



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

VARIAVÉIS QUE INFLUENCIAM A DEFORMAÇÃO PERMANENTE EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS¹

Carlos Filipe Santos Correia e Silva², Gislári Alves³, José Antonio Santana Echeverria⁴, Luciano Pivoto Specht⁵.

¹ Trabalho de pesquisa do Programa de Educação Tutorial (PET) do curso de Engenharia Civil da UNIJUI

² Bolsista PET do Curso de Engenharia Civil do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias.

Carlos.correia@unijui.edu.br

³ Mestranda em Modelagem Matemática pela UNIJUI. gisnarialves@yahoo.com.br

⁴ Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI. jaecheverria@yahoo.com

⁵ Professor do Departamento de Transportes da UFSM. luspecht@gmail.com

Resumo

A análise mecânica de pavimentos consiste em calcular as respostas estruturais (tensões, deformações e deslocamentos) do pavimento devido às cargas do tráfego e verificar o número de solicitações que levam à sua falha estrutural. Uma das principais causas de falha do pavimento é a deformação permanente. Neste estudo utilizou-se o software *EverStressFE v1.0* (software de elementos finitos em 3D), para o cálculo das deformações de compressão no topo do subleito e com essas deformações calculou-se o N_f através do modelo da *Asphalt Institute*. Adotou-se para o estudo um modelo estrutural com três camadas: revestimento, base e subleito, sendo solicitadas por um eixo tandem. Para cada simulação variou-se o módulo do revestimento; o módulo da base; a espessura do revestimento e a espessura da base, mantendo-se constante a espessura e o módulo do subleito. As simulações realizadas demonstraram a importância da camada de base na ruptura por deformação permanente.

Palavras-chave: Deformação permanente; Elementos finitos; *Everstress.FE*

Introdução

Os transportes e o desenvolvimento econômico estão diretamente relacionados, visto que os transportes possibilitam o melhor aproveitamento de uma região. A preservação e a ampliação da malha rodoviária pavimentada é uma das principais condições para o grande salto de desenvolvimento que o país precisa. Também é importante lembrar que a má conservação das vias acarreta na maior ocorrência de acidentes, maior tempo gasto, consumo elevado de combustível, entre outros fatores.

Dentre os diversos fatores importantes na determinação da vida útil dos pavimentos, tem-se o projeto estrutural. Um pavimento projetado adequadamente é capaz de suportar as cargas advindas do tráfego, transferindo os esforços solicitantes para as camadas subjacentes, prevenindo então danos. (FRANCO, 2007).

Nos pavimentos flexíveis, os danos de maior intensidade e mais comuns oriundos do tráfego são os trincamentos por fadiga e as deformações plásticas ou permanentes, ambos comprometedores do desempenho estrutural.





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

O efeito da deformação permanente é caracterizado pelos afundamentos ao longo da trilha de roda e pelas irregularidades na superfície do pavimento que, por sua vez, dificultam a drenagem que aumenta o risco de aquaplanagem, estes efeitos têm consequência direta na redução dos níveis de segurança e no conforto ao rolamento das estradas. A deformação limite no topo do subleito é o critério mais utilizado pelos métodos de dimensionamento de pavimentos, uma vez que, à medida que se aumenta a espessura total do pavimento, as tensões que chegam ao topo do subleito tendem a diminuir. Pela simplicidade de sua utilização, o critério se tornou bastante difundido (FRANCO, 2007).

Os atuais métodos mecânicos, de dimensionamento de pavimentos, calculam as respostas estruturais do pavimento, utilizando métodos analíticos ou numéricos que consideram o pavimento como um meio semi-infinito, elástico, homogêneo e isotrópico, submetido a cargas verticais uniformemente distribuídas. Estas respostas são transformadas em danos que são computados em número de repetições até a falha estrutural, determinando assim a “vida” de do pavimento.

Devemos considerar também, que apesar das cargas dos veículos serem a principal causa das deformações nos pavimentos, outros fatores devem ser considerados ao realizar uma análise estrutural, como: as espessuras das camadas (adequadas ou não), a qualidade dos materiais, os processos de construção e restauração e as condições climáticas.

