

UMA ABORDAGEM DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS PARA O REDIMENSIONAMENTO DA DORMENTAÇÃO DA MALHA FERROVIÁRIA DO SUDESTE BRASILEIRO

Luiz Francisco Muniz da Silva

Universidade Federal Fluminense

Jorge Luís Goudene Spada

Universidade Gama Filho

Laura Maria Goretti da Motta

COPPE / UFRJ

Candice Jorge Sousa

Universidade Federal Fluminense

RESUMO

Apresenta-se a primeira etapa de um estudo objetivando avaliar a viabilidade de serem processadas alterações dimensionais na grade ferroviária, referentes à seção transversal, comprimento e espaçamento de dormentes de madeira e aço de um trecho ferroviário da malha sudeste brasileira. Foram implantados trechos experimentais, tendo sido conduzidos ensaios de laboratório e campo, com especial destaque para os ensaios com a viga Benkelman, empregada de forma pioneira em ferrovias no Brasil. Os estudos incluíram análise numérica utilizando programa computacional específico para modelagem tensão-deformação do pavimento ferroviário.

ABSTRACT

A first stage of study on changing Brazilian traditional track dimensional patterns is presented. The track dimensional aspects included cross section, length and spacing of wooden and steel ties. Test sections were built in Brazilian southeast railway net branches and a number of field and laboratory tests were run for this work, some of them for the first time done in Brazil. A specific track stress-strain software was used for the goal of this work.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo apresenta os estudos e resultados de ensaios de campo e laboratório, referentes ao primeiro ciclo de atividades de observações, investigações e análises, previstas no escopo de trabalho proposto para estudos de reespaçamento e diminuição das dimensões de dormentes de madeira e adequação do espaçamento de dormentes de aço em linhas férreas da malha ferroviária sudeste brasileira. No caso dos dormentes de madeira, estuda-se a possibilidade de aumentar o espaçamento (diminuir a taxa de dormentação), combinada, se possível, com a diminuição da sua seção transversal e/ou de seu comprimento.

Foi proposta a implantação de trechos experimentais de campo, a serem convenientemente preparados para um segundo ciclo de observações e investigações, alterando-se a composição das grades para atender o objetivo dos estudos, ensejando uma avaliação da aderência entre as simulações teórico-computacionais que serão conduzidas e a resposta real da via permanente que será obtida através de registros, observações e ensaios de campo e laboratório, antes, ao longo e ao final dos testes de campo.

Com base em reuniões e visitas ao campo com a equipe técnica da operadora ferroviária, realizadas no final de 2003, foi estabelecida a localização de 6 (seis) segmentos experimentais, conforme desenho esquemático apresentado na Figura 1; cinco destes segmentos situam-se no trecho Saudade – Barra do Pirai, e um, na Ferrovia do Aço. Todos os segmentos possuem 25m de extensão, e são intercalados entre si por 50m de via cujas características não serão alteradas, com o objetivo de não haver interferências mútuas nas extremidades de cada segmento.

