

Manual de Ajuda

PROGRAMA AEMC

BRASÍLIA/DF
OUTUBRO/2025

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES

Manual de Ajuda

Programa AEMC



Brasília

Outubro/2025

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Interface do software AEMC	11
Figura 2 – Menu projeto do AEMC	13
Figura 3 – Sistema de coordenadas adotado no AEMC	16
Figura 4 – Sistema de coordenadas em função do tipo de carregamento adotado no AEMC	17
Figura 5 – Estratificação das camadas de uma estrutura de pavimento adotado no AEMC	18
Figura 6 – Inserção de camadas da estrutura de pavimento no AEMC; (a) Selecionando a camada; (b) Clicando no botão ESTRUTURA e inserindo a camada; (c) Camada inserida	20
Figura 7 – Exclusão de camadas da estrutura de pavimento no AEMC; (a) Selecionando a camada; (b) Clicando no botão ESTRUTURA e excluindo a camada; (c) Camada excluída	21
Figura 8 – Dados de carregamento listados no AEMC	24
Figura 9 – Tensões, deformações e deslocamentos calculados no AEMC; (a) Inserção dos pontos separadamente; (b) Inserção dos pontos automaticamente; (c) Pontos inseridos na tabela; (d) Cálculos realizados; (e) Exportando dados para o excel em formato .csv	27
Figura 10 – Congelando as coordenadas nos resultados do AEMC; (a) Selecionando o comando de congelar coordenadas; (b) Coordenadas congeladas	32
Figura 11 – Limpando a tabela de resultados do AEMC; (a) Selecionando o comando de limpar tabela; (b) conformando a limpeza da tabela; (c) Tabela limpa	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grandezas e unidades físicas adotadas no AEMC	14
Tabela 2 – Símbolos adotadas no AEMC	15
Tabela 3 – Comportamento do material em função das constantes laboratoriais adotados no AEMC	22
Tabela 4 – Diretrizes para geração dos pontos de análise no AEMC	30

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	6
2	ATUALIZAÇÕES DO PROGRAMA.....	7
3	PROGRAMA	9
4	INTERFACE	11
5	MENU PROJETO	13
6	UNIDADES	14
7	SÍMBOLOS.....	15
8	CONVENÇÕES	16
9	ESTRUTURA.....	18
10	ALTERANDO A ESTRUTURA DO PAVIMENTO	19
11	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	22
12	CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA.....	23
13	CARREGAMENTO.....	24
14	RESULTADOS	26
15	INSERIR PONTOS	29
16	GERAR PONTOS.....	30
17	CONGELAR COORDENADAS	31
18	LIMPAR TABELA	33

1 APRESENTAÇÃO

Programa de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) que calcula tensões e deformações e deslocamentos em estruturas de pavimentos com até oito camadas sob carregamento de rodas do tipo eixo rodoviário.

Histórico de versões

2.4	Versão inicial publicada em 02 de março de 2018
-----	---

2.4.1	Atualização publicada em abril de 2019
-------	--

2.4.2	Atualização publicada em junho de 2020
-------	--

2.4.3	Atualização publicada em fevereiro de 2023
-------	--

2.4.4	
-------	--

a	Atualizações publicadas em abril de 2023
---	--

2.4.6	
-------	--

Desenvolvido por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D.Sc.

2 ATUALIZAÇÕES DO PROGRAMA

Versão 2.4.2

Alterações em relação a versão anterior 2.4.1

1. Incluída a opção de análise do estado de tensões, deformações e deslocamentos considerando todas as rodas do eixo.
2. A análise completa do eixo requer a informação da bitola do eixo. Assim, foi incluído um campo para a inserção do dado nas propriedades do carregamento (Lx).
3. Atualizada as funções para Abrir e Salvar o Arquivo, compatíveis com as versões anteriores e incluindo o valor da bitola do eixo e a informação do tipo de análise.
4. Atualizado o arquivo da Ajuda.
5. Corrigido o valor do módulo de resiliência elástico não linear que, quando exportado para o Excel, ficava com valor negativo.

Versão 2.4.3

Alterações em relação a versão anterior 2.4.2

1. Incluída imagem com o sistema de coordenadas referente ao tipo de eixo selecionado, com o objetivo de orientar o usuário no preenchimento das coordenadas dos pontos de cálculo.
2. O programa AEMC ajusta automaticamente a informação do número de rodas e do peso do carregamento em função do tipo de análise, se com o eixo completo ou semieixo, a fim de evitar dúvidas das informações consideradas no cálculo.
3. Complementado o relatório no formato .csv com as informações do tipo de análise.
4. Inseridas dicas de informações dos campos dos eixos, gráfico de coordenadas e tabela de cálculo.

