

19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

# INFLUÊNCIA DA SELEÇÃO DOS PONTOS DE ANÁLISE NO SEMIEIXO PADRÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS PELO MÉTODO MECANÍSTICO-EMPÍRICO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Luis Roberto Rudolf Zandroski Junior<sup>1</sup>*

### RESUMO

Com o aumento da demanda da infraestrutura brasileira, a engenharia de pavimentação tem realizado avanços importantes em pesquisas técnicas e tecnológicas. No entanto, ainda é comum encontrar simplificações nos dimensionamentos de pavimentos rodoviários, o que pode prejudicar o desempenho das estruturas. Através dos softwares ELSYM 5 e AEMC, e uma estrutura de pavimento pré-determinada, foi possível analisar o comportamento das tensões e deformações influenciadas pelos carregamentos, de maneira isolada e simultânea, do Semieixo padrão do DNIT, com carga por roda igual a 2.050 kgf e distância entre as rodas de 32,4 cm e 28,8 cm. Com isso, é possível observar o fenômeno físico de superposição de ondas, que influencia no comportamento da estrutura dimensionada. Baseado nos modelos matemáticos consagrados na pavimentação, observou-se que as maiores deflexões no topo do revestimento e deformações específicas de tração (Eixo Y) na fibra inferior do revestimento estão localizadas entre o ponto de aplicação de carga e o ponto médio entre as rodas, e as maiores deformações específicas de tração (Eixo X) na fibra inferior do revestimento e deformação específica de compressão no topo do subleito estão localizadas no ponto de aplicação de carga e no ponto médio entre as rodas. Sendo assim, a simplificação dos pontos de análise da estrutura do pavimento pode estar prejudicando a elaboração de um dimensionamento de pavimento mais preciso.

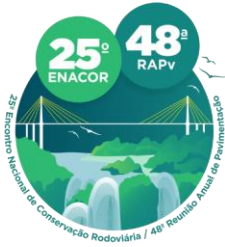
**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento de pavimento; Pavimentação; Pontos de análise; Mecanístico-empírico; Superposição.

### ABSTRACT

With the increasing demand for Brazilian infrastructure, pavement engineering has been making significant advances in technical and technological research. However, it is still common to find simplifications in the design of road pavements, which can impair the performance of the structures. Through the ELSYM 5 and AEMC software, and a predetermined pavement structure, it was possible to analyze the behavior of stresses and deformations influenced by loads, both individually and simultaneously, from the standard axle of DNIT, with a wheel load of 2,050 kgf and a distance between wheels of 32.4 cm and 28.8 cm. As a result, it is possible to observe the physical phenomenon of wave superposition, which influences the behavior of the designed structure. Based on established mathematical models in pavement engineering, it was observed that the greatest deflections on the surface of the pavement and specific tensile deformations (Y-axis) in the lower fiber of the pavement are located between the point of load application and the midpoint between the wheels. Additionally, the greatest specific tensile deformations (X-axis) in the lower fiber of the pavement and specific compressive deformation at the top of the subgrade are located at the point of load application and the midpoint between the wheels. In conclusion, the simplification of analysis points in pavement structure may impair the development of more accurate pavement design.

**KEY WORDS:** Pavement design; Paving; Analysis points; Mechanistic-empirical; Superposition.

<sup>1</sup> Consórcio Supervisor Strata-Proes, lotada no Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, e-mail: [luisjunior@der.pr.gov.br](mailto:luisjunior@der.pr.gov.br)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

As obras de infraestrutura viária, mais especificamente na área de pavimentação rodoviária, são alvo de estudos e observações ao longo de muitos anos, utilizando-se de metodologias empíricas através de pistas testes e de raciocínio lógicos para a formulações de normas e procedimentos que se tornaram, posteriormente com inúmeras atualizações, a Engenharia Rodoviária Brasileira (DNIT, 2006).

O aumento de pesquisas na área de pavimentação, aliadas com o desenvolvimento de tecnologias acarretou o crescimento da demanda de construção de rodovias, assim como suas restaurações, se tornando o principal modal de transporte de cargas no Brasil. (DNIT, 2006).

Nos dimensionamentos dos pavimentos rodoviários brasileiros ainda é muito utilizado o método empírico desenvolvido pelo DNER, ou até mesmo pelo método da TECNAPAV. Porém, o método empírico ainda apresenta deficiências por não considerar manifestações patológicas de trincamento por fadiga do pavimento, priorizando a proteção do subleito. Com isso, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) recomenda a utilização de análise mecanístico-empírico dos materiais com auxílio de softwares e modelos matemáticos que busca verificar a durabilidade das estruturas dimensionadas. Grande parte dos projetistas utilizam a metodologia mecanístico-empírico dos pavimentos para validação do pavimento, ou até mesmo acrescentando espessuras nas estruturas dimensionadas inicialmente pelo método do DNER, TECNAPAV ou AASHTO/93, utilizadas como referência de pré-dimensionamento.

Nos softwares desenvolvidos cabe ao projetista imputar dados de entrada baseados em referências bibliográficas, podendo ser também através de ensaios de laboratório, ou até mesmo utilizar equações de correlações.

Porém, há falta de padronizações normativas nos dimensionamentos pelo método mecanístico-empírico, como por exemplo o espaçamento entre os pneus do semieixo padrão, pressão dos pneus, raios de aplicação de carga e o assunto alvo desse estudo, a localização dos pontos de análise do pavimento.

A simplificação na localização dos pontos de análise acaba ignorando certos efeitos das cargas na estrutura do pavimento, podendo influenciar no seu comportamento, a exemplo a sobreposição de cargas que pode aumentar as tensões e deformações entre o meio das aplicações de carga e o ponto de carga. Geralmente são analisados pelos projetistas os pontos de aplicação de carga e no ponto médio das aplicações de carga.

Portanto, este trabalho irá contribuir para o ambiente dos dimensionamentos dos pavimentos asfálticos, aplicando uma maior distribuição de pontos de análise entre os pneus do semieixo padrão do DNIT.

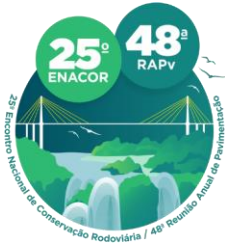
## OBJETIVO

Demonstrar que as maiores tensões e deformações decorrentes da aplicação de carga de um semieixo padrão de 8,2 toneladas não se encontram apenas no ponto onde a carga é aplicada nem no ponto central entre as cargas. Mostrando a necessidade de analisar toda a área de influência que as cargas exercem sobre a estrutura do pavimento asfáltico.

## REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### Software Elsym 5

Para verificação mecanístico-empírico de pavimento pode ser utilizado o programa computacional ELSYM 5 (Elastic Layered System), o qual permite a obtenção de respostas elásticas, em um espaço de três dimensões, em estruturas de pavimento com camadas múltiplas, com limite de 5 camadas,



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



com propriedades isotrópicas, homogêneas e uniformes sob a ação de carregamentos formados por áreas de contato circulares, podendo admitir até 10 cargas, e até cem pontos de análises (10 pares no eixo x-y em 10 profundidades no eixo x) (Ferreira, 2007; SENÇO, 2007).

O ELSYM 5 foi desenvolvido segundo a formulação matemática da teoria da elasticidade desenvolvida por Burmister para meios semi-infinitos estratificados pela University of California at Berkeley, modificado pela SRA Technologies e finalizado pela Federal Highway Administration. Utiliza modelagem elástico-linear (módulos resilientes constantes e independentes do estado tensional) e o procedimento de cálculo é o do método das diferenças finitas (Ferreira, 2007; SENÇO, 2007; MEDINA, 2015).

Para a realização dos cálculos o software necessita de alguns dados de entrada: Módulo de Resiliência, Coeficiente de Poisson, Espessura das camadas, Carga aplicada, área de aplicação da carga, localização dos pontos de aplicação de carga e localização das respostas elásticas. Com esses dados o programa determina os diversos componentes das deformações, tensões e deslocamentos nos pontos previamente solicitados (SENÇO, 2007).

### Software AEMC

O software AEMC é um programa computacional, desenvolvido por Felipe Augusto Cinque de Proença Franco da COPPE/UFRJ, em parceria com o DNIT, para análise de camadas elásticas lineares em sistemas de multicamadas e contínuos que utiliza a integração de Gauss-Laguerre nos cálculos das equações gerais. O programa realiza a análise de pavimentos com até 8 camadas, com vantagens de combinar carregamentos com mais de uma roda, por meio do princípio físico da superposição de cargas, sendo possível obter os resultados de tensões, deformações e deslocamentos sem a necessidade de dividir o meio contínuo em elementos finitos (FRANCO e MOTTA, 2020).

### Carregamento do Eixo Padrão Rodoviário

Para a análises dos dimensionamentos empíricos e mecanístico-empírico é utilizado uma conversão do tráfego misto em um número equivalente de atuação de um eixo considerado como padrão aplicando Fatores de Equivalência de Cargas (FC), permitindo assim converter a variedade de aplicações de carga dos eixos comerciais em um número equivalente de aplicações do eixo-padrão (DNIT, 2006).

Logo o Manual de Utilização do programa MeDiNa, desenvolvido pela COPPE/UFRJ para o IPR/DNIT, padronizou os dados de entrada do eixo-padrão sendo: configurado como Eixo Simples de Rodagem Dupla (SRD); Carga do eixo de 8,2 toneladas força; Carga por Pneu de 2.050 kgf; Pressão de Pneus igual a 0,56 MPa; Raio da área de contato com o pavimento de 10,79 cm; e Distância entre rodas igual a 32,4 cm, conforme é apresentado na Figura 1 (FRANCO e MOTTA, 2020).



#### Dados do eixo padrão

Carga de Eixo: 8,2 tonf

Pressão de Pneus: 0,56 MPa

Raio da área de contato: 10,79 cm

Distância entre rodas: 32,4cm

Figura 1: Configuração do Eixo-padrão segundo o Manual de Utilização do programa MeDiNa (FRANCO e MOTTA, 2020)



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Porém, são encontrados na literatura e especificações técnicas de empresas montadoras de veículos comerciais diferentes medidas da distância entre as Rodas do Semieixo padrão. A exemplo, nas Diretrizes para dimensionamento para Pavimento Flexível, da concessionária ARTERIS, que adota a distância entre as rodas igual a 28,8 cm, conforme é apresentado na Figura 2 (ARTERIS, 2019).

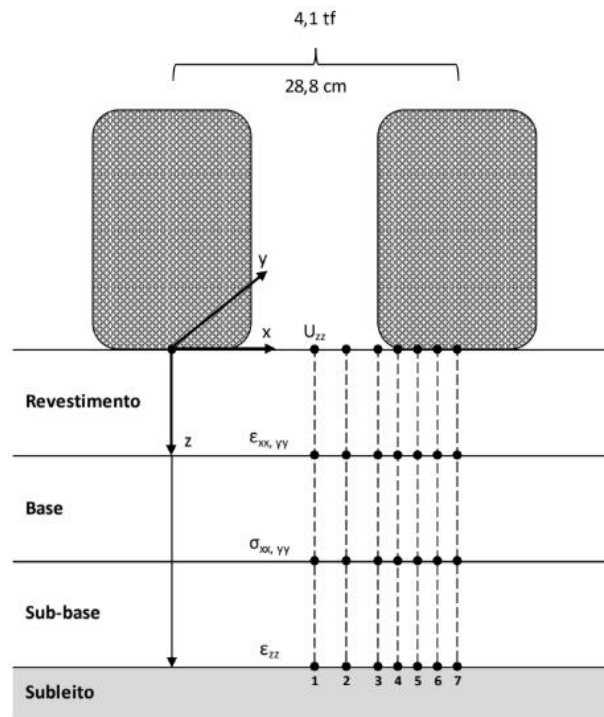


Figura 2: Configuração do Eixo-padrão segundo Concessionária de Rodovias ARTERIS (ARTERIS, 2019)

### Parâmetros e Modelos Matemáticos da Análise Mecânico-empírico

Para a análise mecânico-empírico das estruturas do pavimento é necessário apresentar Módulos de Resiliência (MR) e Coeficiente de *Poisson* que podem ser obtidos através de ensaios de laboratório (Ensaio Triaxial), através de equações de correlações e na literatura. É comum nas análises mecânico-empírico a utilização de dados da Literatura tendo em vista a escassa oferta de ensaios para determinação do MR.

Uma das literaturas mais usuais entre os projetistas é a Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP, na qual através de inúmeros ensaios, em diversos materiais, foi possível prever intervalos de valores de Módulos de Resiliência, assim como de Coeficiente de *Poisson*. A Tabela 1 apresenta os valores usuais de Coeficiente de *Poisson* e a Tabela 2 apresenta os Intervalos de Módulos de Resiliência para os materiais.