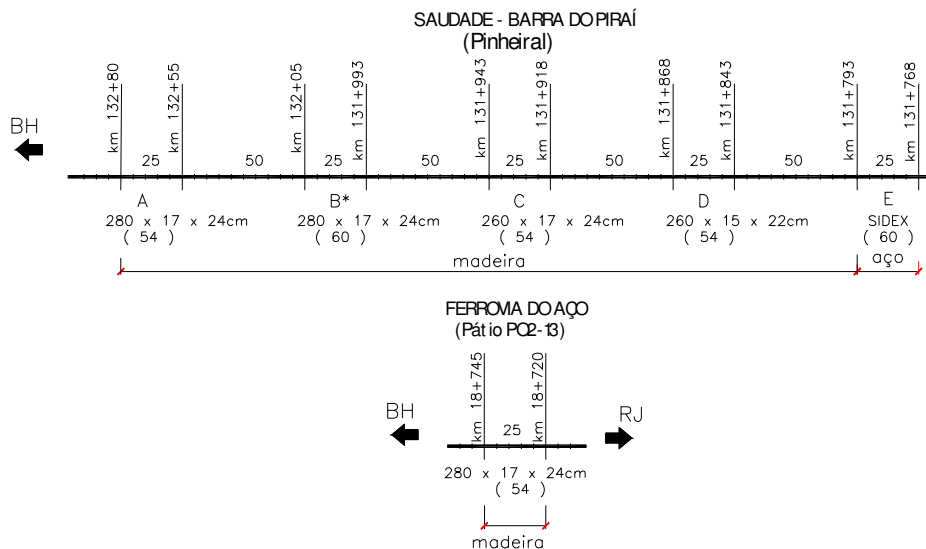


Figura 1: Trechos experimentais

Este primeiro ciclo de atividades envolveu trabalhos de campo, e visaram, fundamentalmente, se certificar, *'a priori'*, das condições de segurança, do ponto de vista da circulação dos trens, para mudar a configuração atual da grade para as características propostas para cada segmento dos trechos experimentais. Ao mesmo tempo, foram colhidos elementos que permitiram uma primeira análise teórica comparativa do comportamento da via nas diferentes configurações de grade propostas.

Os dados coletados nestas atividades iniciais permitiram levar a efeito um primeiro conjunto de simulações computacionais para confirmação das indicações sugeridas para os novos espaçamentos e dimensões dos dormentes. As avaliações desenvolvidas e os correspondentes diagnósticos estão apresentados adiante. As simulações computacionais foram conduzidas utilizando-se o programa FERROVIA 1.0 (RODRIGUES, 1994).

Para avaliar a resposta elástica da via férrea foram realizados ensaios com a viga Benkelman. Os perfis longitudinais da via foram obtidos da observação das trincheiras abertas em cada um dos subtrechos experimentais, incluindo a definição das espessuras e a natureza granulométrica das camadas constituintes do pavimento ferroviário, dos seus valores de pesos específicos aparentes, umidades *'in situ'*, N_{SPT} (número de golpes característico do Ensaio de Penetração Padrão – “*Standard Penetration Test*” - em uma sondagem a percussão – neste trabalho, foram estimados a partir de correlação com os registros de penetração de ensaios com o Penetrômetro de Peso Leve), limites de Atterberg, módulos de resiliência e CBR (California Bearing Ratio), todos provenientes dos ensaios de campo e laboratório conduzidos nesta fase de atividades.

2. ATIVIDADES DE CAMPO E LABORATÓRIO REALIZADAS

As atividades de campo ora descritas foram realizadas nos segmentos de via correspondentes aos subtrechos experimentais estabelecidos, mantidas as condições tradicionalmente existentes de constituição de via, quais sejam, trilhos TR-68, fixação Pandrol, dormentes de

madeira com seção transversal de 17x24cm e comprimento de 2,80m, espaçados 54cm, de centro a centro de dormentes (aproximadamente, 1850 dormentes/km).

Os subtrechos experimentais, logo após esta primeira fase de atividades, deverão ser modificados (com exceção do Subtrecho A e do Subtrecho da Ferrovia do Aço) pela operadora ferroviária, para apresentarem-se com as seguintes constituições:

Trecho Saudade – Barra do Pirai

Subtrecho A – início km 132+55 / final km 132+80

mantêm-se as condições atuais tradicionais de espaçamento e dimensões dos dormentes

Subtrecho B – início km 131+993 / final km 132+5 (o km 131 tem 1013m)

dormentes de madeira tradicionais (2,8mx17x24cm) espaçados a cada 60cm de centro a centro