5. Ampliadas e melhoradas as rotinas de verificação e checagem de entrada de dados.
6. Atualizado o arquivo da Ajuda.

Versões 2.4.4 a 2.4.6

Alterações em relação a versão anterior 2.4.3

1. Corrigido o problema referente ao peso do carregamento para o tipo de análise solicitada (eixo completo ou semieixo), quando da importação de um arquivo .pAE salvo na versão anterior (2.4.0 ou 2.4.2).
2. Ampliadas as rotinas de verificação e checagem de entrada de dados.
3. Corrigido salvamento dos pontos de análise com linhas em branco intermediárias.
4. Atualizado o arquivo da Ajuda.

3 PROGRAMA

O AEMC é um software de análise de camadas elásticas, desenvolvido para uso como um componente dos programas MeDiNa e BackMeDiNa. A estrutura geral de cálculo utiliza a integração de Gauss-Laguerre como base para resolução das equações integrais.

As hipóteses fundamentais da solução computacional baseiam-se nas mesmas consideradas na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas contínuos e de multicamadas, quais sejam:

1. Os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
2. A lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
3. As camadas são ilimitadas na direção horizontal;
4. Todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
5. A superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada;
6. Na área carregada ocorrem apenas tensões normais;
7. A carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
8. A grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
9. As condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

Os métodos que utilizam esta solução possuem a vantagem de combinar carregamentos com mais de uma roda, por meio do princípio da superposição e da hipótese de elasticidade linear. É possível também obter os resultados de tensão,

deformação e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura sem a necessidade de dividir o meio contínuo em Elementos Finitos.

O conjunto básico de respostas estruturais que é calculada, a partir das equações elásticas, englobam: tensões verticais, tensões radiais, tensões tangenciais, tensões de cisalhamento no plano vertical-radial, e deflexões verticais e radiais.

4 INTERFACE

A interface com o usuário do AEMC busca reunir em uma tela apenas, todas as informações divididas em três Quadros, referentes à estrutura do pavimento, ao tipo de carregamento atuante e às respostas em termos de tensões, deformações e deslocamentos, conforme apresentado na Figura 1.

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Quadro I

Tipo de carregamento:

Eixo padrão rodoviário

Eixo simples

Dois eixos simples (direcional)

Eixo duplo

Dois eixos duplos

Dois eixos duplos em tandem

Três eixos duplos em tandem

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

Análise: Semi-eixo

Número de rodas: 2

Carga do semi-eixo (ton): 4,10

Carga de roda (ton): 2,05

Pressão de pneus (MPa): 0,56

Ty (cm): 0,00

Tx (cm): 32,40

Lx (cm): 181,00

Área (cm²): 366,07

Raio (cm): 10,79

Quadro II

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

Quadro III

Estrutura Inicial

Figura 1 – Interface do software AEMC

Quando o programa é iniciado, é apresentado no quadro ESTRUTURA (quadro I) uma estrutura padrão de pavimento com quatro camadas, onde os dados servem apenas de exemplo de preenchimento.

Já no quadro CARREGAMENTO (quadro II), o programa inicia com o Eixo Padrão Rodoviário, e o quadro RESULTADOS (quadro III) se apresenta totalmente em branco.

Conforme mostrado na Figura 1, no canto superior esquerdo, existe a barra de MENU principal com a opção PROJETO, onde constam as funções básicas do software, tais como Novo, Abrir, Salvar, Salvar Como e Sair do programa e ao lado encontra-se a opção AJUDA, que ao clicar abrirá a janela com este Manual de Ajuda do Programa. Cada uma das opções e dos quadros serão detalhados individualmente, bastando clicar no item desejado.

5 MENU PROJETO

Ao clicar no menu PROJETO, as opções na janela principal do programa, conforme a Figura 2, permitem ao projetista manipular os arquivos de dados da seguinte forma:

