

**ROTEIRO DE UTILIZAÇÃO  
DOS PROGRAMAS DO MeDiNa**

BRASÍLIA/DF  
MARÇO/2026

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES  
DIRETORIA-GERAL  
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA  
INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES

**EQUIPE TÉCNICA:**

Eng.º Márcio Muniz de Farias, PhD. – UnB

Eng.º Raul Tadeu Lobato Ferreira, MsC. – UnB

Eng.ª Andrea Cardona Pérez, DsC. – UnB

Eng.ª Letícia Nunes Lopes, DsC. – UnB

**REVISÃO DE EDITORAÇÃO:**

Eng.ª Thália Raelly de Lima Romeiro Mattos – Consórcio Progen/HPT

## APRESENTAÇÃO

O Instituto de Pesquisas em Transportes (IPR), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em parceria com o Laboratório de Infraestrutura (INFRALAB) da Universidade de Brasília (UnB), apresenta à comunidade rodoviária a primeira edição do Roteiro de Utilização dos Programas do MeDiNa.

Esses programas são fruto do Termo de Execução Descentralizada (TED) celebrado de 2015 a 2018 entre o IPR e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), bem como da colaboração do Centro de Pesquisas da Petrobrás (CENPES) e de diversas Universidades do Brasil participantes da Rede Temática de Asfalto.

O Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), implantado pelo DNIT em 2025, tem uma abordagem mecanístico-empírica que se diferencia em muitos aspectos da abordagem empírica adotada pelo Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981). Este documento é o resultado do aperfeiçoamento do método e do programa e integra o TED celebrado entre o IPR e o INFRALAB/UnB com período de vigência entre 2020 e 2025.

Diante do cenário de implementação do MeDiNa, torna-se imprescindível disseminar no meio técnico rodoviário a sua apropriada utilização e os principais parâmetros de dimensionamento. Espera-se que o presente roteiro contribua com esse propósito.

**Luiz Heleno Albuquerque Filho**

**Coordenador-Geral do Instituto de Pesquisa em Transportes – IPR**

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

%RF	Razão entre a tensão de tração aplicada e a resistência à tração por compressão diametral do material
$\psi_1, \psi_2, \psi_3$ e $\psi_4$	Parâmetros de regressão
$\Delta H$	Deslocamento horizontal elástico
A e B	Parâmetros experimentais
ATR	Afundamento de Trilha de Roda
BG	Brita Graduada
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CCR	Concreto Compactado com Rolo
$Def_i$	Valor de deflexão calculado na posição $i$
$def_i$	Valor de deflexão medido na posição $i$
$D_i$	Consumo de vida de fadiga acumulado no mês $i$
DNER	Departamento Nacional de Estradas De Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FWD	<i>Falling Weight Deflectometer</i>
INFRALAB	Laboratório de Infraestrutura da Universidade de Brasília
$k_1, k_2, k_3$ e $k_4$	Parâmetros de regressão
MeDiNa	Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos
MR	Módulo de Resiliência
$MR_{max}$	Módulo de resiliência máximo (no início da vida de fadiga)
$MR_{min}$	Módulo de resiliência mínimo (no final da vida de fadiga)
$n$	Número de sensores (leituras de deslocamento na bacia deflectométrica)
$N$	Número de ciclos de aplicação de carga
$N_{fad}$	Número de ciclos necessários para ruptura do corpo de prova (vida de fadiga)
P	Carga cíclica
RMS	Raiz do valor quadrático médio das diferenças ( <i>Root Mean Square</i> , em inglês)
RT	Resistência à Tração por Compressão Diametral
SB	Subleito
SMA	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
TED	Termo de Execução Descentralizada
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TST	Tratamento Superficial Triplo
UnB	Universidade de Brasília

$\varepsilon_p$	Deformação permanente específica
$\varepsilon_r$	Deformação recuperável
$\varepsilon_t$	Deformação resiliente de tração
$\varepsilon_x$	Deformação lateral (ou radial)
$\varepsilon_z$	Deformação vertical
$\nu$	Coefficiente de Poisson
$\sigma_3$	Tensão confinante
$\sigma_d$	Tensão desvio
$t$	Espessura (altura) do corpo de prova
$\theta$	Primeiro invariante de tensões (somatório das tensões normais)