Subtrecho C – início km 131+918 / final km 131+943

dormentes de madeira (2,6mx17x24cm) espaçados a cada 54cm de centro a centro

Subtrecho D – início km 131+843 / final km 131+868

dormentes de madeira (2,6mx15x22cm) espaçados a cada 54cm de centro a centro

Subtrecho E – início km 131+768 / final km 131+793

dormentes de aço SIDEX espaçados a cada 60cm de centro a centro

Ferrovia do Aço

Subtrecho – início km 18+720 / final km 18+745

mantêm-se as condições atuais tradicionais de espaçamento e dimensões dos dormentes

A simulação computacional conduzida nesta primeira fase de atividades teve o objetivo primordial de serem certificadas as condições de segurança operacional que respaldassem as mudanças previstas para os novos arranjos propostos para as grades dos subtrechos experimentais. Por outro lado, as observações e os ensaios realizados visaram, também, caracterizar as estruturas dos subtrechos (espessuras, granulometria e índices físicos das camadas) para, ao mesmo tempo, atender às necessidades de dados de entrada necessários à simulação inicial e servir como padrão de calibração para comparação com os dados a serem obtidos após as transformações nas constituições das grades (avaliação da aderência entre as simulações teórico-computacionais e a resposta real da via permanente).

Os ensaios com a viga Benkelman possibilitam o registro das deformações elásticas (deflexões) em uma determinada seção da via permanente, onde se apóia a *ponta de prova*, produzidas por um veículo ferroviário de teste que, posicionado com seu eixo de ré sobre a ponta de prova, vai lentamente se afastando, sendo tomadas leituras em um extensômetro de precisão instalado na viga, a intervalos regulares de deslocamento do veículo ferroviário, até que cessem as deformações na ponta de prova (ver Figura 2). É obtida, dessa forma, a linha de influência de deformação da seção em apreço, comumente denominada *bacia de deflexão*. Por retroanálise, a partir do conhecimento da bacia, é possível inferirem-se módulos de resiliência para as camadas constituintes do pavimento.



Figura 2: Vista de leitura do extensômetro da viga Benkelman com a movimentação da locomotiva de teste

No caso presente, foi utilizada como veículo de teste, uma locomotiva operacional típica, com dois truques de três eixos cada, com 30tf por eixo. Nos testes, a locomotiva sempre se deslocou nos dois sentidos, Rio – Belo Horizonte e Belo Horizonte – Rio, permitindo o registro de uma bacia completa para os dois lados em relação ao ponto de prova. Em geral, sempre que possível, registraram-se três bacias completas para cada subtrecho experimental. Foram utilizados como pontos de prova em cada um dos subtrechos experimentais: (i) o trilho (ver Figura 3), fixando-se uma garra magnética em sua alma, onde se apoiava a ponta de prova da viga Benkelman; (ii) o lastro (ver Figura 4), no nível do plano de assentamento do dormente, na mesma vertical em que se testou o trilho; aplainava-se a superfície irregular do lastro com uma pasta de gesso, na qual fixava-se um sarrafo de madeira para constituir-se um apoio seguro para a ponta de prova da viga Benkelman.



Figura 3: Detalhe da roda da locomotiva de teste sobre o ponto de prova na alma do trilho



Figura 4: Vista da ponta de prova da viga Benkelman apoiada sobre o lastro

O objetivo de se determinarem duas bacias de deflexão na mesma seção da via, uma tomando leituras no trilho e outra, no lastro ao nível de assentamento do dormente, foi a identificação do possível “gap” que se cria entre a base do dormente e a superfície do lastro e/ou entre o patim do trilho e seu assentamento na face superior do dormente (este último, menos freqüente em fixações elásticas). Trata-se de detecção bastante importante pois consiste de um espaço vazio quando a via está descarregada, de incidência irregular, que induz a aumentos de impactos na passagem dos trens, levando a solicitações excessivas nas fixações e placas de apoio, gerando um martelamento localizado, de grande intensidade, da base do dormente sobre o lastro; tal fato faz da ocorrência do “gap” um defeito de via com caráter progressivo e endêmico (MUNIZ DA SILVA, 2002).