Tabela 1: Valores de Coeficiente de *Poisson* dos Materiais (DER/SP, 2006)

MATERIAL	INTERVALO DE VALORES DE COEFICIENTE DE <i>POISSON</i>	VALOR RECOMENDADO DE COEFICIENTE DE <i>POISSON</i>
Concreto de cimento Portland	0,10 - 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 - 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 - 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 - 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 - 0,50	0,40



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 2: Valores de Módulo de Resiliência dos Materiais (DER/SP, 2006)

MATERIAL	INTERVALOS DE VALORES DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MPa)
Concretos Asfálticos:	
- Revestimento (CAP 50-70)	2.000 - 5.000
- Revestimento (CAP 30-45)	2.500 - 4.500
- Binder (CAP 50-70)	2.000 - 3.000
- Binder (CAP 30-45)	2.500 - 4.000
Materiais granulares	
- brita graduada	150 - 300
- macadame hidráulico	250 - 450
Materiais estabilizados quimicamente	
- solo-cimento	5.000 - 10.000
- brita graduada tratada com cimento	7.000 - 18.000
- concreto compactado com rolo	7.000 - 22.000
Concreto de cimento <i>Portland</i>	30.000 - 35.000
Solos finos em base e sub-base	150 - 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito	
- solos de comportamento laterítico LA, LA', LG'	100 - 200
- solos de comportamento não laterítico	25 - 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 - 400
Concreto de cimento <i>Portland</i>	28.000 - 45.000

Para a análise mecanístico-empírica da estrutura de pavimento são utilizados modelos matemáticos experimentais que avaliam a qualidade e o desempenho dos materiais a serem empregados no pavimento, com isso é importante ter conhecimento de diversos modelos publicados na literatura, assim como conhecer suas vantagens e limitações, a fim de compreender como e quais as condições foram obtidas as equações (DER/SP, 2006).

Esses modelos buscam verificar pontualmente a fadiga das camadas de Revestimento, Base ou Sub-bases cimentadas e o Subleito, verificando as seguintes premissas:

- Deslocamento vertical de contração recuperável (Deflexão) no Topo do Revestimento;
- Deformação específica de Tração ( $\epsilon_t$ ) de extensão na fibra inferior da camada do revestimento;
- Tensões de tração ( $\sigma_t$ ) de extensão na fibra inferior da camada cimentada; e
- Deformação específica de Compressão ( $\epsilon_v$ ) de contração no Topo do Subleito.

Ressalta-se que em estruturas com elevadas espessuras de revestimento de misturas asfálticas e crescente aumento das cargas rodoviárias, tem se considerado análises de tensões de cisalhamento que dão origem a deformações de contração. Resultando em trincamentos precoce no topo da camada de revestimento, propagando-se em direção das camadas inferiores, denominado de *top-down cracking* (PACHECO, 2014), porém essa análise não será alvo do estudo deste trabalho.

## DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do estudo, partiu-se de uma estrutura de pavimento já dimensionada com camadas de 8 cm de Revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), 15 cm de Base em Brita Graduada Simples (BGS), 40 cm de Sub-base em Saibro e CBR do Subleito igual a 10,0%. A Tabela 3 apresenta os valores de Módulo de Resiliência e Coeficiente de *Poisson* através das premissas do DER/SP e equações de correlação.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 3: Módulos de resiliência e Coeficiente de Poisson da Estrutura do Pavimento (Adaptado DER/SP, 2006)

Camada	Material	Módulo de Resiliência		Coeficiente de Poisson
		kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	
Revestimento	CAUQ	30.000	3.000	0,30
Base	BGS	2.500	250	0,35
Sub-base	Saibro	2.000	200	0,35
Subleito	CBR = 10%	1.000	100	0,40

Para a análise mecanístico-empírico, com auxílio do software ELSYM 5, foi adotado o Semieixo padrão do Manual de Utilização do programa MeDiNa, do DNIT, com distância entre as rodas de 32,4 cm. Considerado o ponto médio entre as rodas do semieixo (16,2 cm) como 100%, a Tabela 4 apresenta os pontos de análise no plano X-Y em função da porcentagem e a Figura 3 demonstra a posição dos pontos de análise em relação ao semieixo de 32,4 cm no Eixo X.

Tabela 4: Pontos de Análise no plano X-Y (AUTOR, 2023)

PONTO	%	EIXO X (cm)	EIXO Y (cm)
1	100,0%	16,200	0,000
2	112,5%	18,225	0,000
3	125,0%	20,250	0,000
4	143,8%	23,296	0,000
5	162,5%	26,325	0,000
6	181,3%	29,371	0,000
7	200,0%	32,400	0,000
8	218,8%	35,446	0,000
9	237,5%	38,475	0,000
10	256,3%	41,521	0,000

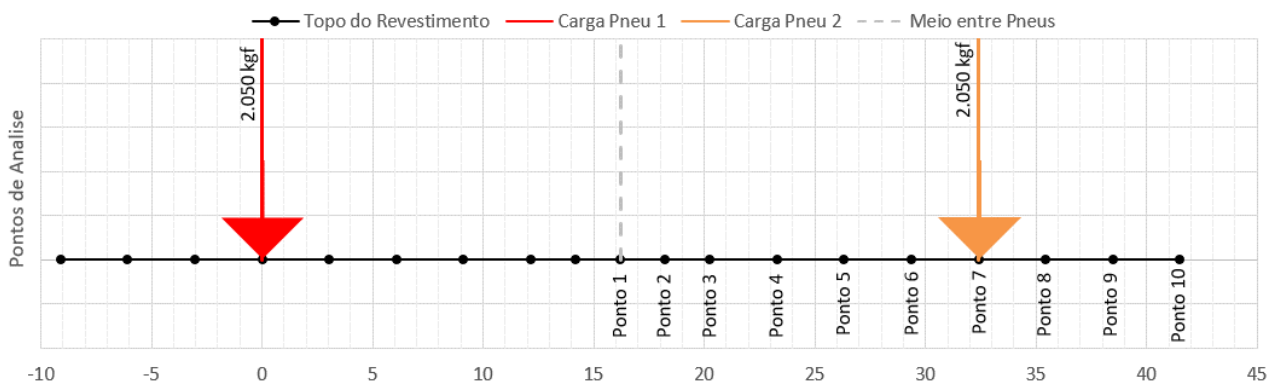


Figura 3: Posição dos Pontos de Análise em relação ao semieixo de 32,4 cm (AUTOR, 2023)

Inserindo os dados no Software ELSYM 5, características dos materiais, carregamentos do semieixo padrão de 32,4 cm, pontos de análises do plano X-Y informados na Tabela 4 e nas profundidades 0,00 cm, 7,99 cm e 63,01 cm na direção do Eixo Z. Posteriormente é executada a análise da estrutura do pavimento, resultando nas tensões e deformações como dados de saída, que são introduzidos na Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