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Representação da estrutura.....	19
Figura 2 – Roteiro de obtenção dos parâmetros e dimensionamento .....	20
Figura 3 – Tela inicial do programa MeDiNa .....	22
Figura 4 – Remoção de uma camada para adequação da estrutura .....	22
Figura 5 – Atalho para acessar a janela de propriedades da camada .....	26
Figura 6 – Comando para cadastrar novos materiais (parte 1) .....	27
Figura 7 – Comando para cadastrar novos materiais (parte 2) .....	27
Figura 8 – Cadastro do material para a camada de revestimento.....	28
Figura 9 – Salvando o material cadastrado.....	28
Figura 10 – Cadastro do material para a base granular .....	29
Figura 11 – Cadastro do material para o subleito.....	29
Figura 12 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa .....	30
Figura 13 – Cadastro dos dados de tráfego .....	31
Figura 14 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa .....	32
Figura 15 – Símbolos que indicam a camada selecionada para o dimensionamento. ....	33
Figura 16 – Comando para dimensionar a estrutura .....	34
Figura 17 – Resultados do dimensionamento da estrutura convencional .....	35
Figura 18 – Organograma após o dimensionamento da estrutura convencional .....	36
Figura 19 – Relatório de resultados .....	37
Figura 20 – Comando para salvar o arquivo de dimensionamento .....	38
Figura 21 – Comando para alterar o material de uma camada .....	40
Figura 22 – Menu suspenso com as opções de materiais disponíveis.....	40
Figura 23 – Janela de propriedades da camada .....	41
Figura 24 – Cadastro do material para a base tratada com cimento.....	42
Figura 25 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 1) .....	43
Figura 26 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 2) .....	44
Figura 27 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 3) .....	44

Figura 28 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa MeDiNa .....	45
Figura 29 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa .....	47
Figura 30 – Comando para dimensionar a estrutura .....	48
Figura 31 – Resultados do dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento.....	49
Figura 32 – Organograma após o dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento.....	50
Figura 33 – Janela de propriedades da camada .....	52
Figura 34 – Cadastro do material para a base tratada com cal.....	54
Figura 35 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa MeDiNa .....	55
Figura 36 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa .....	57
Figura 37 – Comando para dimensionar a estrutura .....	58
Figura 38 – Resultados do dimensionamento da estrutura com base tratada com cal .....	59
Figura 39 – Alerta quanto ao critério de deformação permanente .....	60
Figura 40 – Organograma após o dimensionamento da estrutura com base tratada com cal.....	61
Figura 41 – Comando para abrir a estrutura no programa AEMC por meio do programa MeDiNa .....	62
Figura 42 – Tela principal do programa AEMC .....	64
Figura 43 – Pontos avaliados na fibra inferior da camada de revestimento .....	65
Figura 44 – Comando para limpar a tabela de pontos .....	65
Figura 45 – Comando para o cálculo das variáveis mecânicas.....	66
Figura 46 – Comando para congelar coordenadas .....	66
Figura 47 – Deformações horizontais em x calculadas .....	67
Figura 48 – Representação gráfica das deformações horizontais em x.....	67
Figura 49 – Pontos avaliados no topo do subleito.....	69
Figura 50 – Tensões verticais calculadas .....	69