Os locais escolhidos para pontos de prova foram sempre o meio de cada um dos subtrechos experimentais, quais sejam: - Subtrecho A – km 132+67,5; - Subtrecho B – km 131+1005,5; - Subtrecho C – km 131+930,5; - Subtrecho D – km 131+855,5; - Subtrecho E – km 131+780,5; - Subtrecho Ferrovia do Aço – km 18+732,5; - Subtrecho Ferrovia do Aço (*ponto adicional*) – km 18+814.

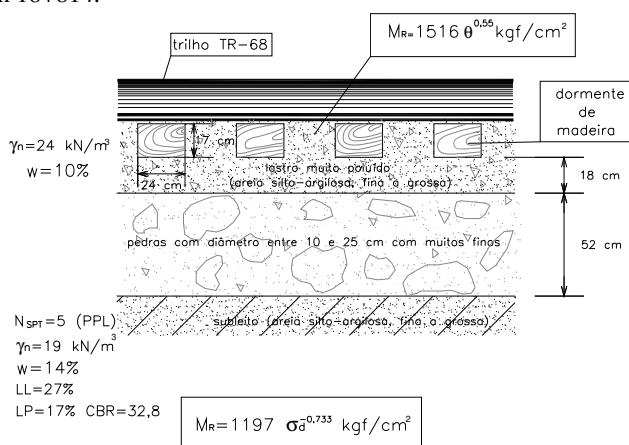


Figura 5: Perfil longitudinal trecho Saudade – Barra do Pirá subtrecho A

Nos mesmos pontos onde foram realizados ensaios com a viga Benkelman, foram coletadas amostras para ensaios de laboratório e realizados ensaios “in situ” para determinações da massa específica aparente do lastro e do sublastro (no caso da Ferrovia do Aço), e da umidade. Para determinação da massa específica aparente “in situ” foi utilizado o método do frasco de areia, e para a umidade, a amostra foi pesada ao sair da cava, e seca após aquecimento ao fogo.

Foram abertas trincheiras, transversais à linha, escavadas de tal modo que, afastando-se um ou dois dormentes, fosse sempre possível coletarem-se amostras sob o ponto de encontro do dormente com o trilho, atingindo-se o subleito com espaço suficiente para uma ou duas pessoas trabalharem no fundo da cava.

Coletaram-se amostras com pá, do lastro, sublastro (no caso da Ferrovia do Aço), camadas intermediárias e subleito. Foram, também, retiradas amostras “indeformadas” do subleito em tubos de PVC, com 20cm de comprimento, especialmente preparados, com a ponta biselada, com diâmetro de 4”, cravando-se, estaticamente, com a utilização de macaco de via reagindo contra a grade (Figura 6). Imediatamente após a retirada do tubo contendo a amostra, suas extremidades eram protegidas com espessas camadas de parafina derretida e papel-alumínio, para preservação, principalmente, das condições de umidade da amostra coletada (Figura 7). Na Ferrovia do Aço, não foi possível a utilização desta sistemática, em vista das menores profundidades de ocorrência do subleito que impediam o emprego do macaco de via, e do alto grau de compacidade em que se encontrava o sublastro. Das cinco amostras coletadas, três (subtrechos B, C e D) foram danificadas, no laboratório, por ocasião de sua extração do tubo de PVC.



Figura 6: Coleta de amostra em tubo com uso de macaco de via reagindo contra a grade



Figura 7: Vista do tubo amostrador de PVC com as extremidades protegidas com parafina

Atingida a camada de subleito nos cinco subtrechos do trecho Saudade – Barra do Pirai, e a camada de sublastro no km 18+732,5 do trecho da Ferrovia do Aço, foram procedidos ensaios com o penetrômetro de peso leve (PPL). Trata-se de um equipamento portátil, cujos resultados permitem correlação com o número de golpes N_{SPT} (no caso do equipamento utilizado, $N_{PPL} \approx 1,5N_{SPT}$).