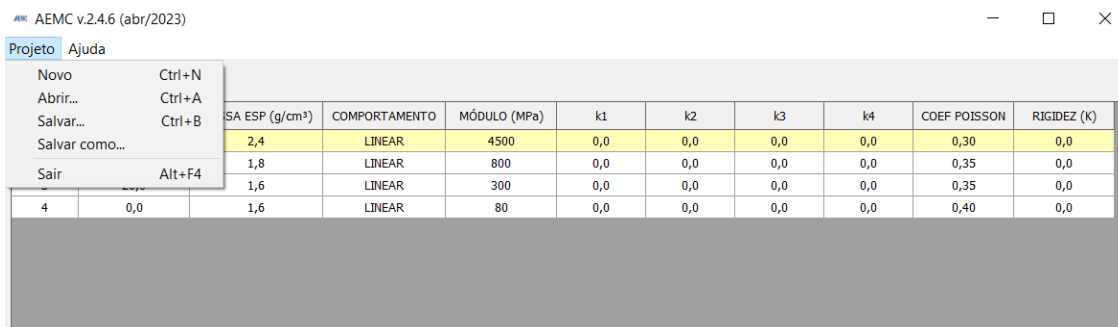


Figura 2 – Menu projeto do AEMC

<Novo>

Cria um projeto novo.

<Abrir...>

Abre um arquivo existente com a extensão <nome_do_arquivo.pAE>.

<Salvar...>

Salva as informações inseridas e geradas automaticamente pelo programa (estrutura, carregamento e resultados) em um arquivo de formato padrão e com a extensão <nome_do_arquivo.pAE>.

<Salvar como... >

Permite salvar as informações com o nome definido pelo projetista.

<Sair>

Usada para encerrar o programa.

6 UNIDADES

Para o perfeito funcionamento do programa, o projetista deverá observar o uso correto das unidades das grandezas físicas utilizadas no programa, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Grandezas e unidades físicas adotadas no AEMC

Grandeza	Unidade
Espessura e distâncias	cm
Raio do carregamento	cm
Deslocamentos	μm
Deformações específicas	m/m
Área de contato	cm ²
Pressão de inflação e tensões	MPa
Carga de eixo ou de roda	ton

7 SÍMBOLOS

Na Tabela 2 são descritos os símbolos utilizados no programa.

Tabela 2 – Símbolos adotadas no AEMC

Símbolo	Significado
X, Y	Distâncias no plano horizontal
Z	Profundidade
Ux, Uy, Uz	Deslocamentos nos eixos x, y e z respectivamente
Sx, Sy, Sz	Tensões no plano X, Y e Z respectivamente
Sxy, Sxz, Syz	Tensões de cisalhamento nos planos XY, XZ e YZ respectivamente
s1, s2, s3	Tensões principais
sOctNor, sOctCis	Tensões octaédricas normal e de cisalhamento
Ex, Ey, Ez	Deformações específicas no plano X, Y e Z respectivamente
Exy, Exz, Eyz	Deformações específicas de cisalhamento nos planos XY, XZ e YZ respectivamente
e1, e2, e3	Deformações específicas principais
Ty, Tx, Lx	Distância entre eixos e entre rodas e a bitola do eixo respectivamente

8 CONVENÇÕES

O sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa é o indicado na Figura 3.

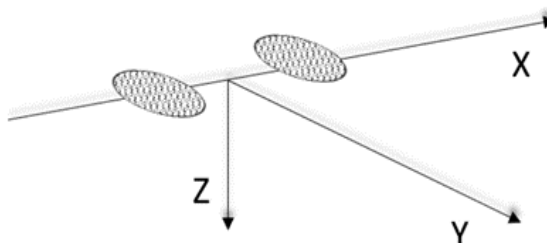


Figura 3 – Sistema de coordenadas adotado no AEMC

O eixo Y refere-se ao sentido longitudinal da via, ou seja, o sentido de tráfego dos veículos, enquanto que o eixo X faz referência ao sentido transversal da via.

Os valores positivos de tensão e deformação indicam que o ponto está em compressão, enquanto que os valores negativos indicam que o ponto de análise está em tração.

As coordenadas dos pontos em que são realizadas as análises devem estar ajustadas para os diversos tipos de eixos. Isso deve ser realizado para permitir a avaliação dos efeitos sobre os diversos pontos no interior da estrutura de forma coerente. No sistema de coordenada, descrito na Figura 4, o eixo principal do dimensionamento coincide com o eixo de simetria das áreas carregadas.