Figura 51 – Representação gráfica das tensões verticais.....	70
Figura 52 – Representação da estrutura existente.....	71
Figura 53 – Roteiro de obtenção dos parâmetros e dimensionamento de restauração .....	72
Figura 54 – Comando para ter acesso ao modelo de arquivo de bacias .....	73
Figura 55 – Dados adequados ao modelo de arquivo de bacias.....	73
Figura 56 – Organograma após a adequação das deflexões ao modelo de arquivo de bacias do BackMeDiNa .....	74
Figura 57 – Comando para importação do arquivo de bacias .....	75
Figura 58 – Tela principal do programa após importação dos dados medidos .....	75
Figura 59 – Organograma após a importação dos dados no BackMeDiNa .....	76
Figura 60 – Comando para inserir uma nova camada .....	77
Figura 61 – Comando para alterar o material de uma camada .....	77
Figura 62 – Estrutura alterada.....	79
Figura 63 – Comando para atribuir a estrutura alterada às demais bacias .....	79
Figura 64 – Organograma após a alteração da estrutura no BackMeDiNa .....	80
Figura 65 – Comando para dar início à retroanálise .....	81
Figura 66 – Tela principal do programa após o início da retroanálise.....	81
Figura 67 – Tela principal do programa após o fim da retroanálise.....	82
Figura 68 – Comando para remover uma bacia do arquivo de retroanálise.....	83
Figura 69 – Organograma após a obtenção dos módulos de resiliência por retroanálise.....	84
Figura 70 – Comando para salvar o arquivo de retroanálise.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Materiais disponíveis no programa MeDiNa .....	14
Tabela 2 – Coeficiente de Poisson para diferentes materiais .....	15
Tabela 3 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura convencional pelo MeDiNa.....	21
Tabela 4 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cimento pelo MeDiNa.....	39
Tabela 5 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cal pelo MeDiNa.....	51
Tabela 6 – Leituras obtidas no levantamento deflectométrico.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÕES.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>TIPOS DE CAMADAS E MATERIAIS NO PROGRAMA MeDiNa .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>COEFICIENTE DE POISSON .....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>MÓDULO DE RESILIÊNCIA .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4</b>	<b>PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DO MÉTODO MeDiNa .....</b>	<b>16</b>
<b>2.4.1</b>	<b>PROGRAMA MeDiNa .....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2</b>	<b>PROGRAMA AEMC.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4.3</b>	<b>PROGRAMA BACKMeDiNa .....</b>	<b>18</b>
<b>3</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA NOVA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>ESTRUTURA CONVENCIONAL.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.1</b>	<b>ENTRADA DE DADOS NO MeDiNa (EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO).....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>ESTRUTURA COM CAMADA TRATADA COM CIMENTO .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.1</b>	<b>ENTRADA DE DADOS NO MeDiNa (EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO).....</b>	<b>39</b>
<b>3.3</b>	<b>ESTRUTURA COM CAMADA TRATADA COM CAL.....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.1</b>	<b>ENTRADA DE DADOS NO MeDiNa (EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO).....</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES .....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>RETROANÁLISE .....</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>86</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de pavimentos pelo Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos Asfálticos (MeDiNa), implantado pelo DNIT em 2025, requer parâmetros distintos daqueles requeridos pelo tradicional Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (DNER, 1981). Apesar de os parâmetros requeridos pelo programa MeDiNa serem amplamente estudados no meio acadêmico, ainda é necessária a sua disseminação no meio técnico.

O presente roteiro é produto integrante do Termo de Execução Descentralizada celebrado entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e o Laboratório de Infraestrutura (INFRALAB) da Universidade de Brasília (UnB), e tem como intuito apresentar de forma objetiva a utilização dos programas do MeDiNa para o dimensionamento de estruturas de pavimento. Algumas possibilidades de utilização do programa AEMC e a utilização do programa BackMeDiNa para obtenção dos módulos de resiliência por retroanálise também são apresentadas.

Destaca-se que o presente documento é complementado pelo Roteiro de Ensaios para Obtenção de Parâmetros de Entrada dos Programas do MeDiNa, o qual fornece as referências procedimentais adequadas para obtenção de informações a respeito dos diferentes materiais e camadas que compõem o pavimento.

Essa ferramenta está em constante aprimoramento e as considerações apresentadas se referem às versões 2.0.0 do MeDiNa, 2.4.6 do AEMC e 1.3.0 do BackMeDiNa.

## 2 DEFINIÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as definições dos principais elementos que compõem o pacote MeDiNa.

### 2.1 TIPOS DE CAMADAS E MATERIAIS NO PROGRAMA MeDiNa

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (Bernucci *et al.*, 2022).

Considerando a origem e composição, é possível constatar que existem diferentes materiais usados na pavimentação, desde o subleito até o revestimento, e que a sua definição de uso envolve a análise dos recursos e seu desempenho frente às solicitações.

Tendo em vista o uso do pacote MeDiNa, apresenta-se as considerações a respeito dos materiais que compõem as camadas do pavimento:

- Camadas asfálticas
  - concreto asfáltico tradicional (CA),
  - concreto asfáltico com ligante modificado por polímero e
  - concreto asfáltico com asfalto-borracha.
  - tratamentos superficiais do tipo duplo e triplo
- Camadas granulares

As camadas granulares são aquelas compostas por materiais que recebem estabilização exclusivamente por processos mecânicos, sem adição de agentes cimentantes ou aglutinadores. Essas camadas normalmente ocorrem em bases, sub-bases e reforço de subleito, sendo constituídas por agregados, solos, ou ainda, pela

mistura de ambos. Quando esses materiais passam por um processo de seleção granulométrica para atender requisitos específicos, se diz que foram estabilizados granulometricamente (Balbo, 2007; Bernucci *et al.*, 2022).