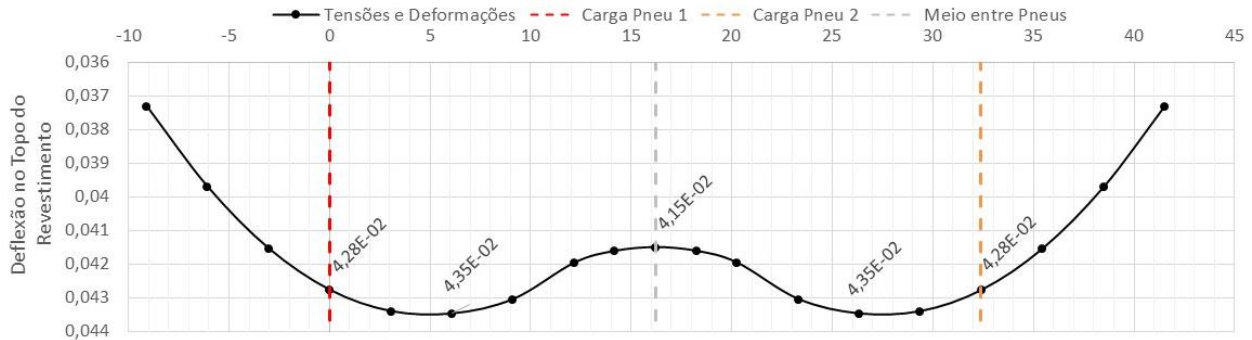


Figura 4: Deflexão no topo do revestimento (Z= 0,00 cm) com semieixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

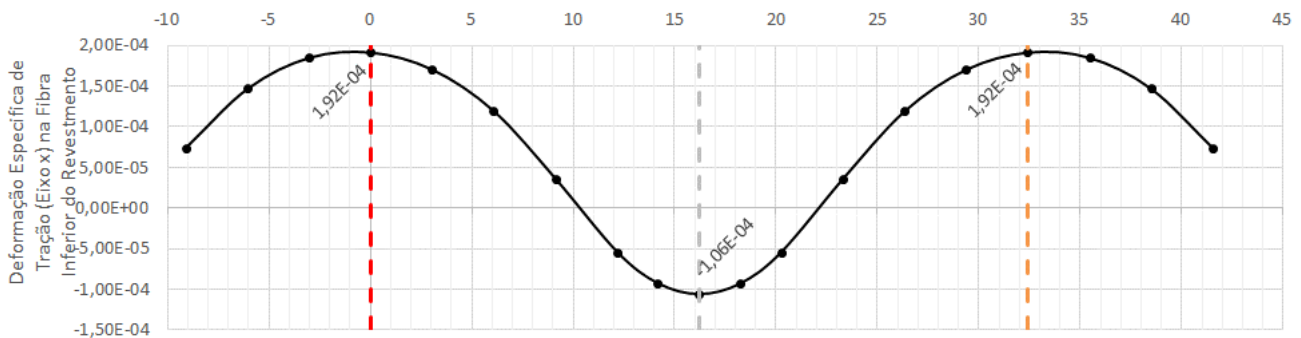


Figura 5: Deformação Específica de Tração (extensão) (Eixo X) na Fibra inferior do Revestimento (Z= 7,99 cm) com semieixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

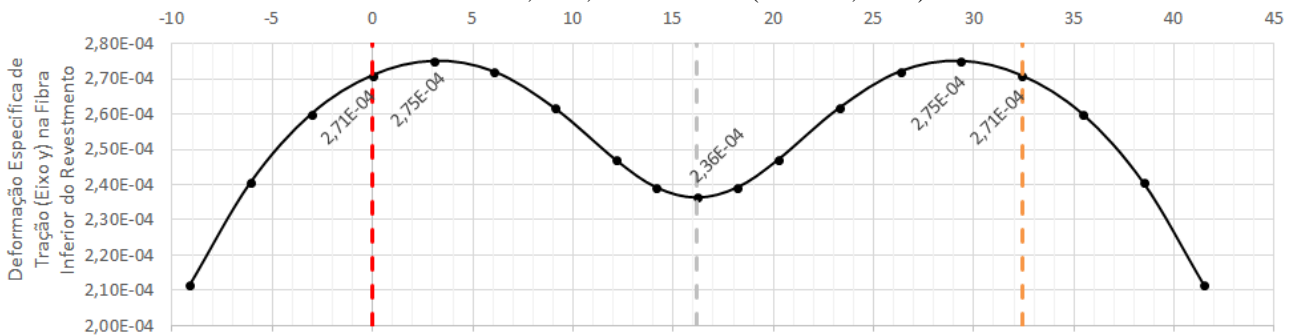


Figura 6: Deformação Específica de Tração (extensão) (Eixo Y) na Fibra inferior do Revestimento (Z= 7,99 cm) com semieixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

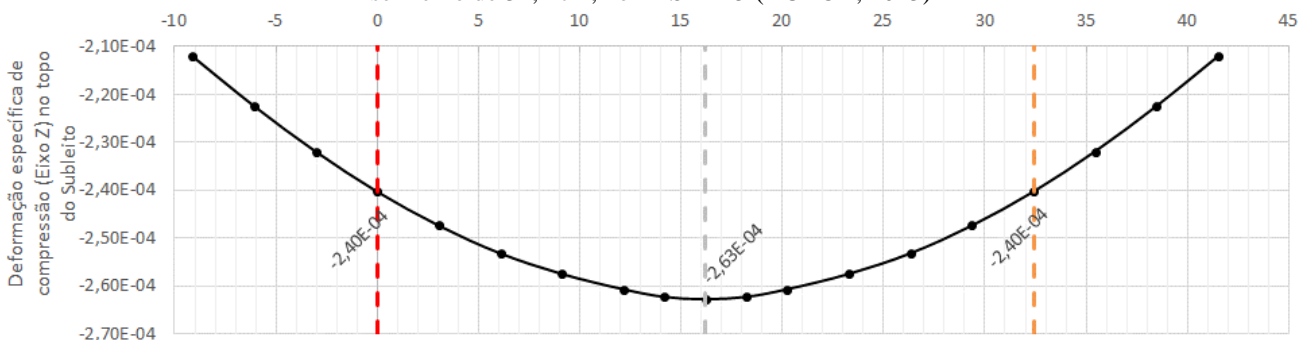
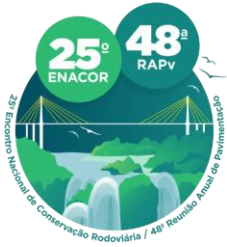


Figura 7: Deformação Específica de Compressão (contração) (Eixo Z) no Topo do Subleito (Z= 63,01 cm) com semieixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

É possível notar na Figura 5 e Figura 7 que as maiores deformações específicas na fibra inferior (Eixo X) do revestimento e no topo do subleito, respectivamente, estão no ponto de aplicação de carga ou



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br



no ponto médio entre as rodas. Porém, na Figura 4 e Figura 6 há um deslocamento no ponto com maior deformação no topo do revestimento e na deformação específica na fibra inferior (Eixo Y) do revestimento, respectivamente, estando próximos do Ponto 5 e Ponto 6.