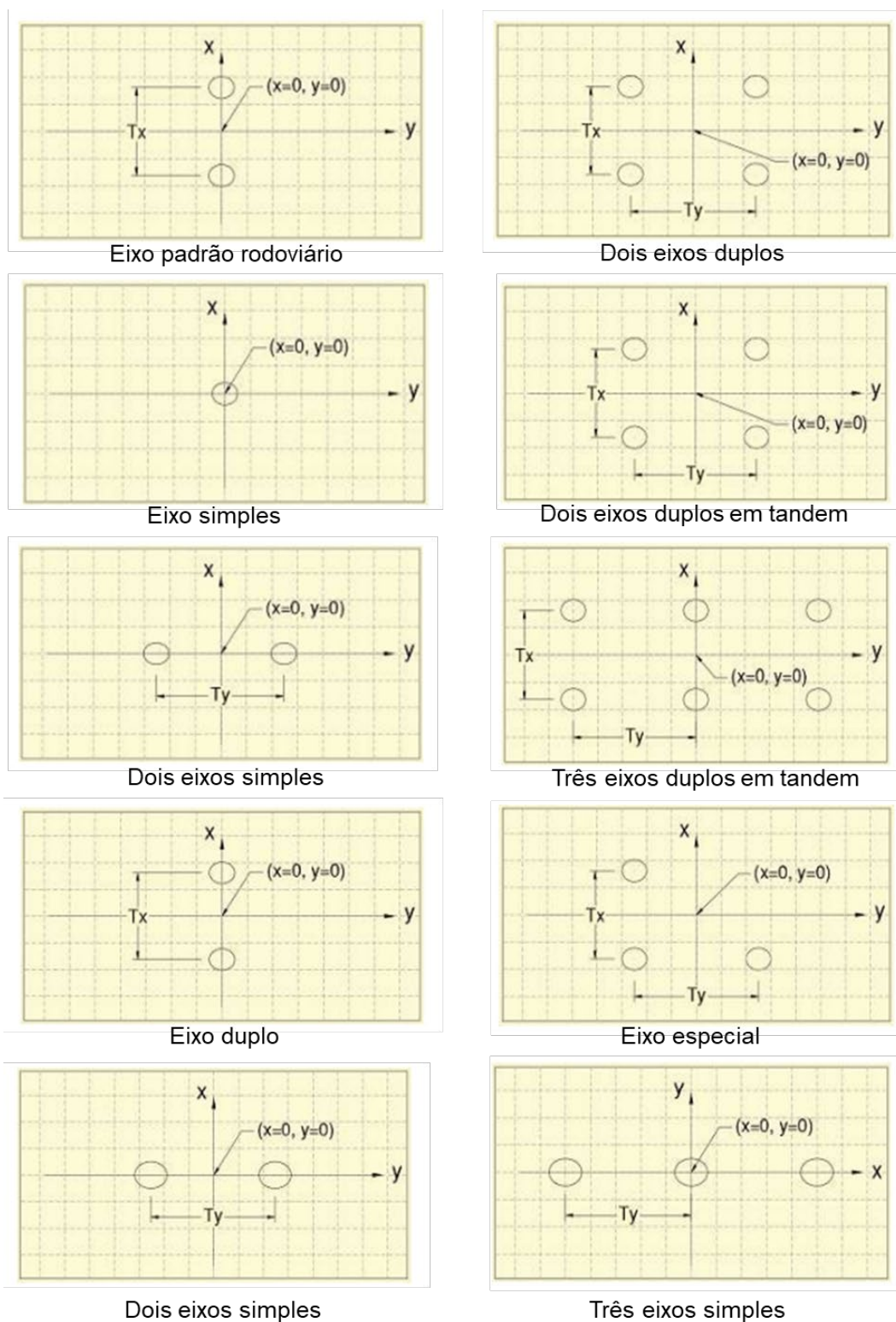


Figura 4 – Sistema de coordenadas em função do tipo de carregamento adotado no AEMC

9 ESTRUTURA

O quadro ESTRUTURA, apresentado na Figura 5, é composto pelos elementos associados ao botão de comando *Estrutura>>* e por uma *Tabela* que representa a estrutura ou perfil do pavimento, conforme ilustrado na Figura 5. Cada linha da *Tabela* equivale a uma camada da estrutura do pavimento. A última linha representa o subleito, cuja sua espessura que é infinita, é representada por convenção no software igual a 0,0 cm.

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

Quadro I

Figura 5 – Estratificação das camadas de uma estrutura de pavimento adotado no AEMC

A Estrutura inicial que é apresentada no programa AEMC possui quatro camadas, incluindo o subleito. Essa estrutura pode ser totalmente alterada, sendo permitida, a configuração de uma estrutura com no mínimo duas e no máximo oito camadas.

Na Figura 5, também é apresentado a tabela que exibe informações acerca das propriedades de cada uma das camadas da estrutura do pavimento, tais como: espessura, comportamento elástico (se linear ou não linear), módulo, massa específica, parâmetros do Módulo (k1, K2, K3 e K4), coeficiente de Poisson e a condição de aderência.