- Camadas estabilizadas quimicamente

As camadas estabilizadas quimicamente são aquelas compostas por materiais granulares ou solos que, além da estabilização por processos mecânicos, são estabilizados pela adição de agentes cimentantes, como cimento Portland, cal ou outro aditivo. Essas camadas normalmente são utilizadas em pavimentos em regiões com carência de materiais granulares, ou em vias com alto volume de tráfego.

Na versão 2.0.0 do programa MeDiNa, são considerados materiais estabilizados quimicamente:

- solo-cimento,
- brita graduada tratada com cimento (BGTC) e
- concreto compactado com rolo (CCR).

- Camadas de solo-cal

Quando, pelo teor de cal utilizado, predominam modificações no solo, referentes à sua plasticidade e sensibilidade à água, tem-se um solo melhorado com cal. Quando predominam as reações de cimentação (carbonatação e pozolanização), tem-se as misturas solo-cal (DNIT, 2006).

- Camadas antirreflexão de trincas

As camadas antirreflexão de trincas são camadas projetadas para dissipar energia por meio de deformações, permitindo a movimentação das camadas subjacentes sem afetar as camadas superiores. De modo geral, essas camadas são compostas por misturas asfálticas de granulometria aberta ou de alta resiliência (Raul, 2019).

No programa MeDiNa essas camadas podem ser inseridas sobre camadas estabilizadas com cimento, no dimensionamento de estruturas novas.

Apesar da possibilidade da consideração desse tipo de camada, o programa MeDiNa não possui elementos nem modelos para avaliar a reflexão de trincas.

- Subleito

O subleito é a fundação do sistema de camadas que compõe a estrutura do pavimento. Nos cortes do corpo estradal, o subleito normalmente é composto de material natural compactado, ou por um material transportado e compactado, no caso de aterros.

A Tabela 1 a seguir resume os materiais disponíveis no programa MeDiNa com seus respectivos parâmetros, faixa de espessuras e necessidade de ensaios de desempenho (fadiga e deformação permanente):

**Tabela 1 – Materiais disponíveis no programa MeDiNa**

Camada	Parâmetros	Espessura (cm)	Ensaio de fadiga	Ensaio de deformação permanente
Misturas Asfálticas (CA, CA-modificado por polímero, CA-borracha, TSD, TST, SMA)	MR; v; coeficientes de fadiga;	CA: 5–15 TSD e TST: 1,5-5 SMA: 3–5	Sim	Não (FN atendido)
Granulares (materiais granulares e solos finos, siltosos ou argilosos)	MR; v; parâmetros de deformação permanente	15–40	Não	Sim
Estabilizadas quimicamente (solo-cimento, BGTC, CCR)	MR; v; coeficientes de fadiga	15–30	Sim	Não
Solos melhorados/estabilizados com cal	MR; v	15–40	Não	Não (exceto subleito)
Camadas Antirreflexão de Trincas	MR; v	1,5–3,0	Não	Não
Subleito	MR; v	-	Não	Sim

Nota: Os ensaios necessários são detalhados no Roteiro de Ensaios Necessários para Obtenção de Parâmetros de Entrada dos Programas do MeDiNa.

## 2.2 COEFICIENTE DE POISSON

O coeficiente de Poisson é definido como a razão de deformação lateral (ou radial) para a deformação vertical, quando um corpo de prova é solicitado verticalmente, conforme a equação a seguir:

$$\nu = - \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \quad (1)$$

onde:

$\nu$  é o coeficiente de Poisson, adimensional;

$\varepsilon_x$  é a deformação lateral (ou radial), adimensional;

$\varepsilon_z$  é a deformação vertical, adimensional.

