onde o carregamento foi aplicado. A placa onde a célula de carga foi apoiada teve as mesmas dimensões da placa fornecida pela Wisewood em 2006. Além disso, houve também um isolamento de borracha entre o dormente e o ponto de apoio. Em todos os ensaios de fluência houve uma falha por flexão, apresentando-se uma cor branca na parte inferior onde foi liberada a energia de ruptura. A montagem foi realizada para uma aplicação de carga de 10kN/min sem placa de base no dormente, e as medidas foram seguidas de acordo com Jordan e Morris (2006).

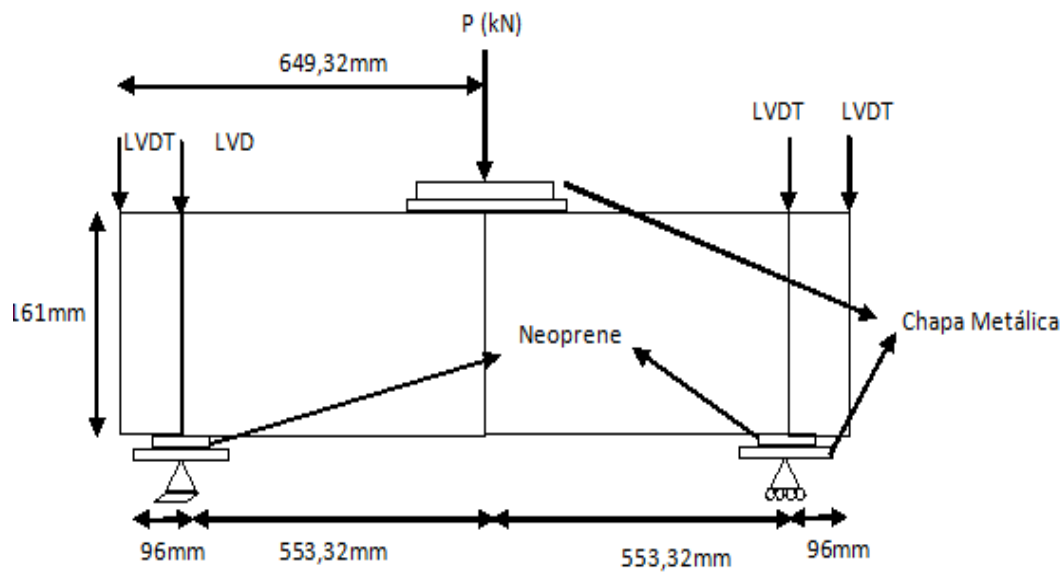


Figura 3-13 Dimensões da montagem do ensaio e ubiquação da instrumentação no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.

A montagem feita no ensaio está de acordo com o item 4.9.1.4 da Arema (2006) para carga vertical na parte onde serão colocados os trilhos com uma de carga de 22kN/min.



Figura 3-14 Montagem do ensaio de flexão no dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.



Figura 3-15 Montagem do ensaio de flexão e montagem da instrumentação da célula de carga e transdutores de deslocamento sobre o dormente D.P.2.0.E.F.1.C.5.

3.5.4

Ensaio de flexão sem placa base no dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1

Neste ensaio o dormente teve um comprimento do vão de 1198,32mm entre os apoios. A montagem segue o item 4.9.1.4 da norma da AREMA. Como descrito nos ensaios do item 3.6.3.e item 3.6.2 e sendo a instrumentação colocada da mesma forma. Nas figuras 3.16, 3.17 e 3.18, apresentamos os detalhes da montagem do ensaio, onde podemos observar, na Figura 3.17, um estágio avançado do ensaio.