Para cada uma das seções estudadas, a partir das trincheiras abertas, foram elaborados boletins de escavação, nos quais foram indicadas a localização, a profundidade, a forma de amostragem e uma classificação tátil-visual expedita das camadas ultrapassadas (depois verificada em laboratório), e, quando era o caso, um registro de outras observações relevantes. Os boletins foram a base para a elaboração dos perfis longitudinais da via (Figura 5).

Foram coletadas 16 amostras, onze deformadas e cinco “indeformadas”, tendo sido realizados cerca de 50 ensaios de laboratórios, dos tipos relacionados a seguir. Os ensaios de laboratório foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto Militar de Engenharia (IME), no Rio de Janeiro: - ensaios de granulometria com sedimentação; - ensaios triaxiais cíclicos; - determinações da massa específica real dos grãos pelo método do picnômetro; - ensaios para determinação da umidade natural; - ensaios para determinação dos limites de Atterberg; - ensaios para determinação do peso específico aparente; - ensaios para determinação de CBR.

Para determinação dos módulos de resiliência das camadas de sublastro e subleito do subtrecho da Ferrovia do Aço, no km 18+732,5, foram coletadas amostras deformadas, pela impossibilidade, com os recursos disponíveis, de serem coletadas amostras “indeformadas”, em vista do alto grau de compactidade em que se encontravam o sublastro e o subleito, como já relatado. Em laboratório, para estas amostras da Ferrovia do Aço, moldaram-se corpos-de-

prova para o ensaio triaxial cíclico, reconstituindo-se, por compactação, as condições de umidade e peso específico aparente observadas no campo.

3. MODELAGENS E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS REALIZADAS

A locomotiva utilizada como veículo de teste para o ensaio com a viga Benkelman é de dois truques com três eixos cada, e opera aplicando uma carga por roda igual a 15tf (força vertical). Os eixos de cada truque estão espaçados de 202 e 212cm na direção longitudinal. Foi simulada, para cada trilho, a ação de dois conjuntos de três rodas, aplicando-se carga total à via de 90tf. Esta configuração está perfeitamente adequada para levar em conta o carregamento aplicado durante os ensaios de campo, na medida em que a menor distância entre eixos de um truque para o outro truque é de 8,26m, praticamente implicando na inexistência de superposição de efeitos significativa. No caso das solicitações operacionais correntes, contudo, onde há duas (ou mais) locomotivas contíguas, a roda mais próxima do truque simulado (da locomotiva contígua) estaria a 3,37m de distância, ou seja, por volta de seis espaçamentos de dormentes. Dentro do truque simulado, as cargas de eixo distam entre si de 3,5 a 4 espaçamentos de dormentes, como ilustrado na Figura 8, de modo que a superposição de efeitos que ocorre dentro de um truque é mais importante do que aquela que ocorre entre o eixo extremo do truque e o do outro truque mais próximo da locomotiva contígua. Sendo assim, analisar o truque de três eixos é suficiente também para levar em conta as solicitações operacionais correntes, na medida em que o estado de tensões, deformações e deslocamentos sob o eixo central do truque (cargas de roda que atuam nos pontos nodais 133 e 156 da Figura 8) é, seguramente, mais crítico que sob o eixo extremo situado mais próximo do truque da locomotiva contígua.

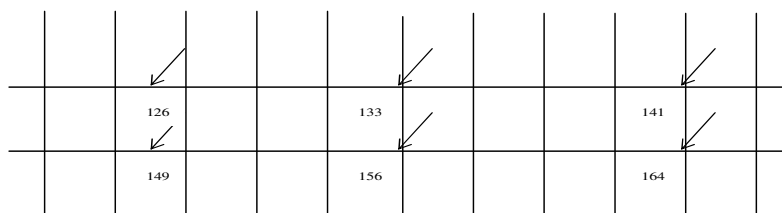


Figura 8: Pontos nodais onde as cargas de roda foram aplicadas nas grades simuladas no programa FERROVIA 1.0