10 ALTERANDO A ESTRUTURA DO PAVIMENTO

O botão de comando *Estrutura>>* permite adicionar ou remover camadas no perfil do pavimento. São permitidas até oito camadas, sendo o mínimo de duas. Por questões de padronização, a primeira camada e o subleito não podem ser excluídas.

Inserindo camadas

Para inserir uma camada nova na estrutura do pavimento (Figura 6), o projetista deve selecionar a linha imediatamente acima da posição da futura camada (Figura 6a). Clicar no botão de Comando *Estrutura>>>* e selecionar a opção *Inserir camada abaixo* (Figura 6b). O programa automaticamente irá abrir uma nova linha abaixo da camada selecionada e irá preencher com os dados da camada selecionada (Figura 6c). Por padronização, o usuário não pode inserir uma camada abaixo do subleito.

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm ³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(a)

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>> Inserir camada abaixo

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm ³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(b)

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	20,0	1,8	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
5	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(c)

Figura 6 – Inserção de camadas da estrutura de pavimento no AEMC; (a) Selecionando a camada; (b) Clicando no botão ESTRUTURA e inserindo a camada; (c) Camada inserida

Excluindo camadas

Para excluir uma camada na estrutura do pavimento (Figura 7), o projetista deve selecionar a linha referente à camada que deseja excluir (Figura 7a) e clicar no botão de comando *Estrutura>>* e selecionar a opção *Excluir a camada selecionada* (Figura 7b), assim o software irá deletar a camada selecionada (Figura 7c). Também por padronização, a primeira camada e o subleito não poderão ser excluídos.

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	20,0	1,8	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
5	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(a)

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

Inserir camada abaixo

Excluir a camada selecionada

CAMADA	ESPESSURA (cm)			MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	20,0	1,8	LINEAR	200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
5	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(b)

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm³)	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (K)
1	7,5	2,4	LINEAR	4500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0,0
2	18,0	1,8	LINEAR	800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
3	20,0	1,6	LINEAR	300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,35	0,0
4	0,0	1,6	LINEAR	80	0,0	0,0	0,0	0,0	0,40	0,0

(c)

Figura 7 – Exclusão de camadas da estrutura de pavimento no AEMC; (a) Selecionando a camada; (b) Clicando no botão ESTRUTURA e excluindo a camada; (c) Camada excluída

11 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Modelos constituintes do comportamento resiliente

Os materiais das camadas podem ser considerados como elásticos lineares ou não lineares e os modelos constituintes do comportamento resiliente são representados a partir da definição das constantes do modelo geral apresentado na Equação 1.

$$MR = k_1 \cdot \sigma_3^{k_2} \cdot \sigma_d^{k_3} \cdot \theta^{k_4} \quad (1)$$

No modelo apresentado na expressão na Equação 1, k_1 , k_2 , k_3 e k_4 são constantes obtidas em laboratório; θ é a tensão octaédrica (igual à soma das tensões principais $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$), σ_d é a tensão desvio, σ_3 é a tensão de confinamento e MR é o módulo de resiliência em MPa. A Tabela 3 traz informações a respeito do comportamento do material em função das constantes k_1 , k_2 , k_3 e k_4 obtidas em laboratório.

Tabela 3 – Comportamento do material em função das constantes laboratoriais adotados no AEMC

Comportamento	Parâmetros
Dependente da tensão confinante	$k_3 = 0$ $k_4 = 0$
Dependente da tensão desvio	$k_2 = 0$ $k_4 = 0$
Dependente do Invariante de tensões	$k_2 = 0$ $k_3 = 0$
Modelo composto	$k_4 = 0$

Observação: se o projetista optar pelo modelo elástico linear, o programa levará em conta apenas o valor definido na coluna Módulo, independente dos coeficientes de módulo (k_1 , k_2 , k_3 e k_4) que foram inseridos.

12 CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA

O programa AEMC faz uma modelagem física similar a teoria de molas a fim de permitir o movimento horizontal relativo na interface entre duas camadas. A mola atua na direção radial resistindo ao deslocamento relativo ao longo da interface entre duas camadas, conforme descrito na Equação 2.

$$\tau_i = k_i \cdot (u_i - u_{i+1}) \quad (2)$$

Onde:

τ_i é a tensão de cisalhamento radial entre as camadas i e $i + 1$;

$U_i - U_{i+1}$ é o deslocamento radial relativo ao longo da interface das camadas i e $i + 1$;

K_i é o módulo de rigidez da "mola" que resiste ao deslocamento radial relativo ao longo da interface.

