

## **ESTUDO DE DEFORMAÇÕES EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM DECORRÊNCIA DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA**

### **STUDY OF DEFORMATIONS IN FLEXIBLE PAVEMENTS AS A RESULT OF TEMPERATURE VARIATION**

Leandro Blass<sup>1</sup>, Anderson Luís Jeske Bihain<sup>2</sup>, Lucas Dotto Bueno<sup>3</sup>, Everson Jonatha Gomes da Silva<sup>4</sup>, Marcelo Molin<sup>5</sup>, Maicon Vinicius Altnetter<sup>6</sup>

**RESUMO:** O principal meio de transporte brasileiro é o rodoviário, movimentando aproximadamente 60% das cargas no país, devido a sua importância torna-se necessário conhecer os principais fatores que influenciam a ruína de uma rodovia, por conta disto o presente trabalho visa estudar o comportamento de um pavimento exposto a uma variação sazonal de temperatura, assim serão analisadas as respostas estruturais quando submetido aos carregamentos dos eixos rodoviários. Para realizar esta análise, levaram-se em conta dois tipos de revestimentos de espessuras diferentes (5 e 10 centímetros) considerando os módulos de resiliência destas camadas variam com a temperatura. Os dados experimentais de temperatura são referentes ao mês de fevereiro das 13h00min horas às 18h20min variando de 20 em 20 minutos. Através do software AEMC/SisPav, que será utilizado para calcular as deformações, tensões e deslocamentos, diante dessas informações estimando sua vida útil através de modelos de desempenho que simulam a degradação da estrutura, ou seja, ruptura por fadiga e deformação permanente.

**Palavras-chave:** pavimento flexível, variação da temperatura, módulo de resiliência.

**ABSTRACT:** *The main means of transportation in Brazil is road transport, which accounts for approximately 60% of the cargoes in the country. Due to its importance, it is necessary to know the main factors that influence the ruin of a highway, due to the fact that the present work aims to study the behavior of a pavement exposed to a seasonal variation of temperature, thus the structural responses will be analyzed when subjected to the loadings of the road axes. To perform this analysis, two types of coatings of different thicknesses (5 and 10 centimeters) were considered considering the resilience modules of these layers vary with temperature. Experimental temperature data refer to the month of February from 1:00 p.m. to 6:20 p.m., ranging from 20 to 20 minutes. Through the software AEMC / SisPav, which will be used to calculate the deformations, tensions and displacements, in front of this*

*information estimating its useful life through performance models that simulate the structure degradation, ie, fatigue rupture and permanent deformation.*

**Key words:** *flexible pavement, temperature variation, resilience module.*

## **INTRODUÇÃO**

Pavimentos são estruturas construídas na superfície cujo papel é fornecer ao usuário segurança e conforto, sua vida útil depende de inúmeros fatores físicos e mecânicos das camadas que o constitui. Por seu revestimento possuir em sua composição derivados do petróleo (ligante asfáltico) pode-se considera-lo uma estrutura termo sensível (BALBO, 2007).

Segundo Alkasawneh et al., (2007) a variação de temperatura ao longo do perfil do pavimento é afetada principalmente pela variação de temperatura ao longo da superfície do mesmo, que varia continuamente durante os meses. Assumir um único módulo de resiliência para o pavimento pode superestimar ou subestimar as propriedades de rigidez do mesmo dependendo das condições climáticas prevalentes durante um ano.

Através de dados experimentais de temperatura coletados para um pavimento experimental localizado na cidade de Ijuí/RS com o auxílio de termopares distribuídos pelo mesmo, (BLASS, 2011). Foi possível, através da modelagem computacional da transferência de calor estimar as temperaturas para determinadas profundidades do pavimento.

Para conhecer a deformação horizontal de tração ( $\epsilon_t$ ) na fibra inferior do revestimento, a deformação vertical de compressão no topo do subleito ( $\epsilon_c$ ) e a deflexão na fibra superior do revestimento ( $U_z$ ) referente à atuação de um eixo padrão, utilizou-se a ferramenta AEMC/SisPav, que realiza seus cálculos através da teoria elástica de multicamadas (BURMISTER , 1943).