Os trilhos TR-68 têm área de seção transversal $A = 86,13\text{cm}^2$ e momento de inércia $I = 3.954\text{cm}^4$. Considerou-se para o aço o módulo de elasticidade $E = 2.100.000\text{kgf/cm}^2$ e para a madeira $E = 100.000\text{kgf/cm}^2$. Para a ligação trilho-dormente, a fixação Pandrol foi considerada como fixação perfeitamente elástica descrita por um coeficiente de mola $K = 7 \times 10^4\text{kgf/cm}$.

Foram aplicadas três cargas de roda em cada trilho, pertencentes a um mesmo truque. Foram considerados válidos para descrever o comportamento elástico do sublastro e do subleito os módulos de resiliência (M_R) medidos em laboratório por meio de ensaios triaxiais de cargas repetidas. Para a camada de lastro, onde este ensaio apresenta consideráveis dificuldades de execução e de moldagem de um corpo-de-prova representativo das condições de umidade e densidade de campo, o valor de M_R foi determinado por retroanálise, de modo a reproduzir as deflexões medidas com a viga Benkelman. Os resultados obtidos mostraram que um valor da ordem de $M_R = 350\text{kgf/cm}^2$ é necessário para que a via apresente a deflexão (δ_L) observada no

km 18 + 732,5, de 100×10^{-2} mm, enquanto que um valor da ordem de $M_R = 2.000 \text{ kgf/cm}^2$ é requerido para se reproduzir a deflexão (δ_L) de 49×10^{-2} mm que foi observada, em média, no km 18 + 814.

Esta grande variação é perfeitamente possível, tendo em vista a maior susceptibilidade da camada de lastro em sofrer alterações de umidade e de compactação pelo tráfego ao longo da via e por se tratar de um lastro poluído.

O conjunto de simulações numéricas realizado teve o objetivo de se certificar das condições de segurança para mudar a grade atual – em configuração tradicional de trilhos TR-68, fixação Pandrol, dormentes de madeira com seção transversal de 17×24 cm e comprimento de 2,80 m, espaçados 54 cm, de centro a centro – para as características propostas para cada segmento dos trechos experimentais, descritas anteriormente e conforme Figura 1. A avaliação da segurança se fez pela comparação dos dados de saída do programa FERROVIA 1.0 simulando as condições atuais da grade, com as saídas obtidas com as condições propostas para cada um dos subtrechos experimentais.

Foram as seguintes as saídas utilizadas para comparação:

1. Pressão máxima no contato dormente-lastro (p_C)
2. Deflexão máxima do trilho (δ_T)
3. Deflexão máxima do lastro (δ_L)
4. Tensão máxima de compressão no topo do subleito (σ_{SL})
5. Tensão máxima de tração no trilho (σ_T)
6. Tensão máxima de tração no dormente (σ_D)

As seguintes indicações podem ser obtidas com estes dados de saída do programa:

p_C - sugere a potencialidade para formação do “gap” entre a base do dormente e a superfície do lastro e, também, a indução a desnivelamentos da via e ao esmagamento de lastro, criando condições para a formação de ‘bolsões de lama’ (contaminação do lastro).

δ_T e δ_L - caracterizam o nível de resiliência da via, passível de ser correlacionado com suscetibilidade a descarrilamentos e desgastes excessivos dos componentes da via.

σ_{SL} - indica a tendência de acumulação de desnivelamentos da via.

σ_T - indica o nível de tensão de tração em que o trilho está trabalhando e, portanto, o grau de suscetibilidade de sua ruptura por fadiga e formação de defeitos.

σ_D - indica a intensidade de tensão de tração na flexão em que o dormente está trabalhando e, conseqüentemente, o nível de solicitação a que estão submetidas as fixações.