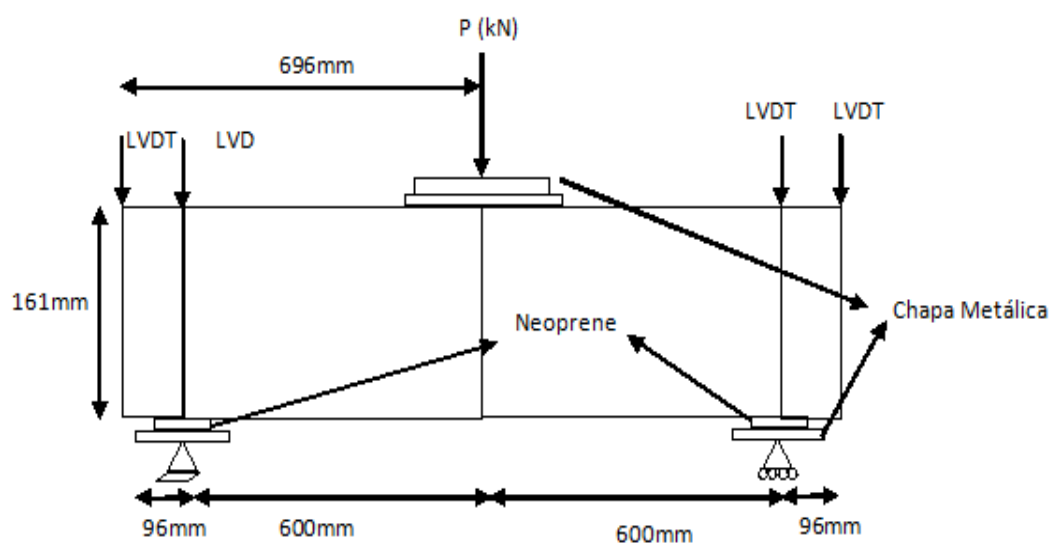


Figura 3-16 Detalhes da montagem e dimensões do dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1.



Figura 3-17 Aplicação da carga no dormente. Estágio avançado do ensaio de flexão no centro do vão do dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1e.



Figura 3-18 Detalhes da instrumentação do ensaio de flexão no dormente D.P.1.1.E.F.1.C.5-1.

3.6

Ensaio de carga estática

Os ensaios de carga estática foram feitos seguindo o processo experimental realizado por Gupta (2003). Três dormentes foram analisados. Este ensaio é importante para verificar o desempenho e qualidade dos dormentes.

3.6.1

Ensaio de carga estática nos dormentes D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1, D.P.1.1.E.F.1.C.6.E.1 e D.P.3.0.E.C.E.3

O objetivo deste estudo é determinar a capacidade de um dormente de tolerar cargas muito elevadas. Aplicamos uma carga com uma velocidade de 50 kN/minuto, até 500 kN em três dormentes, mantendo este valor de carregamento durante 5 minutos sobre o dormente. Para que um dormente seja aprovado, segundo Gupta (2003), o **Instituto Índio de Engenharia Civil em**

Ferrovias, estabeleceu que o dormente não deveria apresentar nenhum tipo de fissura na face onde é aplicada a carga. (Figura 3-19 e Figura 3-20).

Na Figura 3-19 apresentamos a montagem do ensaio como descreve Gupta (2003). O dormente foi colocado em um apoio contínuo de 425 mm, e sobre sua parte superior foi aplicado o carregamento. Este ensaio foi feito com os mesmos dormentes ensaiados nos ensaios de fluência e flexão, aplicado a carga com um atuador hidráulico de 1100 kN, controlada por uma célula de carga de 500kN. Na Figura 3-21 a indicação do número (1) corresponde ao atuador hidráulico, (2) à célula de carga, (3) à placa de transferência de carga no dormente e (4) aos apoios do dormente e da base.

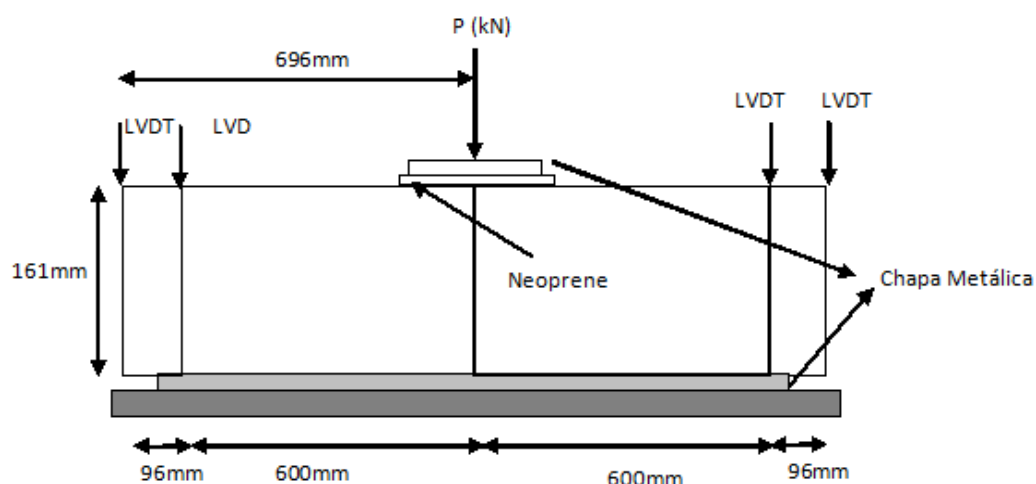


Figura 3-19 Detalhe da montagem do ensaio de carga estática no dormente (Gupta, 2003).