Sua determinação pode ser feita medindo-se as deformações elásticas verticais e laterais durante um ensaio para obtenção do módulo de resiliência, no entanto, nesses ensaios é comum medir apenas a deformação elástica vertical. Como o coeficiente de Poisson tem um efeito relativamente pequeno na resposta do pavimento, é habitual assumir um valor razoável para o desenvolvimento de projetos, em vez de determiná-lo por meio de ensaios laboratoriais (Huang, 2004). Alguns valores típicos de coeficiente de Poisson para materiais de pavimentação são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Coeficiente de Poisson para diferentes materiais**

Material	Intervalo	Valor Típico
Concreto asfáltico	0,30 - 0,40	0,30
Materiais granulares	0,30 - 0,40	0,35
Materiais granulares tratados com cimento	0,10 - 0,20	0,15
Solos finos tratados com cimento	0,15 - 0,35	0,25
Materiais estabilizados com cal	0,10 - 0,25	0,20
Areia fofa ou areia siltosa	0,20 - 0,40	0,30
Areia densa	0,30 - 0,45	0,35
Solos de granulação fina	0,30 - 0,50	0,40

Fonte: Adaptado de Huang (2004)

## 2.3 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

O módulo de resiliência dos materiais pode ser determinado de duas maneiras: em laboratório ou em campo. Em laboratório esse parâmetro é obtido por meio da relação entre a tensão desvio aplicada repetidamente e a deformação vertical recuperável correspondente, conforme a equação a seguir:

$$MR = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} \quad (2)$$

onde:

$MR$  é o módulo de resiliência, expresso em MPa;

$\sigma_d$  é a tensão desvio, expressa em MPa;

$\varepsilon_r$  é a deformação recuperável, adimensional.

Em campo, os módulos de resiliência das diversas camadas podem ser obtidos por meio da interpretação ou retroanálise dos deslocamentos verticais recuperáveis medidos durante provas de carga, ensaios com viga Benkelman ou com deflectômetros de impacto (*Falling Weight Deflectometer - FWD*).

É comum encontrar na literatura, equações que relacionam o módulo de resiliência com o Índice de Suporte Califórnia (ISC) dos materiais, no entanto, esse tipo de correlação não é aconselhável tendo em vista que esses parâmetros não apresentam uma relação consistente (Bernucci *et al.*, 2022).

## 2.4 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DO MÉTODO MeDiNa

O pacote MeDiNa opera com um conjunto de programas que auxiliam na rotina de análises do comportamento da estrutura do pavimento os quais apresenta-se uma breve descrição. As funcionalidades apresentadas neste roteiro referem-se às versões 2.0.0 do MeDiNa, 2.4.6 do AEMC e 1.3.0 do BackMeDiNa.

### 2.4.1 Programa MeDiNa

O MeDiNa é um programa de computador que realiza a verificação e o dimensionamento mecanístico-empírico de estruturas de pavimentos asfálticos, por meio da rotina AEMC de análise elástica de múltiplas camadas (Franco & Motta, 2020).

Na verificação e no dimensionamento de estruturas convencionais de pavimentos asfálticos, o programa leva em consideração a fadiga de misturas asfálticas e a deformação permanente de camadas granulares e do subleito. A fadiga de misturas asfálticas é um fenômeno que ocorre devido à repetição dos carregamentos oriundos do tráfego rodoviário, e se caracteriza pela formação de microfissuras, que se propagam levando à fratura progressiva do material ao longo do tempo. Esse fenômeno se manifesta na superfície dos pavimentos em termos de área trincada (Balbo, 2007; Pinto & Preussler, 2010; Medina & Motta, 2015). No método MeDiNa, ao final do período de projeto, a porcentagem de área trincada deve ser menor ou igual a 30 %.

A deformação permanente se caracteriza principalmente pelos afundamentos de trilha de roda, decorrentes do acúmulo de deformação plástica. Esse processo afeta negativamente a funcionalidade do pavimento, e pode ser influenciado pela resistência das camadas inferiores e intensidade do tráfego (Balbo, 2007; Pinto & Preussler, 2010). No método MeDiNa, o máximo afundamento de trilha de roda admissível ao final do período de projeto é função da classificação funcional da via.

No caso da verificação e do dimensionamento de estruturas com camadas tratadas com cimento, além desses critérios, a fadiga dos materiais estabilizados quimicamente também é avaliada. Devido à fragilidade dos cristais resultantes da hidratação do cimento, a ação do tráfego pode favorecer o surgimento de microfissuras, que se propagam causando uma redução na rigidez da camada (Back, 2022). O programa MeDiNa limita a velocidade dessa redução; o módulo de resiliência da camada estabilizada quimicamente não deve decair mais que 25 % de seu valor em apenas um período de análise. O programa também verifica a deformabilidade da

camada subjacente à camada tratada com cimento, admitindo uma deflexão máxima de 70 (0,01 mm).

O dimensionamento de uma estrutura no programa MeDiNa consiste na variação da espessura de uma das camadas que compõem a estrutura, de modo que ao final do período de projeto os critérios avaliados sejam atendidos e a espessura da camada selecionada seja mínima.