Os parâmetros e demais dados de entrada necessários para o processamento do programa FERROVIA 1.0 foram obtidos dos ensaios triaxiais cíclicos e dos outros ensaios realizados em laboratório, das observações das trincheiras abertas e de correlações experimentais. Foram também levados a efeito processos de retroanálise, a partir do próprio programa FERROVIA 1.0, estabelecendo-se, com técnica de convergência matemática, quais parâmetros reproduziam as bacias de deflexão obtidas com a viga Benkelman nos ensaios de campo. Ressalte-se que, para determinação do módulo de resiliência da camada de lastro dos subtrechos do trecho Saudade – Barra do Pirai, onde a coleta de amostras e moldagem de um corpo-de-prova representativo das condições de umidade e densidade de campo apresenta

consideráveis dificuldades, foi aplicada correlação experimental desenvolvida por SPADA (2003).

Apresenta-se, a seguir, na Tabela 1, um quadro resumo com os dados de saída do programa FERROVIA 1.0 que foram utilizados para os diagnósticos e as conclusões expostos adiante.

Tabela 1: Quadro resumo dos dados de saída do programa FERROVIA 1.0

	SAUDADE – BARRA DO PIRAÍ					FERROVIA DO AÇO	
	<i>Subtrecho A</i> 280 x 17 x 24 (54)	<i>Subtrecho B</i> 280 x 17 x 24 (60)	<i>Subtrecho C</i> 260 x 17 x 24 (54)	<i>Subtrecho D</i> 260 x 15 x 22 (54)	<i>Subtrecho E</i> SIDEX (60)	<i>km 18+732,5</i> 280 x 17 x 24 (54)	<i>km 18+814</i> 280 x 17 x 24 (54)
Pc (kPa)	180	192	217	234	176	171	182
δ_T (mm)	138×10^{-2}	138×10^{-2}	135×10^{-2}	142×10^{-2}	152×10^{-2}	178×10^{-2}	127×10^{-2}
δ_L (mm)	63×10^{-2}	54×10^{-2}	58×10^{-2}	66×10^{-2}	70×10^{-2}	108×10^{-2}	49×10^{-2}
σ_{SL} (kPa)	71	72	80	80	66	78	78
σ_T (MPa)	26,7	28,1	26,6	26,8	28,5	28,0	26,4
σ_D (MPa)	3,9	3,9	3,8	4,7	10,1	5,2	3,6

4. CONCLUSÕES

Foram as seguintes as avaliações estabelecidas a partir da consideração de todas as atividades desenvolvidas até esta etapa dos estudos e, em especial, dos dados sintetizados na Tabela 1 referentes às saídas das simulações computacionais conduzidas com o programa FERROVIA 1.0:

Segundo AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION - AREMA (1999), a pressão máxima admissível no contato dormente-lastro é de 0,4MPa. Todos os valores resultantes da simulação dos seis subtrechos experimentais atendem a esta condição. O maior valor encontrado foi 0,23MPa, referente ao subtrecho D do trecho Saudade – Barra do Piraí.

Embora não haja consenso a respeito de qual é a deflexão aceitável para o trilho, HAY (1982), apresenta o valor de 500×10^{-2} mm, como o limite superior desejável para vias de carga pesada (“heavy haul”). O maior valor encontrado nas simulações foi 178×10^{-2} mm, referente ao trecho da Ferrovia do Aço.

As tensões máximas de compressão no topo do subleito mostraram-se compatíveis com as correspondentes capacidades de carga dos terrenos, com fatores de segurança adequados para limitar as deformações permanentes devidas ao subleito (desnivelamentos da via).

As tensões de escoamento dos aços-liga e aços-carbono dos trilhos utilizados no Brasil são da ordem de 500MPa ou superiores. É praxe, internacional e brasileira, a limitação das tensões máximas atuantes em casos de carga pesada e/ou tráfego intenso, ao valor de 150MPa, por questões de fadiga e outros fenômenos de origem dinâmica. A tensão máxima de tração nos trilhos encontrada nas simulações foi de 28,5MPa para o caso do subtrecho E do trecho Saudade – Barra do Pirai.