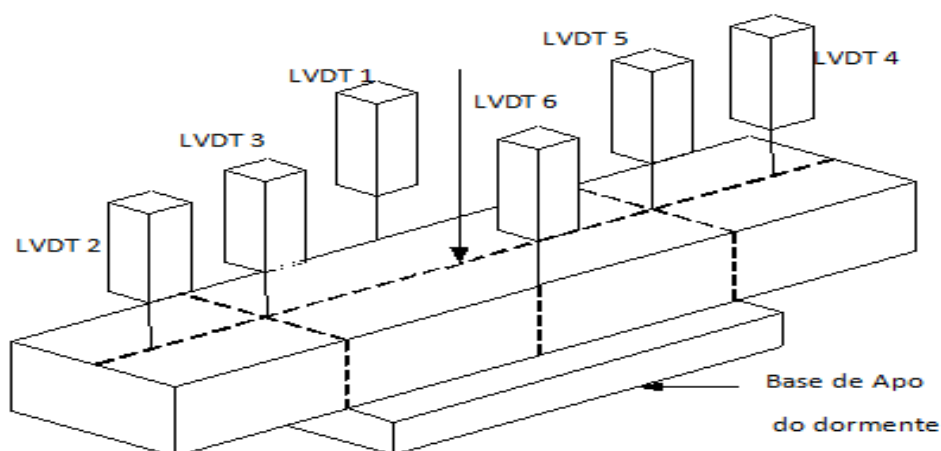


Figura 3-20 Detalhes da montagem e localização dos LVDTs no ensaio de carga estática.

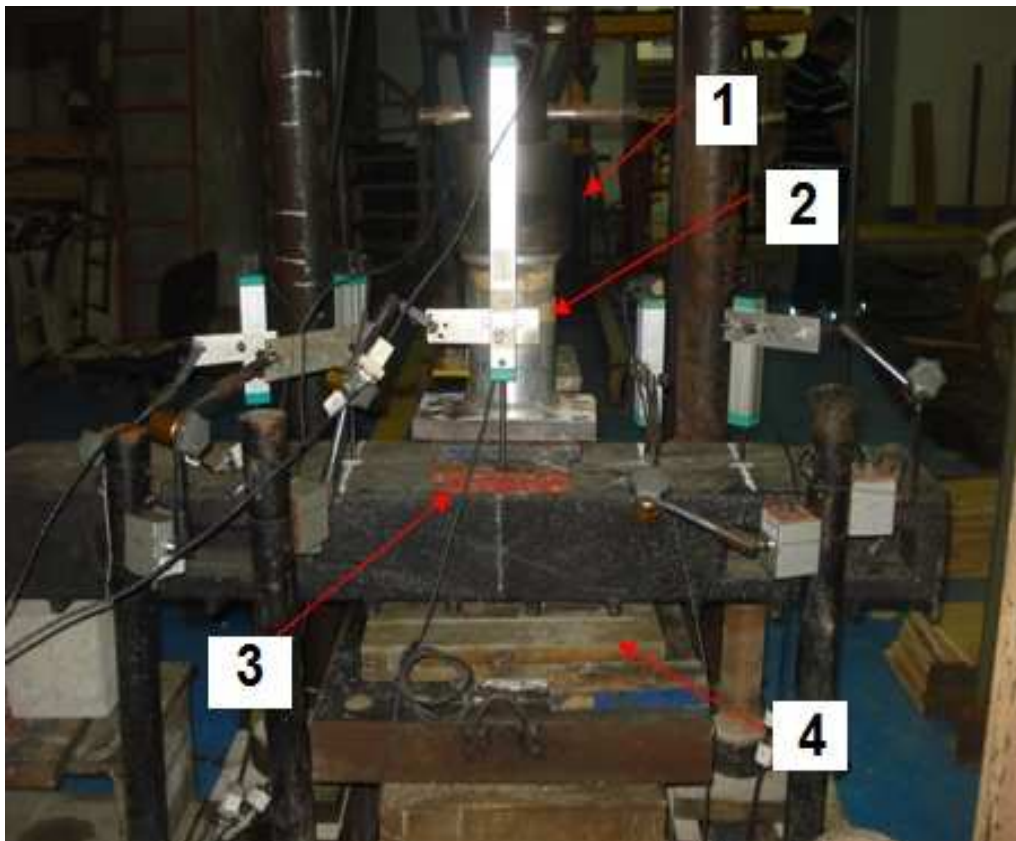


Figura 3-21 Detalhes da montagem e localização dos transdutores de deslocamento no ensaio de carga estática.

3.6.2

Ensaio de impacto.