#### **2.4.2 Programa AEMC**

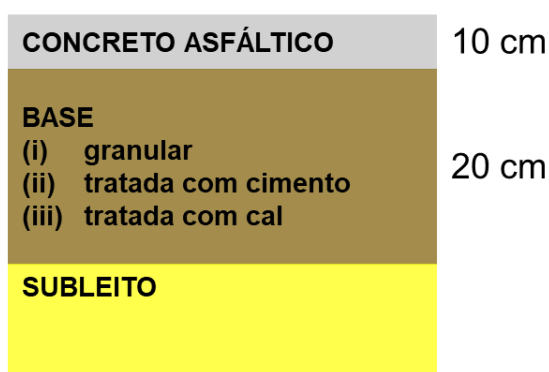
O AEMC é um programa de Análise Elástica de Múltiplas Camadas (AEMC) que calcula tensões, deformações e outras variáveis mecânicas, em estruturas de pavimentos com até oito camadas sob carregamento de rodas do tipo eixo rodoviário. O programa foi desenvolvido para uso como um componente nos programas MeDiNa e BackMeDiNa (Franco & Motta, 2020).

#### **2.4.3 Programa BackMeDiNa**

O BackMeDiNa é um programa de computador que realiza a retroanálise dos módulos de resiliência das camadas de um pavimento partindo das bacias deflectométricas levantadas em campo equipamentos do tipo FWD, desenvolvido para uso como um componente nos programas MeDiNa e AEMC (Franco & Motta, 2020).

### 3 DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURA NOVA

A fim de explorar as funcionalidades e exemplificar as possibilidades no programa MeDiNa serão apresentados três exemplos de dimensionamento: (i) estrutura convencional; (ii) estrutura com base tratada com cimento; (iii) estrutura com base tratada com cal. Nos exemplos a serem apresentados, nos três casos, os materiais da camada de revestimento e o subleito serão os mesmos. Na Figura 1 é apresentada a representação da estrutura proposta.



**Figura 1 – Representação da estrutura**

Na Figura 2 é apresentado um organograma com um roteiro para a obtenção dos parâmetros e o dimensionamento de uma estrutura nova utilizando o programa MeDiNa. O roteiro proposto se inicia com a obtenção dos parâmetros da camada asfáltica, no entanto, a ordem de caracterização dos materiais das camadas pode ser outra.