Tais parâmetros podem ser usados para estimar a vida útil de um pavimento, por exemplo, calculando-se o número N, importante na mecânica de pavimentos, que seriam os valores de solicitações que levam o pavimento a ruína por fadiga e/ou deformação permanente. Optou-se por calcular o número N para um eixo padrão, eixo simples de rodas duplas com carga de 8,2 toneladas e pressão dos pneus de

0,56 Mpa, pois este é o eixo utilizado nos métodos vigentes de dimensionamento de pavimentos asfálticos.

O presente trabalho tem por objetivo estimar  $\epsilon_t$ ,  $\epsilon_c$ ,  $U_z$  pelo AEMC/SisPav e com esses dados calcular o  $N_{atr}$  (valor de solicitações que levariam o pavimento a ruína por afundamento de trilha de roda) e  $N_f$  (valor de solicitações que levariam o pavimento a ruína por fadiga) para dois pavimentos com diferentes revestimentos 5 e 10 cm, e para a base 25cm, utilizando dois modelos para o módulo de resiliência em função da temperatura.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi executado de modo a empregar o módulo de resiliência em função da temperatura em um programa de análise de tensões e deformações AEMC/SisPav. A seguir serão descritos os métodos.

### MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Resiliência é a máxima energia que um material pode receber sem sofrer deformação permanente, já o módulo de resiliência nada mais é que a deformação por unidades de volume. Quanto menor for o módulo de resiliência menor será a rigidez do material (HIBBELER, 2010).

Ullidtz (1987) propôs a seguinte Equação (1) para determinação do módulo de resiliência de pavimentos asfálticos em função da temperatura.

$$M_R = 15000 \cdot 7900 \log(T) \quad (1)$$

Já Ali & Lopez propôs outra Equação (2) para determinar tal propriedade para pavimentos flexíveis.

$$M e_R = (9,37196 \cdot 0,03608145 \tilde{)} T \quad (2)$$

onde  $M_R$  é o módulo de resiliência em MPa e  $T$  é a temperatura em °C.

As temperaturas foram retiradas de Blass (2011) para o mês de fevereiro (das 13:00 até as 18:20), a partir de seis sensores instalados em um pavimento flexível experimental existente no Laboratório da Engenharia Civil da UNIJUÍ, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Tais sensores localizam-se na superfície do revestimento a: 3, 6, 9, 12 e 15 cm de profundidade, e através dos dados coletados de 20 em 20 minutos fez-se uma abordagem pela equação de calor discretizada por diferenças finitas que possibilita obter a temperatura do revestimento de 1 em 1 cm. O módulo de resiliência varia com a temperatura.

Também foi calculado o módulo de resiliência para a temperatura padrão de 25 °C valor que norteia os principais testes e avaliações de pavimentos recomendados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), (DNIT, 2006).

## **MECÂNICA DE PAVIMENTOS ASSISTIDA POR PROGRAMA COMPUTACIONAL**

Através da ferramenta de Análise Elástica de Múltiplas Camadas AEMC/SisPav, que é um sistema computacional formulado em C++, desenvolvido por Franco (2007), o programa é usado para o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, com rotinas para entrada de dados e apresentação de resultados.

Para este trabalho buscou-se os valores de  $\epsilon_t$ ,  $\epsilon_c$  e  $U_z$  os dois primeiros para serem usados nos modelos de desempenho e o último foi utilizado apenas como embasamento dos resultados.

## **PONTOS DE ANÁLISE**

Para obter-se tais parâmetros para um eixo padrão insere-se pontos de leitura, neste caso tais pontos baseiam-se em Ribas (2014), no centro das rodas, na borda interior, e no centro da roda externa. Para este tipo de eixo trabalha-se na

direção transversal do eixo (X) mantendo a direção longitudinal (Y) nula conforme figura 1:

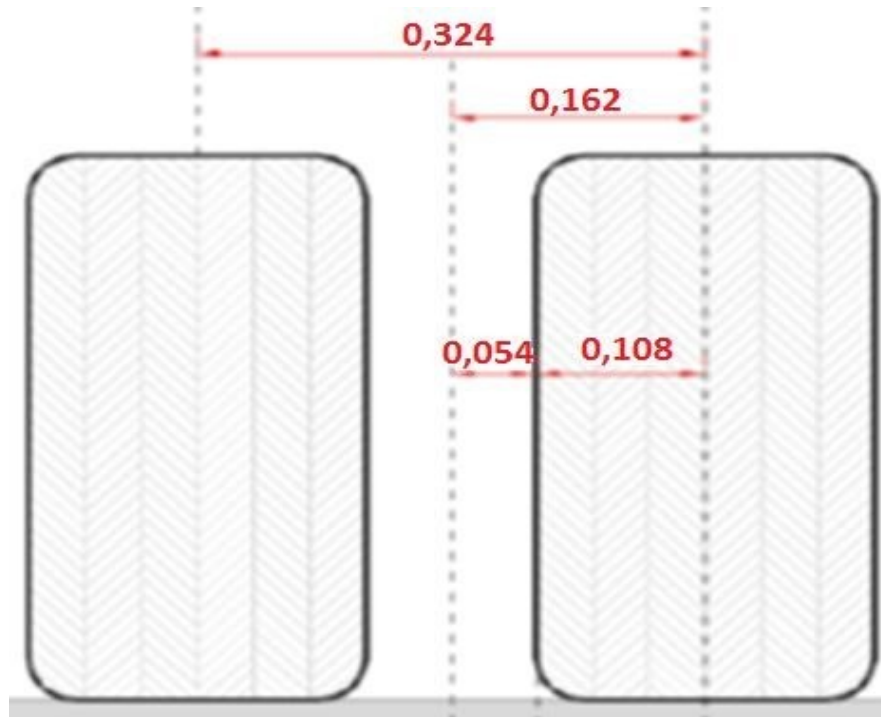


Figura 1 - Pontos de análise eixo padrão. Fonte: Ribas (2014).

Para as camadas do pavimento (Z) devem-se ter pontos na fibra superior do revestimento ( $U_z$ ), na fibra inferior do revestimento para  $\epsilon_t$ , e na fibra superior do subleito para  $\epsilon_c$ , conforme a figura 2 (FRANCO, 2007):

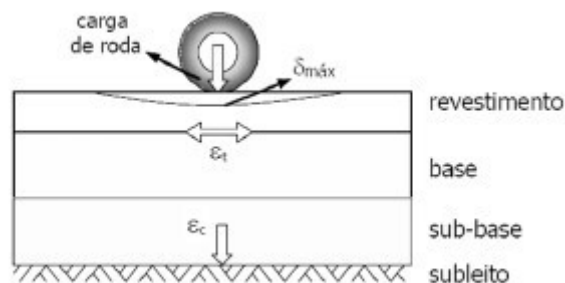


Figura 2 - Locais de análise em relação à profundidade. Fonte: Franco (2007).

Visando analisar os casos críticos, buscaram-se apenas valores máximos para os esforços avaliados.

## MODELOS DE DESEMPENHO

Os dois principais defeitos presente em rodovias brasileiras, segundo Medina e Motta (2015), são deformações por fadiga e deformação permanente, ambos defeitos afetam a capacidade de rolagem de uma rodovia a tornando menos segura. Os modelos de desempenho são equações matemáticas que simulam um dano a um pavimento buscando prever o desempenho do mesmo.

### TRINCAMENTO POR FADIGA

Segundo Pinto (1991) fadiga é um processo de deterioração a que está sujeito um material ao ser submetido a tensões e deformações repetidas, resultando em trincas após certas repetições.

O modelo proposto pela Federal Highway Administration (FHWA) foi obtido através de dados experimentais e relaciona a deformação de tração com o N da seguinte forma:

$$N_f = 1,092 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{\epsilon_t}{\epsilon_t^*} \right)^{3,512} \quad (3)$$

No qual  $N_a$  é o valor de solicitações que levariam o pavimento a ruína por fadiga e  $\epsilon_t^*$  é a deformação de tração.

### DEFORMAÇÃO PERMANENTE

Segundo o DNIT (2003) a deformação permanente é caracterizada pelos afundamentos ao longo da trilha da roda, sendo notável uma depressão na superfície do pavimento, sendo causadas por deformações de compressão.