O AEMC realiza uma transformação na variável K , para facilitar o cálculo numérico. Ele utiliza um parâmetro adimensional, detalhado na Equação 3.

$$k_i = \frac{l_i}{1-l_i} \quad (3)$$

De acordo com a Equação 3, ao se atribuir o valor nulo para o parâmetro l_i , o valor de k_i será nulo e, portanto, $\tau_i = 0$, o que significa que não haverá cisalhamento na interface, logo as camadas não estão aderidas.

Por outro lado, se $l_i = 1$, tem-se k_i e τ_i tendendo ao infinito, que significa que há aderência entre as camadas.

Assim, para simular a aderência entre camadas, o projetista deve entrar com um valor entre **0 (camadas não aderidas)** e **1 (camadas aderidas)**.

13 CARREGAMENTO

A carga de roda é assumida no programa como sendo uniformemente distribuída em uma área de contato circular entre o pneu e a superfície do pavimento. E a pressão de contato entre o pneu e o pavimento é assumida como sendo igual à pressão de inflação dos pneus, por falta de dados mais específicos para as configurações de rodas e pneus utilizados no país. O tamanho da área de contato, portanto, depende da carga de roda e da pressão de inflação dos pneus.

LISTA DE EIXOS

O quadro CARREGAMENTO (quadro II), apresentado na Figura 8, descreve uma lista de eixos que permite escolher o tipo de carregamento que se deseja analisar. Na lista de propriedades podem ser alterados os valores de Pressão de Pneus, Carga do Eixo ou a Carga de Roda, além das distâncias entre rodas e entre eixos (T_x e T_y) e bitola do eixo (L_x) da configuração selecionada. Os valores da Área de Contato e do Raio de Carregamento são calculados automaticamente pelo AEMC.

Tipo de carregamento:

☒ Eixo padrão rodoviário

☐ Eixo simples

☐ Dois eixos simples (direcional)

☐ Eixo duplo

☐ Dois eixos duplos

☐ Dois eixos duplos em tandem

☐ Três eixos duplos em tandem

☐ EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO

Análise	Semi-eixo
Número de rodas:	2
Carga do semi-eixo (ton):	4.10
Carga de roda (ton):	2.05
Pressão de pneus (MPa):	0.56
T_y (cm):	0.00
T_x (cm):	32.40
L_x (cm):	181.00
Área (cm ²):	366.07
Raio (cm):	10.79

☐ Estrutura Inicial

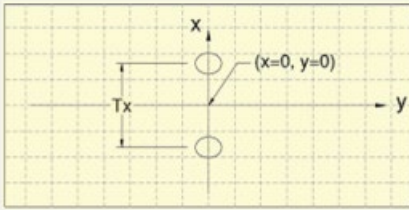


Figura 8 – Dados de carregamento listados no AEMC

Nas configurações do carregamento, é possível o projetista escolher entre uma análise apenas do semieixo ou do eixo completo. Na análise do eixo completo, todo o conjunto de rodas do eixo contribui para os resultados do estado de tensões e deformações no ponto da análise. O projetista deve verificar se é necessário alterar a largura da bitola do eixo (Lx), pois o programa atribui inicialmente o valor padrão de 181,0 cm.

No que se refere às unidades utilizadas no quadro CARREGAMENTO, são adotadas as grandezas em centímetros para as distâncias, cm^2 para a área de contato, ton.f para as cargas de eixos e de rodas, e MPa para a pressão de pneus.

14 RESULTADOS

No quadro **Resultados** (quadro III), detalhado na Figura 9, são realizados os cálculos de tensões, deformações e deslocamentos em todos os pontos definidos pelo projetista. Os pontos podem ser digitados separadamente na tabela, nas colunas X, Y e Z, respeitando a **Convenção** do sistema de coordenadas (Figura 9a), ou preenchidos automaticamente pressionando o botão **Ferramentas**, na opção **Gerar Pontos Automaticamente** (Figura 9b).

Com os pontos inseridos na tabela (Figura 9c), o processo de cálculo pode ser iniciado pressionando o botão **Calcular**. Na janela aparece a evolução da análise e dos cálculos. Os resultados finais são então dispostos ao longo da tabela (Figura 9d). e podem ser exportados para uma planilha Excel em formato .csv na opção **Exportar para o Excel** do botão **Ferramentas** (Figura 9e).