Neste ensaio pretendeu-se observar a capacidade do dormente para absorver forças de descarrilhamento. A realização deste ensaio foi feita seguindo o processo experimental feito por Gupta (2003). O dormente foi colocado em um ângulo de 30° sobre uma base horizontal Figura 3-25. Gupta (2003) descreveu que o dormente deve receber os impactos sobre a aresta do dormente sempre impactando no mesmo lugar, para impactar o dormente a roda deve ser suspensa de uma altura de 17 cm. O peso foi de 5 kN. Gupta (2003) também descreveu que o peso deve ser transmitido por uma roda de dimensões iguais às do trem. Para simular esta roda no laboratório foi feito um aparelho com uma barra de um diâmetro de 2,54 cm para simular a parte externa da roda, Figura 3-24. Os três dormentes foram analisados com um único impacto, isto devido a problemas com o eletroímã que sustentava a carga utilizada para impactar o corpo de prova. A montagem é descrita na Figura 3-23 e os resultados obtidos foram todas as

medidas da trinca deixada pelo impacto do peso, (Figura 3-22), Sendo: (a) comprimento da ranhura na parte larga (b) o comprimento na profundidade da ranhura (c) largo da trinca (d) profundidade da ranhura.

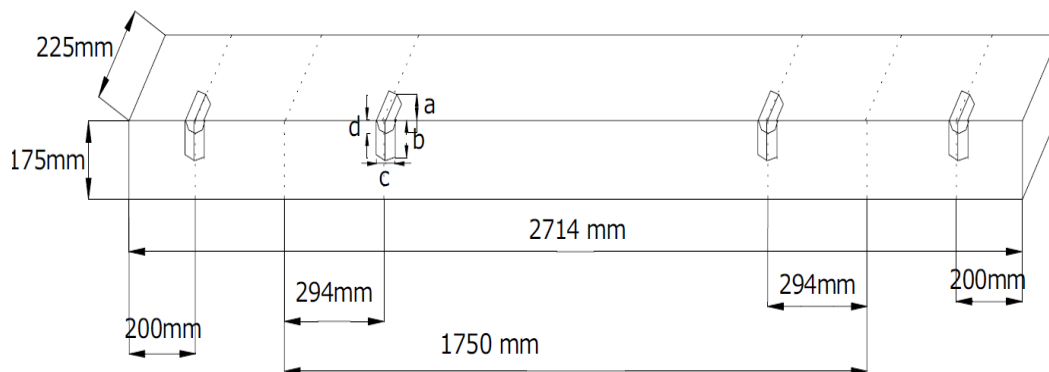


Figura 3-22 local de queda da roda para verificar o desempenho dos dormentes em descarrilamento (Gupta, 2003).

Na figura 3-23 apresentamos a montagem geral do ensaio de impacto sobre o dormente.



Figura 3-23 Montagem do ensaio de impacto.



Figura 3-24 Perfil do peso que impactou o dormente no ensaio de impacto.

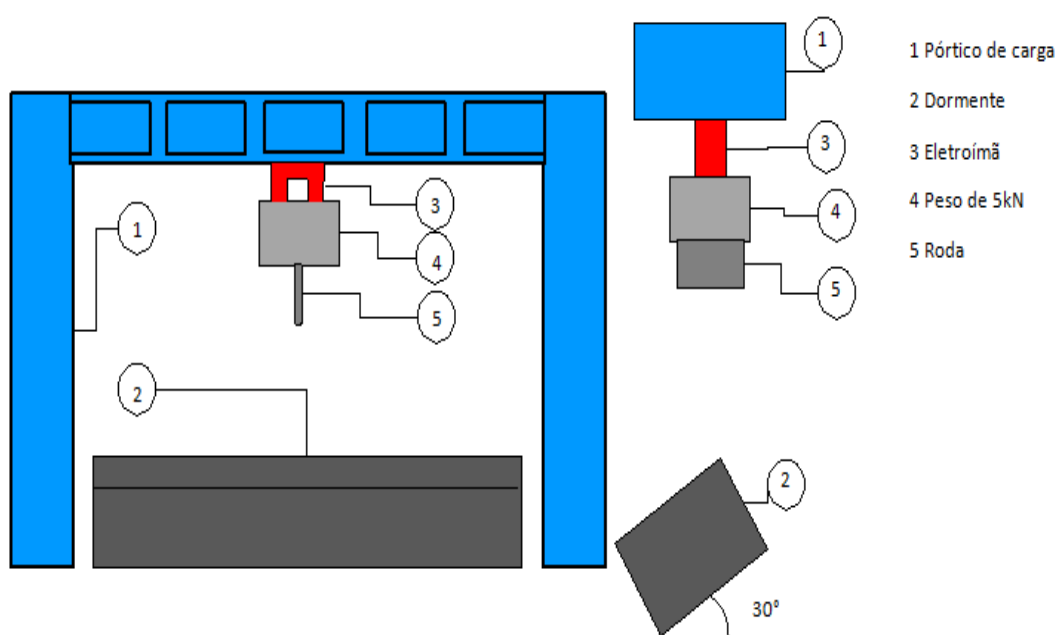


Figura 3-25 Sistema para a aplicação do impacto no dormente.