Esse fenômeno é chamado pela Física de “Superposição de Ondas”, na qual a perturbação da onda A1 se encontra com parte da perturbação de outra onda A2, resultando na aditividade das ondas.

Trazendo o fenômeno de “Superposição de ondas” para o dimensionamento de pavimento, utilizando a deflexão no Topo do Revestimento como exemplo, aplicado a carga de 2.050 kgf de maneira isolada no Pneu 1 ocorrerá o mesmo comportamento de deformação, quando aplicado a carga de 2.050 kgf de maneira isolada do Pneu 2, porém os locais de aplicação se diferem. Aplicando simultaneamente os carregamentos ocorre a superposição de deformações que se somam resultando na deformação no Semieixo padrão. A Figura 8 apresenta em vermelho a deformação resultante devido a aplicação de carga isolada do Pneu 1, em laranja apresenta a deformação resultante devido a aplicação de carga isolada do Pneu 2 e em preto é apresentado a deformação resultante devido a superposição de cargas do Pneu 1 e Pneu 2.

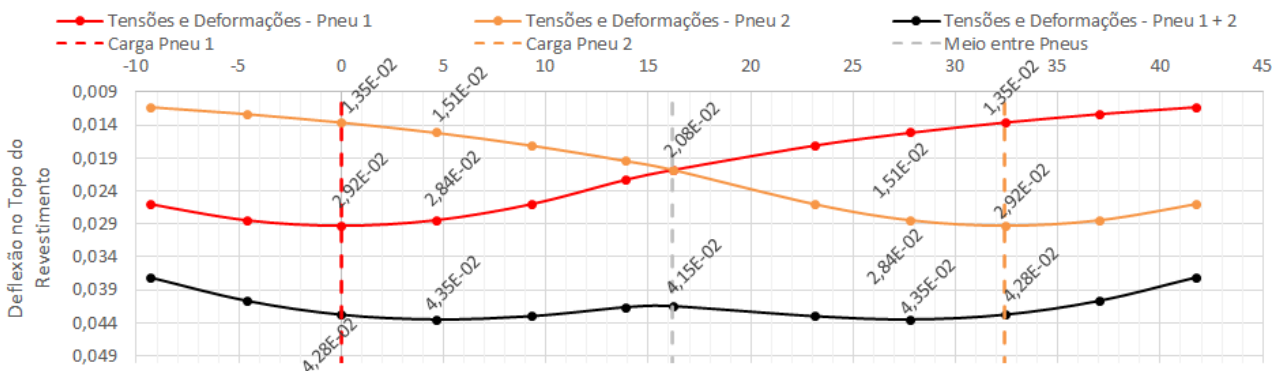


Figura 8: Comparação das deflexões no Topo do revestimento em função do momento da aplicação das cargas do eixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

Analisando o comportamento das curvas de deflexão no topo do revestimento da Figura 8 é notado o deslocamento do ponto de maior deflexão quando aplicadas as cargas simultaneamente devido a superposição de ondas, em comparação das curvas com a aplicação das cargas isoladas, que indicaram as maiores deflexões nos pontos de aplicação da carga.

A seguir são apresentados a Figura 9, Figura 10 e Figura 11, que demonstram a deformação específica de tração (Eixo X e Y) na fibra inferior do revestimento e da deformação específica de compressão (Eixo Z) no Topo do Subleito, respectivamente, com aplicações de cargas isoladas (Pneu 1 e Pneu 2) e aplicação simultânea das cargas.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

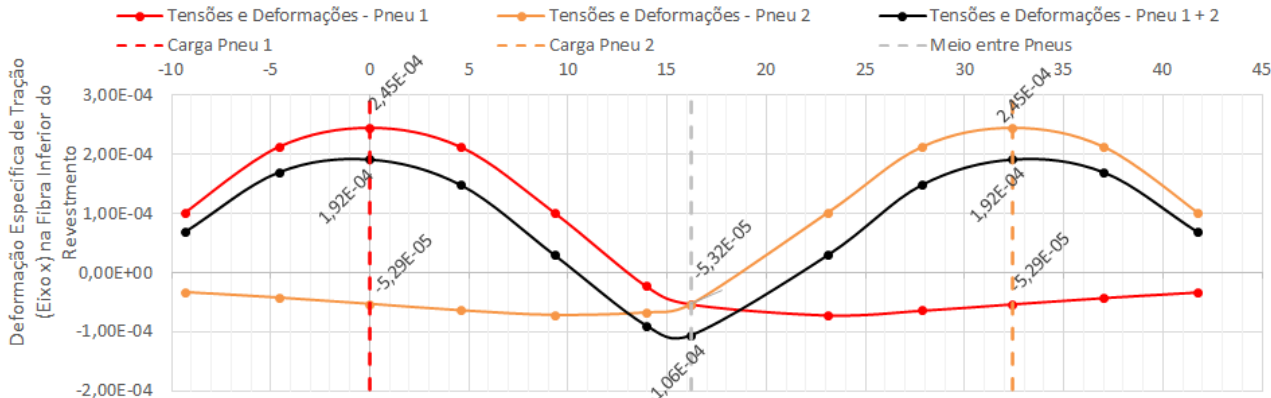


Figura 9: Comparação das Deformações Específicas de Tração na Fibra Inferior (Eixo X) do revestimento em função do momento da aplicação das cargas do eixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

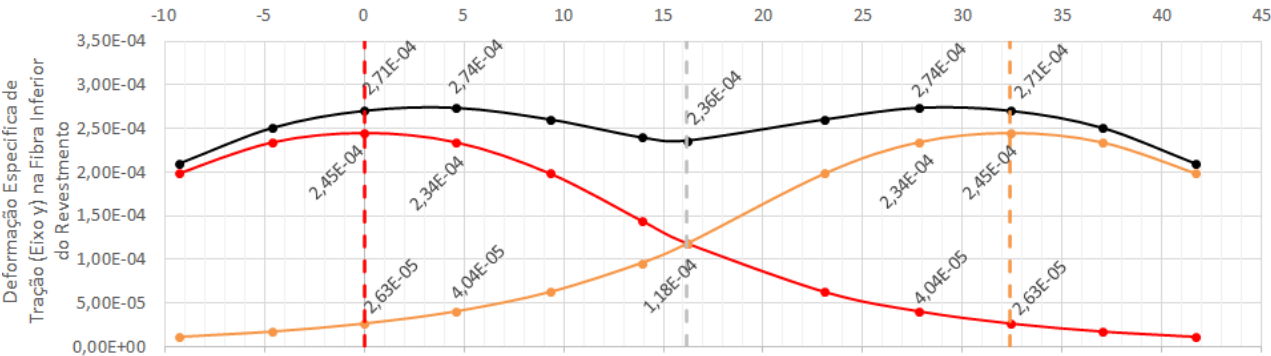


Figura 10: Comparação das Deformações Específicas de Tração na Fibra Inferior (Eixo Y) do revestimento em função do momento da aplicação das cargas do eixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