O objetivo deste trabalho é analisar quais os parâmetros estruturais que influenciam nas deformações verticais no topo do subleito, portanto, na deformação permanente.

Metodologia

O modelo estrutural utilizado no presente estudo foi implementado utilizando o software de Elementos Finitos 3D, *Everstress.FE*. Este software permite criar uma variedade de condições de fronteira e condições de carregamento, mostrando-se versátil na simulação das situações desejadas pelo projetista, trabalhando com uma interface amigável ao utilizador em cinco abas. O modelo foi construído com uma área de 2000 x 2000 mm, com três camadas: revestimento, base e subleito, com coeficientes de Poisson 0,30, 0,35 e 0,40 respectivamente. Para cada simulação variaram-se os módulos do revestimento (3000, 4500, 6000, 7500 e 10000 MPa); os módulos da base (150, 300, 450 MPa); as espessuras do revestimento (5, 10, 15, 20, 25 cm) e as espessuras da base (15, 30, 45 cm), mantendo-se constante a espessura (200 cm) e o módulo (150 MPa) do subleito.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
 Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

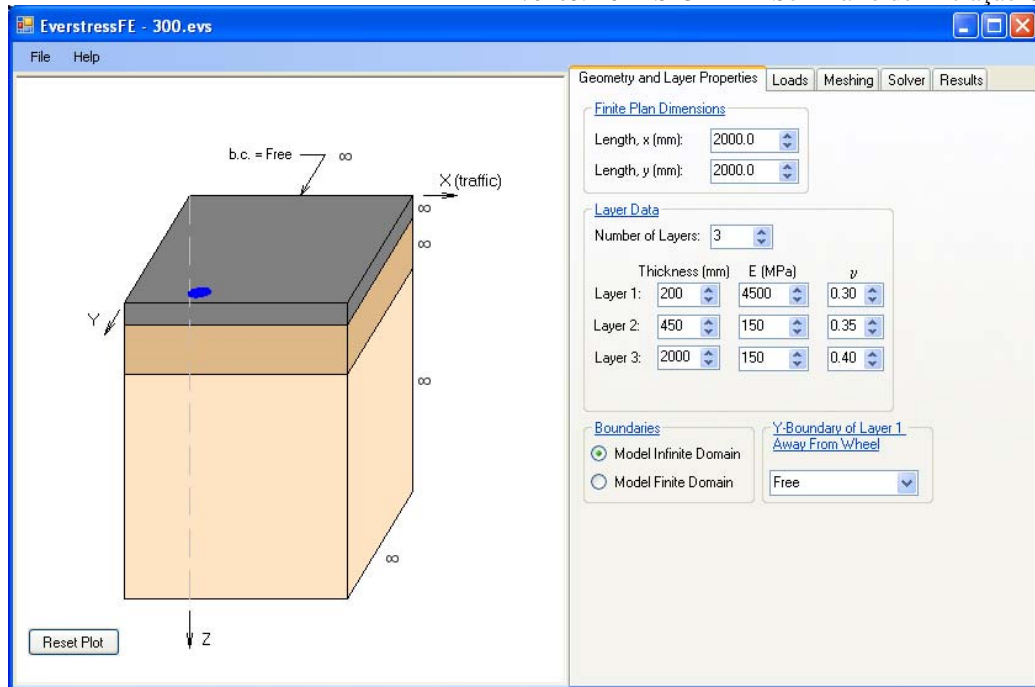


Figura 1: Configuração da geometria e propriedades das camadas

Cada combinação estrutural foi carregada por um eixo tandem duplo de rodas duplas, com a área de contato dos pneus padrão definida como circular, a pressão de inflação e o raio de contato são calculados automaticamente pelo programa em função da carga do pneu. Para cada carregamento do eixo tandem, variou-se as cargas por pneu em 20.00, 23.00 e 26.00 kN resultando assim em cargas de 160.00, 184.0 e 208.00 kN por eixo, sendo que a carga legal para eixo tandem duplo de rodas duplas é de 170.00 kN por eixo, quando a distância entre os planos que contenham os centros das rodas for maior do que 1,20 e menor do que 2,40 m.