Cálculo do N para deformação permanente Asphalt Institute Design Method (AIDM):

$$N_{atr} = 1,365 \cdot 10^9 \cdot C_{4,477} \quad (4)$$

De modo que  $N_{atr}$  é o valor de solicitações que levariam o pavimento a ruína por afundamento de trilho de roda  $C$  é deformação de compressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os valores obtidos no software foi possível traçar gráficos com as respostas dos pavimentos durante atuação de um eixo padrão e comparar a influência do revestimento, bem como a forma que o pavimento responderia segundo as especificações do DNIT (todo o pavimento a 25°C).

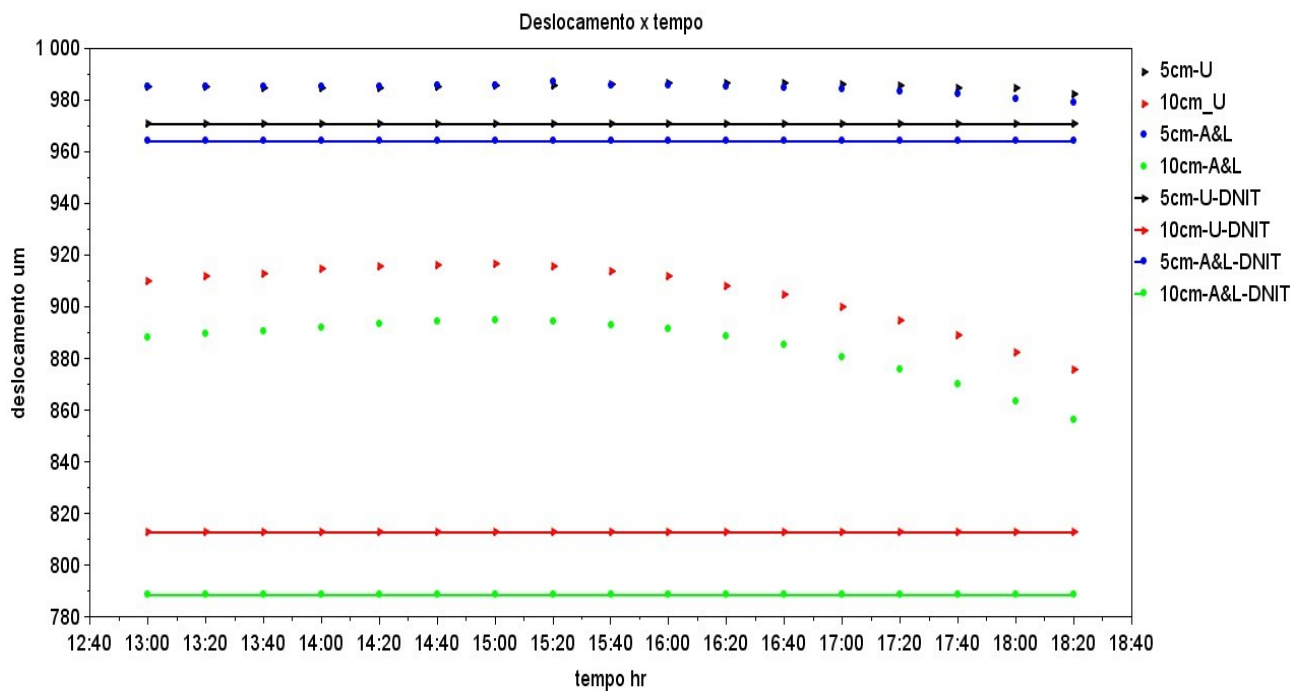


Figura 3: Deflexão (µm) x tempo.  
Fonte: Autores (2017)

No gráfico da Figura 3 pode-se analisar a deflexão, nota-se que dentre os dois tipos de revestimentos em questão o mais espesso sofre uma menor deflexão, percebe-se também que o modelo do DNIT subestima tal situação para todos os casos.

Percebe-se um comportamento parecido para ambos os modelos, porem o modelo proposto por Ali & Lopez nos traz valores de deslocamentos menores para as temperaturas em deste período.