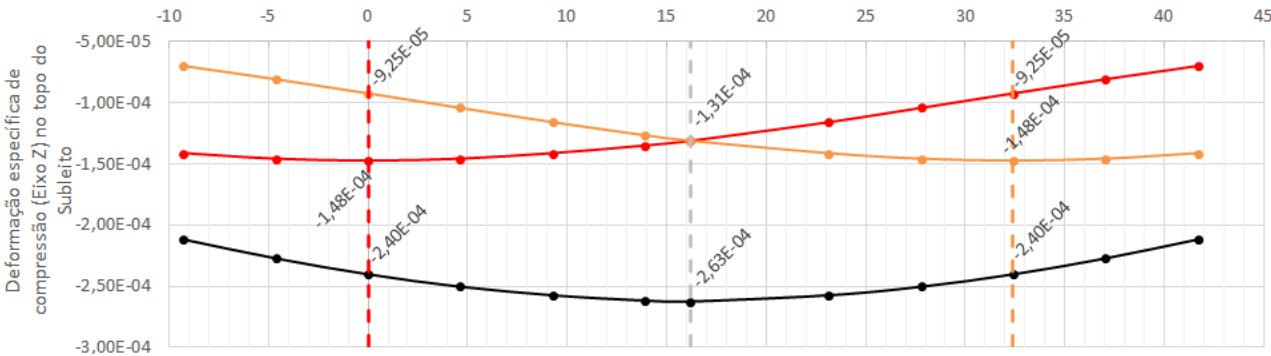
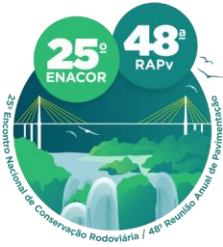


Figura 11: Comparação das Deformações Específicas de Compressão no Topo do Subleito (Eixo Z) em função do momento da aplicação das cargas do eixo de 32,4 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

É possível verificar na Figura 10 o mesmo comportamento informado anteriormente sobre a Figura 8, ocorrendo o deslocamento do ponto de maior deformação específica de Tração (Eixo Y) na fibra inferior do revestimento quando aplicadas as cargas simultaneamente, diferente de quando aplicado as cargas de maneira isolada, que indicaram as maiores deformações específicas nos pontos de aplicação da carga.

Ao realizar a análise da mesma estrutura do pavimento, porém com dimensões entre os pneus do semieixo de 28,8 cm, obtém-se as mesmas conclusões em relação do semieixo de 32,4 cm. Na sequência a Figura 12, Figura 13, Figura 14 e Figura 15 demonstram a nova simulação.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

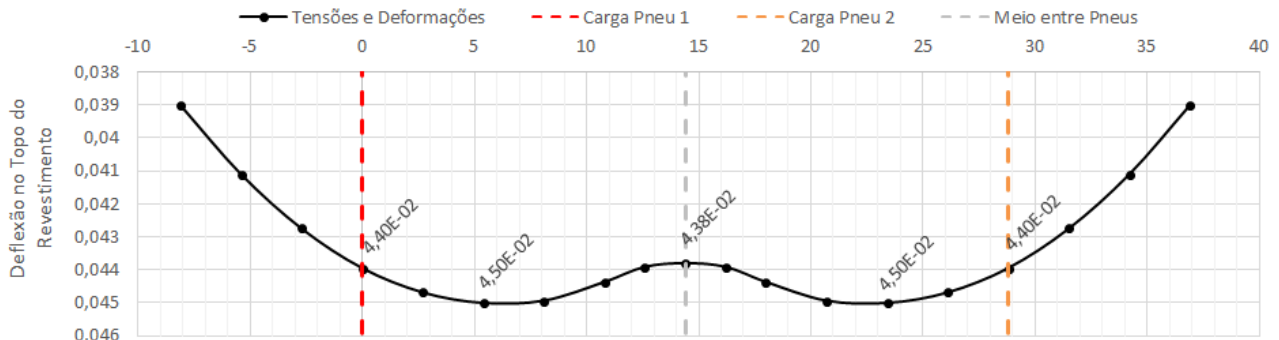


Figura 12: Deflexão no topo do revestimento ( $Z= 0,00$  cm) com semieixo de 28,8 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

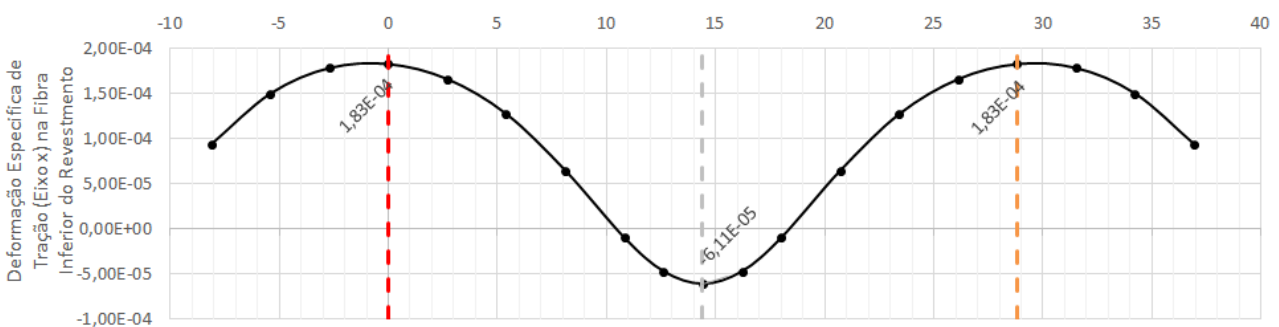


Figura 13: Deformação Específica de Tração (Eixo X) na Fibra inferior do Revestimento de 28,8 cm no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