Ao determinar as dimensões do modelo, o programa realiza uma discretização automática, ou seja, cria uma divisão de malha padrão de acordo com as dimensões escolhidas. Mas também existe a opção de refinar a malha no entorno da área de contato do pneu, permitindo resultados mais acurados. No plano horizontal refinou-se uma área de 1600 x 1600 mm colocando uma grelha de 15x15 elementos em cada direção (X e Y) e na vertical (Z) a refinação foi feita em função da espessura da camada, para revestimento a divisão dos elementos foi de 1 em 1 cm, para a base de 5 em 5 cm e para o subleito de 20 em 20 cm. Considerou-se também a total aderência entre as camadas, ou seja, não haveria deslizamento entre as camadas.

Após analisados os 675 casos, obteve-se os valores da deformação vertical no topo do subleito (ϵ_v), responsável pela deformação permanente. Empregando o modelo (Eq. 1) apresentando pelo *Asphalt Institute* (AI) foi possível determinar o número de repetições de carga até atingir a deformação permanente.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

$$N_f = 1,365 \cdot 10^{-9} \cdot \varepsilon_v^{-4,477} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

N_f : número de repetições de carga para atingir a deformação permanente;

ε_v : deformação vertical no topo do subleito.

O AI define a deformação permanente crítica (de ruptura) como um afundamento da trilha de roda igual a 12,5 mm.

Resultados e Discussão

O mecanismo de degradação do pavimento depende principalmente das espessuras das camadas, assim como da rigidez das mesmas. Estes dois fatores determinam a distribuição das tensões atuantes, onde camadas mais rígidas e espessas elevam o grau de abertura do cone de tensões e reduzem os esforços solicitantes nas camadas subjacentes.

Para a análise das variáveis estruturais, codificaram-se os valores numa escala de -1 a 1, conforme a Tabela 1, tornando-se possível a comparação direta entre elas.

Código	Espessura do Revestimento (Hr)	Espessura da Base (Hb)	Módulo do Revestimento (Er)	Módulo da Base (Eb)
-1	5 cm	15 cm	3000 MPa	150 MPa
-0,5	10 cm		4500 MPa	
0	15 cm	30 cm	6000 MPa	300 MPa
0,5	20 cm		7500 MPa	
1	25 cm	45 cm	10000MPa	450 MPa

Tabela 1: Codificação dos valores

De um modo geral, todas as variáveis estruturais se mostraram influentes, visto que com o aumento destas o N_f aumenta, dando suporte à premissa de que pavimentos robustos tendem a deformar menos. Entre as variáveis a mais influente é o Módulo da Base (Eb), como pode se constatar pela inclinação da linha de tendência na Fig. 3, que deixa claro que quanto menos deformável a base maior o N_f . A segunda mais influente é a Espessura da Base (Hb), portanto, pode se afirmar que a base é a camada mais importante.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