Para o período em questão os maiores deslocamentos foram medidos no entorno das 15 horas para ambos os modelos e ambos os pavimentos, sendo que o pavimento de revestimento de 5 cm apresentou deformações quase que lineares.

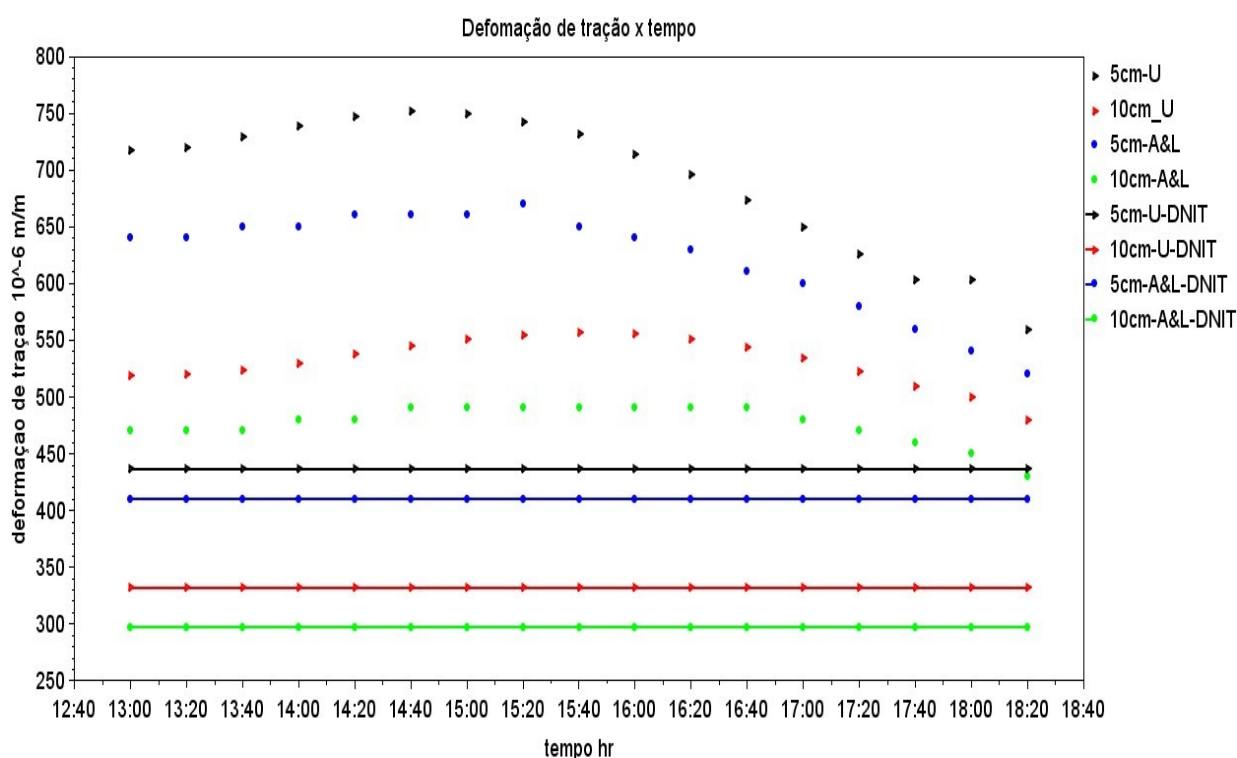


Figura 4: Deformação de tração microstrain ( $\mu\text{s}$ ) x tempo.

Fonte: Autores (2017)

Quanto à deformação de tração, Figura 4, percebe-se que um revestimento maior responde melhor a tal deformação, sabendo que maiores deformações representam esforços mais severos repassados ao pavimento pelo eixo comercial, através da superfície do pavimento pode-se perceber que assumir que todo o pavimento se encontra a uma temperatura de  $25^{\circ}\text{C}$  novamente não representa os casos mais críticos, este parâmetro é válido para ambos os modelos.

Para esta deformação no pavimento de revestimento de 5 cm a maior deformação aparece aproximadamente as 15 horas, para os dois modelos, já para o de 10 e 15 cm fica aproximadamente pelas 16 horas, para ambos.