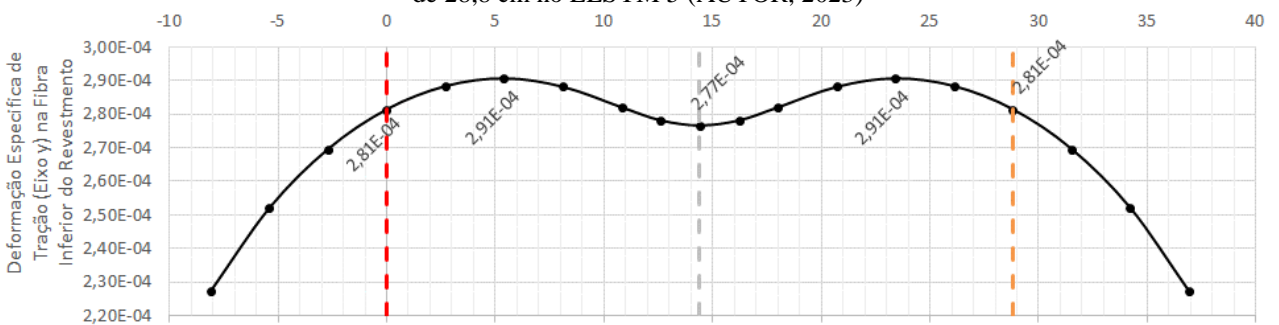


Figura 14: Deformação Específica de Tração (Eixo Y) na Fibra inferior do Revestimento de 28,8 cm no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

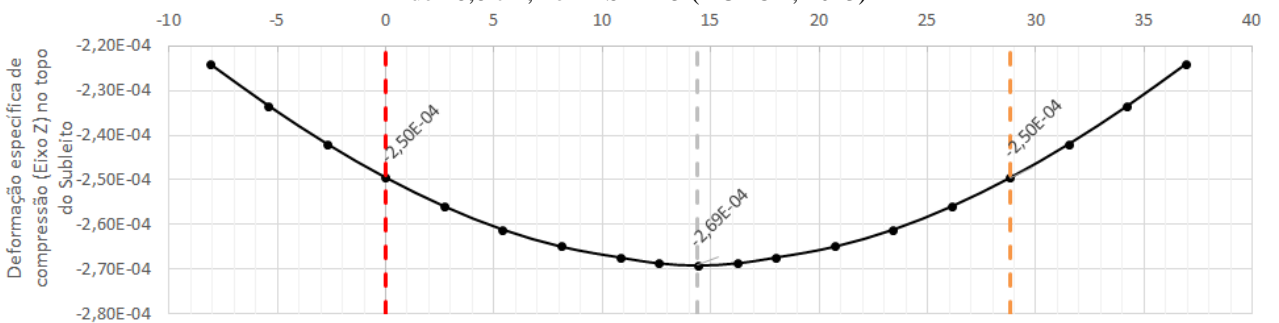
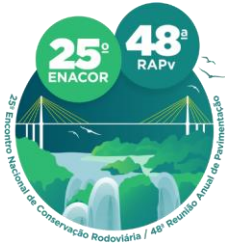


Figura 15: Deformação Específica de Compressão (Eixo Z) no Topo do Subleito ( $Z= 63,01$  cm) com semieixo de 28,8 cm, no ELSYM 5 (AUTOR, 2023)

Por fim, foi utilizado o software AEMC para a mesma comparação, utilizando as mesmas premissas estruturais do pavimento informadas na Tabela 1 e Tabela 2, com dimensão entre os pneus do semieixo de 32,4 cm.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br

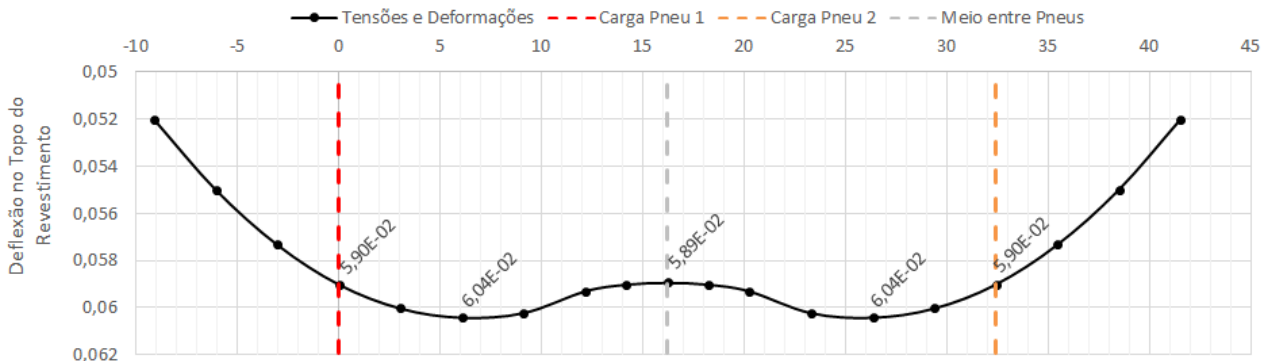


Figura 16: Deflexão no topo do revestimento (Z= 0,00 cm) com semieixo de 32,4 cm, no AEMC (AUTOR, 2023)

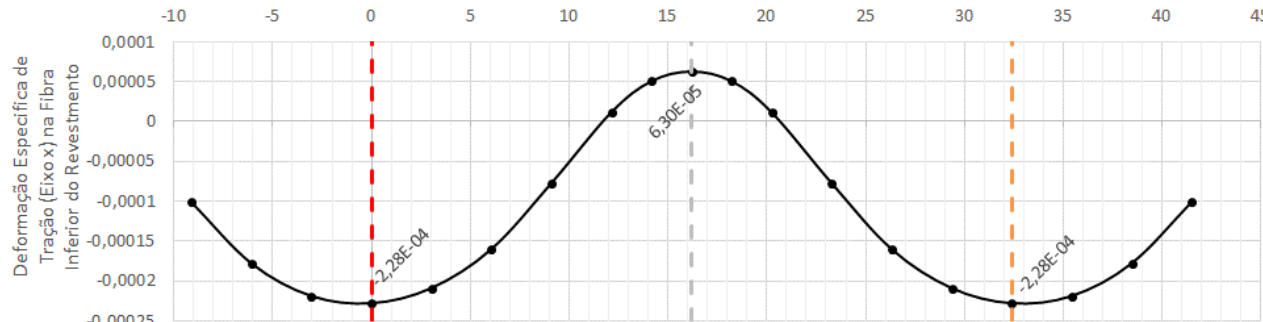


Figura 17: Deformação Específica de Tração (Eixo X) na Fibra inferior do Revestimento (Z= 7,99 cm) com semieixo de 32,4 cm, no AEMC (AUTOR, 2023)