PFEIL (1985), indica que a menor tensão admissível em flexão simples para madeiras brasileiras é da ordem de 8MPa, para a espécie pinho-do-paraná, podendo chegar a 17MPa em eucaliptos, até 23MPa em aroeiras. A máxima tensão de tração estabelecida nas simulações para os dormentes de madeira foi de 5,2MPa, referente ao trecho da Ferrovia do Aço. O subtrecho E foi simulado com dormentes de aço SIDEX, resultando em tensão máxima de tração prevista de 10,1MPa; o dormente é constituído por aço-liga que, conforme já referido, admite tensões de trabalho de até 150MPa. O próprio fabricante indica tensões de escoamento-ruptura de 520-620MPa, compatíveis com a tensão admissível indicada.

Com exceção da tensão máxima de tração nos dormentes de aço SIDEX relativos ao subtrecho E, justificado no item anterior, nenhum dos outros parâmetros de saída referentes às simulações das situações propostas para alteração do arranjo da grade (subtrechos B, C, D e E do trecho Saudade – Barra do Pirai) apresentam valores que representem risco operacional, quando comparados com as simulações do subtrecho A do trecho Saudade – Barra do Pirai e dos subtrechos da Ferrovia do Aço, que foram simulados mantendo-se a configuração tradicional da grade ferroviária.

Cabe ressaltar e enfatizar que todas as assertivas acima são baseadas em análises instantâneas, insuficientes, por ora, para um diagnóstico a respeito da adequação econômica de qualquer encaminhamento no sentido de definir uma nova configuração de grade, considerando um desempenho ao longo do tempo. O segundo ciclo de atividades de campo, juntamente com uma nova etapa de simulações numéricas, acrescentando dados, resultados e novas observações, e ensejando análises comparativas com o já estabelecido até o momento, permitirão posicionamentos conclusivos.

Diversas outras questões serão, ainda, examinadas, devendo ser assinalado, em particular, a título de exemplo, que as tensões devidas à flexão nos dormentes não devem ser consideradas apenas em termos de ruptura, mas atentando também que, suas rotações em trabalho, com a repetição de cargas, podem solicitar excessivamente as fixações, inutilizando-as em curto espaço de tempo.

Outra preocupação tem a ver com a possibilidade de quebra e abrasão de lastro no tempo, função das tensões de compressão e cisalhamento a que está submetido, podendo provocar degradação por contaminação ('bolsões de lama') e suas conhecidas consequências de desnivelamentos da via.

Agradecimentos

Os autores agradecem à MRS Logística, nas pessoas dos Engenheiros Fernando Cesar de Moura e Silva e Walter Vidon Jr. pelo permanente apoio prestado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION (1999) – *Manual for Railway Engineering*, Vol. 1 a 4.
- HAY, W.W. (1982) – *Railroad Engineering*, 2nd ed., New York, John Wiley & Sons.
- MUNIZ DA SILVA, L.F. (2002) – *Fundamentos Teórico-Experimentais da Mecânica dos Pavimentos Ferroviários e Esboço de um Sistema de Gerência Aplicado à Manutenção da Via Permanente*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- PFEIL, W. (1985) – *Estruturas de Madeira*, Livros Técnicos e Científicos S.A..
- RODRIGUES, R.M. (1994) – Um Modelo para Análise Estrutural de Vias Permanentes Ferroviárias sobre Lastro. *Anais do X COBRAMSEF*, Volume 3, pp.755-762, Foz do Iguaçu.
- SPADA, J.L.G. (2003) – *Uma Abordagem de Mecânica dos Pavimentos Aplicada ao Entendimento do mecanismo de Comportamento Tensão-Deformação da Via Férrea*. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

PARTE II

Engenharia e Segurança de Tráfego

Capítulo 4

Segurança de trânsito