Novamente percebemos um comportamento semelhante para os dois modelos em questão, contudo o modelo proposto por Ullidtz apresenta valores mais elevados.

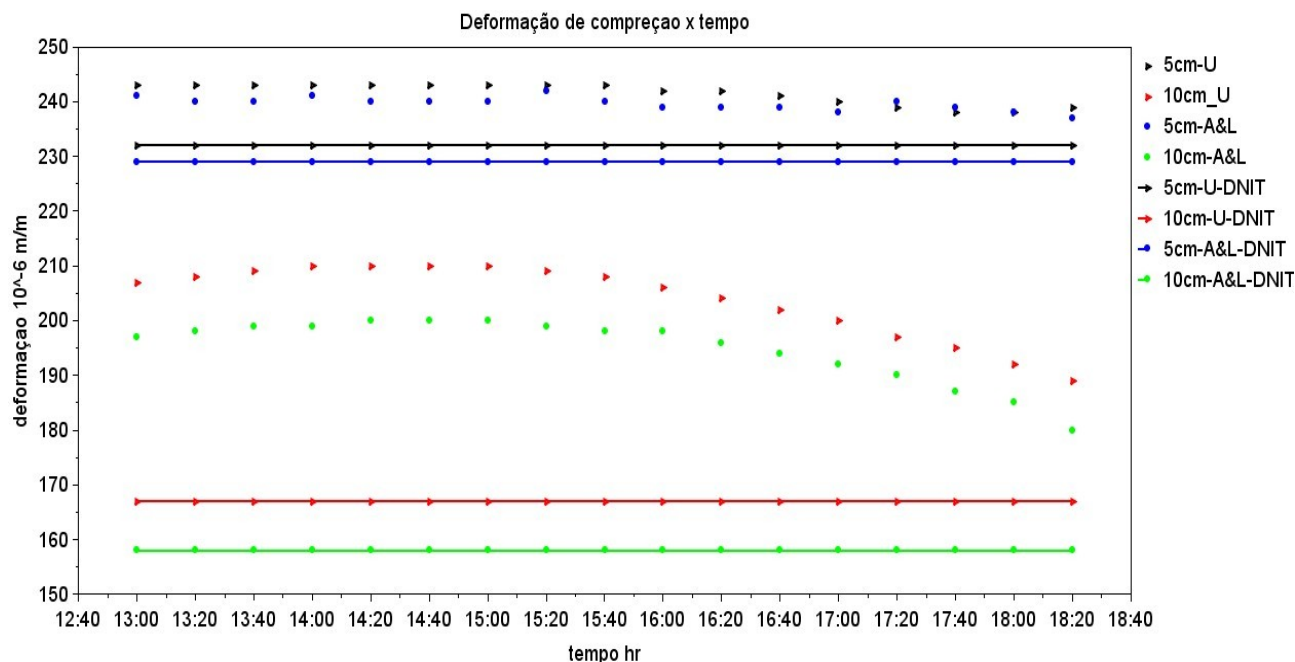


Figura 5: Deformação de compressão microstrain (µs) x tempo.

Fonte: Autores (2017)

Quanto à deformação de compressão novamente percebemos valores maiores sobre o pavimento mais delgado, para ambos os modelos, de modo que os esforços passados ao mesmo pelo eixo comercial são mais intensos.

Em relação a tal deformação apresentou-se picos entre as 14 e as 15 horas e novamente o pavimento com revestimento de 5 cm mostrou deter um comportamento muito próximo do linear.

As constatações referentes a aos modelos no gráficos acima se repetem para este tipo de deformação.

Quanto ao  $N_f$  e ao  $N_{atr}$  calculados para tais períodos pegou-se o menor valor para tais números de modo a obter-se o horário crítico em que o pavimento estaria mais vulnerável a as deformações referentes a cada número de solicitações, para os horários em análise.