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)	Sx (MPa)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

(a)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Gerar pontos automaticamente
Congelar coordenadas
Limpar tabela de pontos
Exportar para o Excel

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)				Sx (MPa)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

(b)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)	Sx (MPa)
1	0,0000	0,0000	0,0000				
2	2,7027	0,0000	0,0000				
3	5,4044	0,0000	0,0000				
4	16,2000	0,0000	0,0000				
5	26,9956	0,0000	0,0000				
6	47,0000	0,0000	0,0000				
7	67,0000	0,0000	0,0000				
8	87,0000	0,0000	0,0000				
9	107,0000	0,0000	0,0000				
10	0,0000	0,0000	3,7500				

(c)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)	Sx (MPa)
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	609,70072	0,239977
2	2,7027	0,0000	0,0000	0,31462	0,00000	610,47805	0,326276
3	5,4044	0,0000	0,0000	-0,72260	0,00000	614,23739	0,686767
4	16,2000	0,0000	0,0000	-14,15323	0,00000	602,26470	1,408728
5	26,9956	0,0000	0,0000	-27,73213	0,00000	526,08801	0,616102
6	47,0000	0,0000	0,0000	-22,51518	0,00000	368,09538	-0,109202
7	67,0000	0,0000	0,0000	-15,37377	0,00000	261,33872	-0,116863
8	87,0000	0,0000	0,0000	-9,94923	0,00000	190,35288	-0,093411
9	107,0000	0,0000	0,0000	-6,24995	0,00000	144,69471	-0,063154
10	0,0000	0,0000	3,7500	0,00000	0,00000	611,46589	0,080896

(d)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Gerar pontos automaticamente
Congelar coordenadas
Limpar tabela de pontos
Exportar para o Excel

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (μm)	Uy (μm)	Uz (μm)	Sx (MPa)
1	0,0000	0,0000	0,0000				
2	2,7027	0,0000	0,0000				
3	5,4044	0,0000	0,0000				
4	16,2000	0,0000	0,0000				
5	26,9956	0,0000	0,0000	-27,73213	0,00000	526,08801	0,616102
6	47,0000	0,0000	0,0000	-22,51518	0,00000	368,09538	-0,109202
7	67,0000	0,0000	0,0000	-15,37377	0,00000	261,33872	-0,116863
8	87,0000	0,0000	0,0000	-9,94923	0,00000	190,35288	-0,093411
9	107,0000	0,0000	0,0000	-6,24995	0,00000	144,69471	-0,063154
10	0,0000	0,0000	3,7500	0,00000	0,00000	611,46589	0,080896

(e)

Figura 9 – Tensões, deformações e deslocamentos calculados no AEMC; (a) Inserção dos pontos separadamente; (b) Inserção dos pontos automaticamente; (c) Pontos inseridos na tabela; (d) Cálculos realizados; (e) Exportando dados para o excel em formato .csv.

O comando **Calcular** deve ser acionado quando todas as informações forem inseridas nos quadros e pode ser acionado quantas vezes o projetista desejar. Esse botão chama a rotina interna da biblioteca do AEMC, para cada linha de coordenadas inserida na tabela **Resultados**, e calcula as tensões, deformações e deslocamentos.

Lembre-se de salvar sempre o trabalho. Cada alteração de dados faz com que o programa apague a tabela **Resultados**.

15 INSERIR PONTOS

Antes de mandar calcular as tensões, deformações e deslocamentos, o projetista deve inserir nas colunas da tabela **Resultados** as coordenadas dos pontos onde deseja obter as tensões, deformações e deslocamentos. Apenas as colunas das coordenadas estão habilitadas para edição. As coordenadas dos pontos devem ser inseridas na sequência das linhas. O programa não realiza os cálculos da linha enquanto as três coordenadas, X, Y e Z não forem inseridas.

A coordenada Z inicia o valor 0,00 cm na superfície do pavimento e cresce no sentido da profundidade.

Quando for preciso calcular as tensões, deformações e deslocamentos na fronteira entre duas camadas, recomenda-se não utilizar o ponto exato. Adicione ou diminua 0,001 cm no valor da profundidade para obter o resultado na camada desejada.