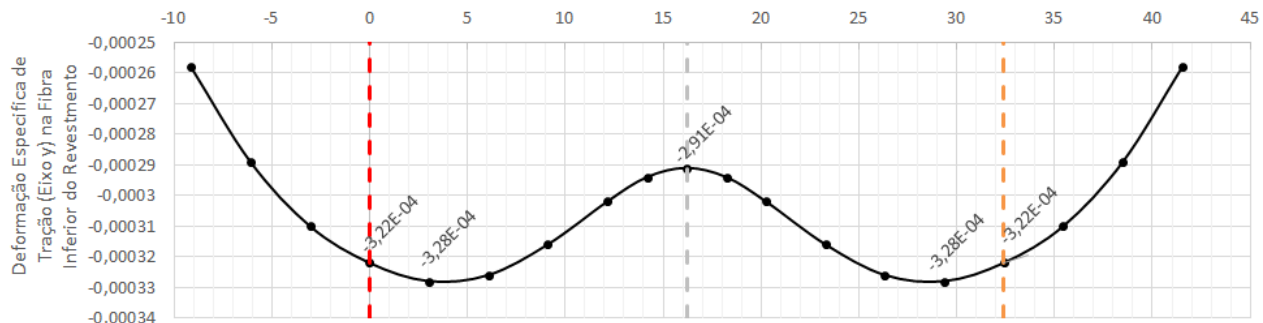


Figura 18: Deformação Específica de Tração (Eixo Y) na Fibra inferior do Revestimento (Z= 7,99 cm) com semieixo de 32,4 cm, no AEMC (AUTOR, 2023)

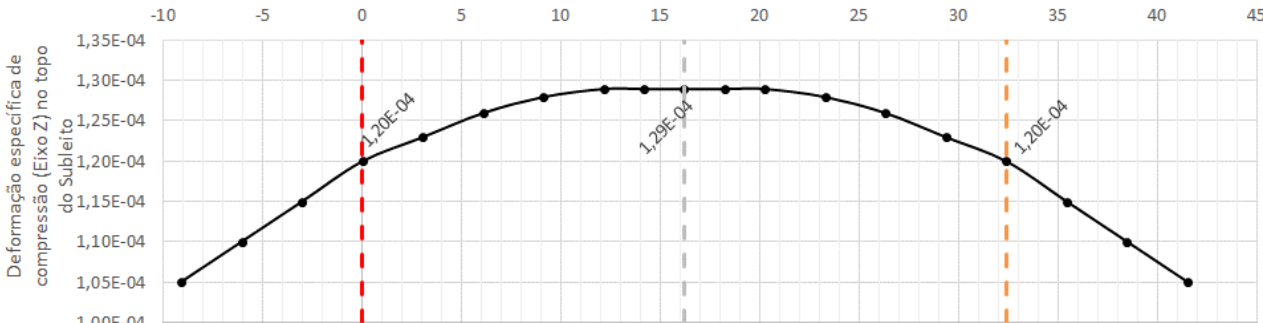


Figura 19: Deformação Específica de Compressão (Eixo Z) no Topo do Subleito (Z= 63,01 cm) com semieixo de 32,4 cm, no AEMC (AUTOR, 2023)

É possível observar na Figura 16, Figura 17, Figura 18 e Figura 19 os mesmos comportamentos das tensões e deformações, com exceção das convenções de sinais que cada software utiliza, porem



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



mantve-se as maiores deflexões no topo do revestimento e deslocamento específico de tração (Eixo Y) na fibra inferior no revestimento entre o ponto de aplicação de carga e o ponto médio entre os pneus.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É observado em diversos projetos executivos uma simplificação dos pontos de análise mecânica dos pavimentos dimensionados, apresentando até 3 pontos onde as Tensões e Deformações seriam as maiores, seriam no ponto de carregamento de 2.050 kgf e no ponto médio entre os carregamentos.

A partir de um pavimento já dimensionado pelo método do DNER e análise mecanístico-empírico, resultando em uma estrutura igual a 8 cm de Revestimento, 15 cm de Base em Brita Graduada Simples (BGS) e 40 cm de Sub-base em Saibro, foi analisado as tensões e deformações resultantes da estrutura de pavimento dimensionada de diversos pontos de análise no Plano X-Z, para carregamentos de 2.050 kgf de um semieixo padrão com distância entre rodas de 32,4 cm, quanto a Deflexão no Topo do revestimento, Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento (Eixo X e Y) e Deformação específica de compressão no topo do subleito (Eixo Z).

Na qual, a análise apresentou que somente a Deformação específica de tração na fibra inferior do revestimento (Eixo X) e a Deformação específica de compressão (Eixo Z) no topo do subleito, resultaram nas maiores tensões e deformações nos pontos de aplicação de carga e no ponto médio entre as cargas, respectivamente.

Em oposição, a análise apresentou que as maiores tensões e deformações referentes a Deflexão no Topo do subleito e Deformação específica de Tração na Fibra inferior do revestimento (Eixo Y), estão entre o ponto de aplicação de carga e o ponto médio entre os pneus. Essa análise foi confirmada realizando a variação da distância entre os pneus do Semieixo padrão para 28,8 cm e com a aplicação no Software AEMC, com semieixo de 32,4 cm.

Esse estudo conclui mostrando a importância de analisar todo o comportamento e influência que o carregamento do tráfego está exercendo sobre a estrutura do pavimento, pois através do entendimento do comportamento das tensões e deformações de cada camada, é possível dimensionar pavimentos com maior precisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTERIS. **Pavimento Flexível – Diretrizes para dimensionamento**. Empresa Arteris S.A. Versão 5 – maio de 2019.
- BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: Materiais, projeto e restauração** - 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. **Publicação IPR – 719: Manual de Pavimentação**. 3a edição. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.
- DEPARTAMENTO ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - DER/SP. **Instrução de Projeto: Projeto de Pavimentação** - IP-DE-P00/001, janeiro de 2006.
- FERREIRA, R.M. **Dimensionamento de um pavimento experimental para tráfego de caminhões fora-de-estrada em planta de mina** - UFOP. Ouro Preto, 2007.
- FRANCO, Felipe; MOTTA, Laura. **Manual de Utilização do Programa MeDiNa** – COPPE/UFRJ – IPR/DNIT, 2020.
- MEDINA, Jaques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos** - 3ª edição - Rio de Janeiro: Interciência, 2015.
- PACHECO, Lysiane Menezes. **Análise paramétrica da resistência ao cisalhamento de misturas asfálticas** – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2014.
- SENÇO, Wlastermiler de, 1929 – **Manual de técnicas de pavimentação: Volume 1** / Wlastermiler de Senço. – 2. Ed. Ampl. – São Paulo: Pini, 2007.