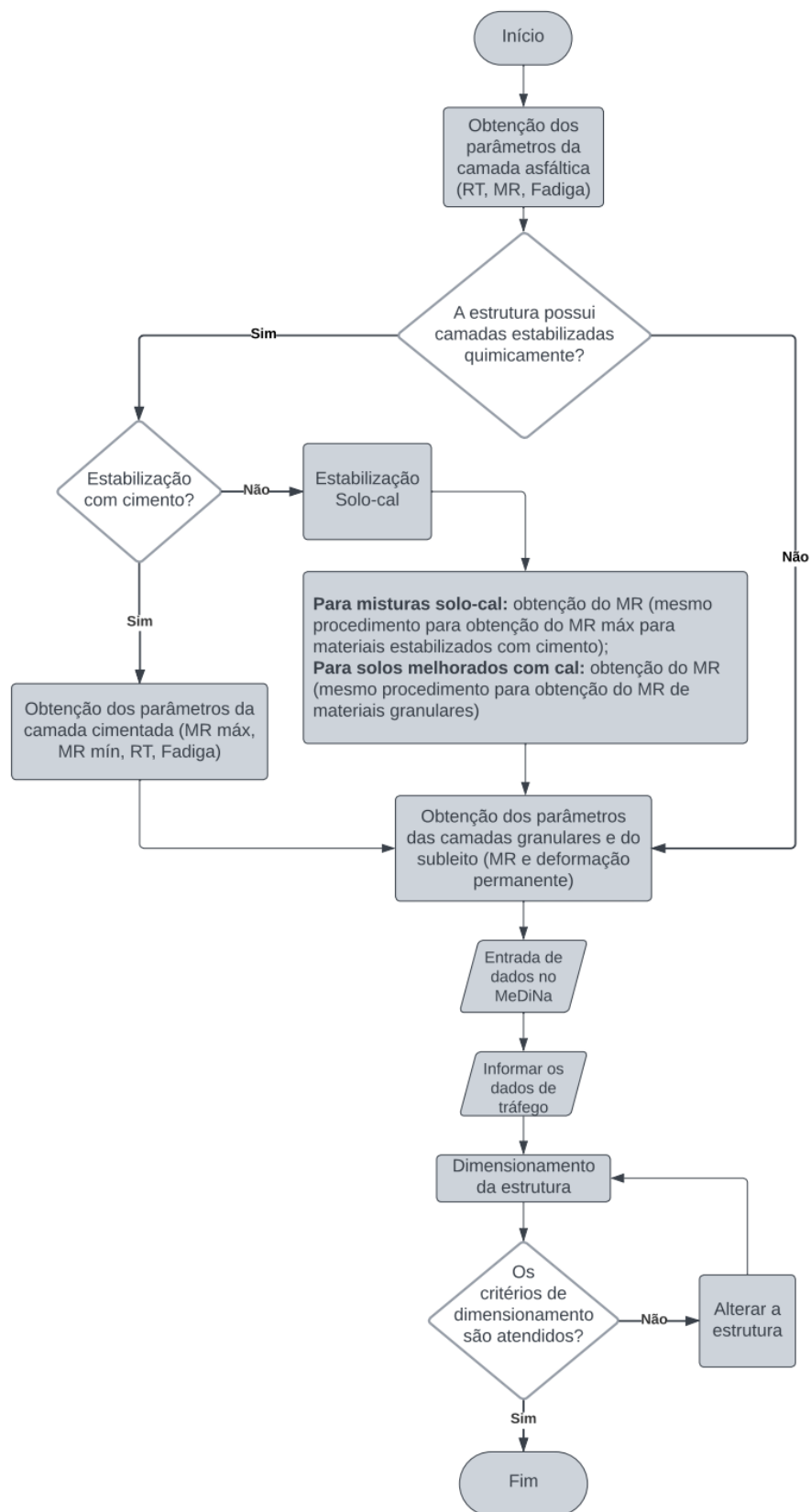


Figura 2 – Roteiro de obtenção dos parâmetros e dimensionamento

### 3.1 ESTRUTURA CONVENCIONAL

Neste tópico apresenta-se a exemplificação do dimensionamento de uma estrutura convencional composta por revestimento em concreto asfáltico, base de brita graduada e subleito de solo arenoso. Maiores detalhes a respeito da obtenção dos parâmetros das camadas podem ser verificados no documento **MeDiNa – Roteiro de Ensaios Necessários para Obtenção dos Parâmetros de Entrada do Programa**.

Conforme a Tabela 3, que apresenta um quadro resumo com todos os parâmetros, normas de ensaio e números de corpos de prova para cada camada do pavimento, são necessários 12 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros da base, 12 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros do subleito e 18 corpos de prova para obtenção dos parâmetros da mistura asfáltica.

**Tabela 3 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura convencional pelo MeDiNa**

Camada	Propriedades	Parâmetros	Norma	Quantidade de corpos de prova
Camadas granulares e subleito	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		$k_1, k_2, k_3, e k_4$ ou MR = cte	DNIT 134/2018-ME	3
	Deformação permanente	$\psi_1, \psi_2, \psi_3, e \psi_4$	DNIT 179/2018-IE	Preferencialmente 9, no mínimo 6
Misturas asfálticas	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		MR	DNIT 135/2018-ME	3
	Fadiga	RT	DNIT 136/2018-ME	3
		$k_1 e k_2$	DNIT 183/2018-ME	12

#### 3.1.1 Entrada de dados no MeDiNa (Exemplo de dimensionamento)

Para proceder com o dimensionamento da estrutura proposta na Figura 1 (i), abra o programa MeDiNa. Por configuração padrão, observe na Figura 3, que ao executar o programa, é apresentada na tela principal uma estrutura composta por uma camada asfáltica e duas camadas granulares sobre o subleito.