**Tabela 1-  $N_f$  e  $N_{atr}$  (Valores de Solicitações)**

$N_f$		$N_{atr}$	
$1,02081 \times 10^5$	5cm (U) – 14:40	$2,0738310 \times 10^7$	5cm (U) – 13:00
$6,86834 \times 10^5$	25°C	$2,5517783 \times 10^7$	25°C
$2,92940 \times 10^5$	10cm (U) – 15:40	$3,9861797 \times 10^7$	10cm (U) – 14:00
$1,802958 \times 10^6$	25°C	$1,11181111 \times 10^8$	25°C
$1,61430 \times 10^5$	5cm (A&L) – 14:40	$2,1520004 \times 10^7$	5cm (A&L) – 13:00
$2,7048874 \times 10^7$	25°C	$2,7048874 \times 10^7$	25°C
$4,594667 \times 10^5$	10cm (A&L) – 15:40	$4,9593112 \times 10^7$	10cm (A&L) – 14:40
$2,666257 \times 10^6$	25°C	$1,42 \times 10^8$	25°C

Fonte: Autores (2017)

Assim para a espessura de 5 cm e 10 cm os menores valores de solicitações que levariam o pavimento a ruína por fadiga surgiram as 14:40 e 15:40 horas respectivamente, referentes a ambos modelos, porém observou-se que para o modelo de Ali & Lopez este número de repetições se repetiam para os horários vizinhos (14:20-15:0 e 15:20-16:00), já para o fundamento de trilha de roda os menores valores de solicitações surgiram as 13:00 (para ambos), as 14:00 para Ullidtz e as 14:40 para Ali & Lopez (sendo observado a mesma constância para horários vizinhos), novamente percebemos a importância da espessura do revestimento.

Comparando estes valores obtidos com a variação da temperatura através de um pavimento com os valores estimados quando se considera o mesmo a uma temperatura fixa de 25°C nota-se uma diferença em tais valores para os dois modelos estudados.

## CONCLUSÕES

Conhecendo as condições climáticas a que um pavimento está submetido, podem-se estimar os esforços e respostas que o mesmo sofrerá ao lhe ser imposto uma força, visto que sua rigidez está intimamente atrelada a temperatura a que se encontra tal estrutura, devido as características térmicas da mesma. Logo o módulo de resiliência pode ser expresso como função da temperatura por diferentes modelos.

Percebe-se uma relação entre a espessura do revestimento e as respostas a ações de uma carga, sendo que para revestimentos mais robustos as forças decorrentes de tais ações em sua superfície se tornam mais amenas, dessa forma prolongando a vida útil do pavimento de acordo com os modelos de desempenho anteriormente listados.

A partir deste estudo pode-se notar que existem influências nos esforços e na previsão da vida útil do pavimento, de acordo com os mecanismos de ruptura avaliados, considerando a variação da temperatura na camada do revestimento asfáltico. Demonstrando assim que existe necessidade de serem avaliados estes parâmetros corretamente em cada ponto em que a rodovia será solicitada pelo carregamento.

Observou-se que os dois modelos apresentavam um comportamento semelhante para os casos em questão, porém o modelo proposto por Ali & Lopez apresenta valores inferiores aos de Ullidtz.

## REFERÊNCIAS

Alkasawneh, Wael, Pan, Ernian, Han, Feng, Zhu, Ronghua and Green, Roger (2007), **Effect of temperature variation on pavement responses using 3D multilayered elastic analysis**, *International Journal of Pavement Engineering*, 8:3, 203 — 212.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.558p.

BLASS, L. **Modelagem Matemática de Respostas Estruturais em Pavimentos Flexíveis Considerando a Variação Sazonal de Temperatura**. Ijuí 2011.

FRANCO, F.A.C.P. **Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos - SISPAV**. Tese de Doutorado.COPPE/ UFRJ –

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.



Hibbeler, Russell Charles. **Resistência dos materiais 7. ed.** - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.

Ribas, J. **Parâmetros elásticos típicos de materiais de pavimentos flexíveis do Rio Grande do Sul e sua aplicação em uma análise de custo/benefício.** Santa Maria, 2014.

MEDINA, J. MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos.** 2 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

PINTO, S. **Estudo do Comportamento a Fadiga de Misturas. Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos.** Rio de Janeiro, 1991. **SITE OFICIAL DO DNIT**, disponível em <http://www.dnit.gov.br/>. Acessado em 20 de maio de 2017.