16 GERAR PONTOS

Com o objetivo de facilitar a inserção dos pontos, o programa dispõe de uma função para o preenchimento automático de pontos para análise. Para acessar a função, o projetista deve clicar no botão Ferramentas e na sequência Gerar Pontos Automaticamente (Figura 9b). Os pontos são gerados conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4 – Diretrizes para geração dos pontos de análise no AEMC

Eixo	Pontos
Z (ao longo da profundidade)	Na superfície ($z = 0$)
	No centro das camadas
	No topo do Subleito
	15cm Abaixo do Subleito
X (perpendicular ao rolamento)	No centro do carregamento ($x = 0$)
	No meio entre o centro e a borda interna da roda
	No centro da roda
	Na borda externa da roda
	5 pontos a cada 20 cm a partir da borda externa da roda
Y (sentido do rolamento)	No centro do carregamento ($y = 0$)
	Entre eixos
	Sobre os eixos

17 CONGELAR COORDENADAS

A função “Congelar coordenadas” foi criada para facilitar a navegação pela *Tabela de Resultados*, uma vez que permite ao projetista uma melhor visualização dos valores de tensão, deformação e deslocamento para o eixo em análise. Ao ser acionada, as colunas das coordenadas ficam fixas e não desaparecem da tela quando se navega pelos resultados, facilitando identificar os pontos nas linhas.

Para acionar a função (Figura 10), o projetista, após lançar as coordenadas, deve clicar no botão **Ferramentas** e na sequência *Congelar coordenadas* (Figura 10a).

As células congeladas alteram de cor, ficando acinzentadas (Figura 10b). Uma vez congelada a *Tabela*, o projetista fica inabilitado para lançar novos pontos ou alterar os existentes. Para liberar novamente as colunas das coordenadas, basta repetir novamente o processo.

Pontos de análise e resultados

Calcular

Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0,0000	0,0000	0,0000
2	2,7027	0,0000	0,0000
3	5,4044	0,0000	0,0000
4	16,2000	0,0000	0,0000
5	26,9956	0,0000	0,0000
6	47,0000	0,0000	0,0000
7	67,0000	0,0000	0,0000
8	87,0000	0,0000	0,0000
9	107,0000	0,0000	0,0000
10	0,0000	0,0000	3,7500

Gerar pontos automaticamente

Congelar coordenadas

Limpar tabela de pontos

Exportar para o Excel

Sx (MPa)
0,239977
0,326276
0,686767
1,408728
0,616102
-0,109202
-0,116863
-0,093411
-0,063154
0,080896

(a)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Gerar pontos automaticamente

✓ Congelar coordenadas

Limpar tabela de pontos

Exportar para o Excel

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Sx (MPa)
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,239977
2	2,7027	0,0000	0,0000	0,326276
3	5,4044	0,0000	0,0000	0,686767
4	16,2000	0,0000	0,0000	1,408728
5	26,9956	0,0000	0,0000	0,616102
6	47,0000	0,0000	0,0000	-0,109202
7	67,0000	0,0000	0,0000	-0,116863
8	87,0000	0,0000	0,0000	-0,093411
9	107,0000	0,0000	0,0000	-0,063154
10	0,0000	0,0000	3,7500	0,080896

(b)

Figura 10 – Congelando as coordenadas nos resultados do AEMC; (a) Selecionando o comando de congelar coordenadas; (b) Coordenadas congeladas

18 LIMPAR TABELA

Ao finalizar as análises, e caso seja do interesse do projetista limpar a tabela **Resultados** (Figura 11), existe a função *Limpar tabela* de pontos no botão **Ferramentas** (Figura 11a). Ao ser acionado (Figura 11b), todos os dados contidos na **Tabela Resultados** serão apagados (Figura 11c). Certifique-se que tenha salvo o trabalho antes de usar esta função.

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Gerar pontos automaticamente
Congelar coordenadas
Limpar tabela de pontos
Exportar para o Excel

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Sx (MPa)
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,239977
2	2,7027	0,0000	0,0000	0,326276
3	5,4044	0,0000	0,0000	0,686767
4	16,2000	0,0000	0,0000	1,408728
5	26,9956	0,0000	0,0000	0,616102
6	47,0000	0,0000	0,0000	-0,109202
7	67,0000	0,0000	0,0000	-0,116863
8	87,0000	0,0000	0,0000	-0,093411

(a)

Pontos de AEMC

! A tabela dos resultados será totalmente apagada! Apagar tudo?

Sim Não

Ponto	Uz (µm)	Sx (MPa)
1	609,70072	0,239977
2	610,47805	0,326276
3	614,23739	0,686767
4	602,26470	1,408728
5	526,08801	0,616102
6	368,09538	-0,109202
7	261,33872	-0,116863
8	190,35288	-0,093411

(b)

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ux (µm)	Uy (µm)	Uz (µm)	Sx (MPa)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

(c)

Figura 11 – Limpando a tabela de resultados do AEMC; (a) Selecionando o comando de limpar tabela; (b) conformando a limpeza da tabela; (c) Tabela limpa