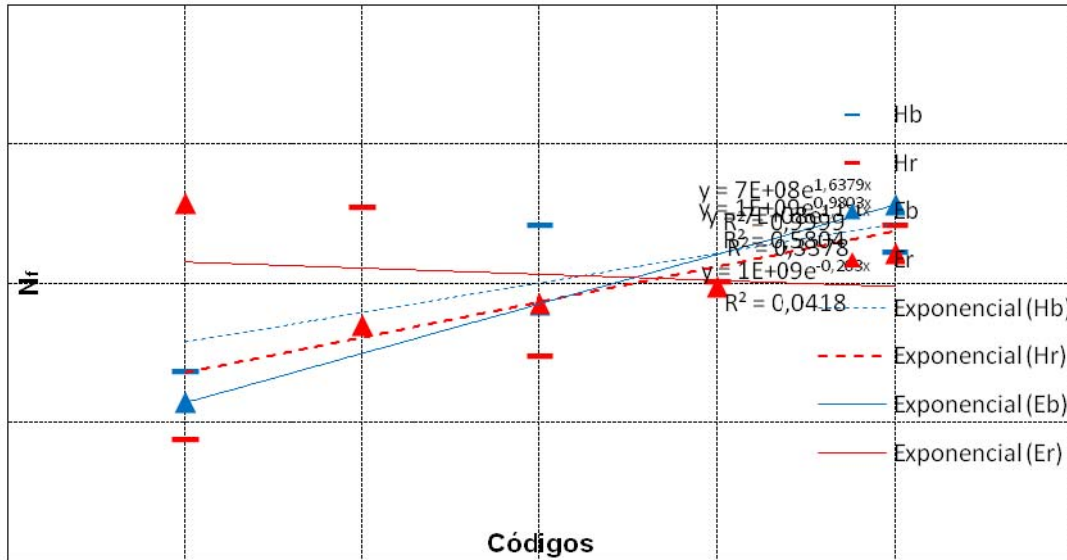


Figura 2: Módulo da Base versus N_f

A Fig. 2 confirma o que já era previsto: quanto maior a carga menor o número de repetições até atingir a deformação permanente, ou seja, veículos trafegando com uma sobrecarga de 30% reduzem o tempo de serventia da rodovia, em relação à deformação permanente, em até 10%.

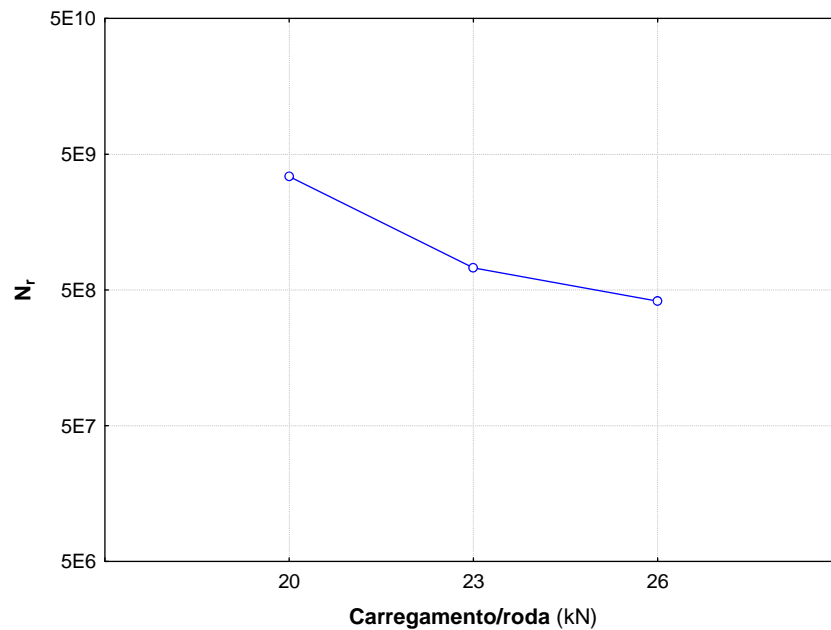


Figura 3: Carregamento versus N_f



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Conclusões

A exatidão das respostas estruturais calculadas com o Método dos Elementos Finitos depende do grau de refinamento da malha de elementos. O *Everstress.FE* é dotado de uma interface que permite ao usuário refinar detalhadamente a malha, dando maior confiabilidade aos resultados obtidos. Estes indicaram o Módulo da Base como o parâmetro estrutural mais importante para o aumento do N_f . Embora, alguns métodos de dimensionamento ignorem a deformação plástica nas demais camadas, verificando somente a do subleito, os resultados demonstram que a deformabilidade das outras camadas, principalmente da base, é um parâmetro que deve ser levado em conta no dimensionamento. Então se conclui que o material usado (material pétreo) e as técnicas construtivas empregadas (compactação adequada; drenagem do pavimento) devem contribuir para maximizar o módulo da base, aumentando assim a durabilidade do pavimento.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao MEC/SeSu pela bolsa PET.

Referências

FRANCO, F.A.C.P., Método de dimensionamento mecânico-empírico de pavimentos asfálticos – SISPAV. Tese de Doutorado. COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

PAPAGIANNAKIS, A. T.; MASAD, E. A., Pavement Design and Materials. Texas, Wiley, 2008.