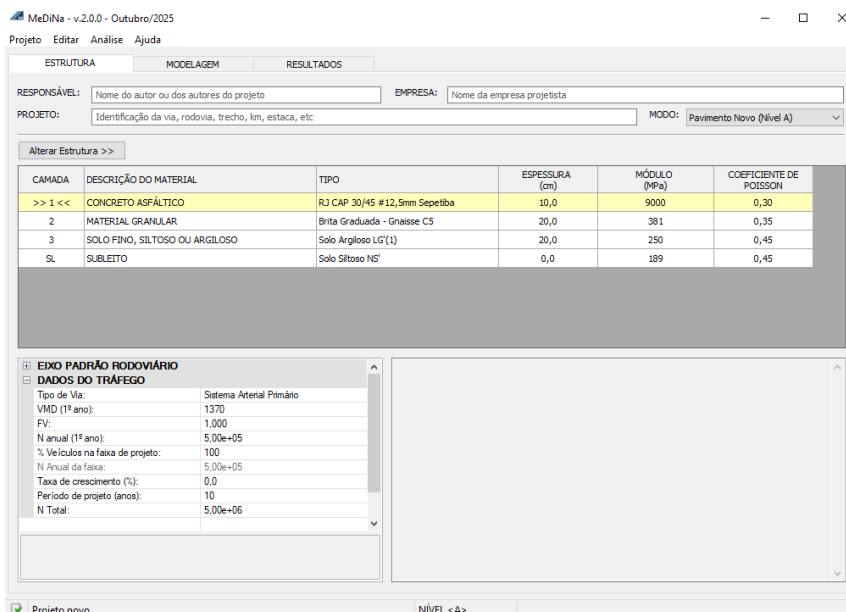


Figura 3 – Tela inicial do programa MeDiNa

Para adequar a estrutura apresentada na tela principal do programa com a estrutura proposta para o exemplo de dimensionamento, a camada 3 será excluída. Para isso, clique sobre esta camada, clique no botão **Alterar Estrutura**, e então clique na opção **Remover camada**. O procedimento está representado na Figura 4.

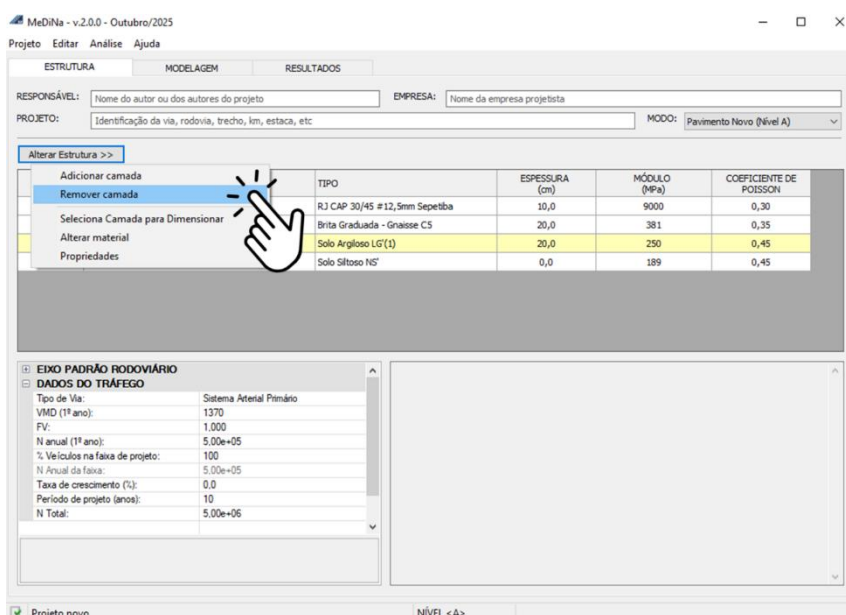


Figura 4 – Remoção de uma camada para adequação da estrutura

Com a estrutura adequada à situação proposta para o exemplo de dimensionamento, e obtidos os parâmetros necessários para o dimensionamento, o usuário pode proceder com a entrada de dados no programa MeDiNa.

### 3.1.1.1 Cadastro de novos materiais

Para exemplificar o dimensionamento de uma estrutura convencional serão considerados os seguintes materiais:

#### Camada de revestimento: concreto asfáltico

Parâmetros:

- Espessura: 10,0 cm
- Coeficiente de Poisson: 0,30

Deformabilidade elástica:

- Modelo constitutivo: resiliente linear
- Módulo de resiliência: 9000 MPa

Características:

- Tipo de CAP: 30/45
- Massa específica: 2,4 g/cm<sup>3</sup>
- Resistência à tração por compressão diametral: 2,08 MPa
- Teor de asfalto: 6,0 %
- Volume de vazios: 5,0 %
- Faixa: #12,5 mm
- Resistência à abrasão Los Angeles: 40,0 %
- Especificação de Serviço: DNIT 031/2024 – ES

### Parâmetros de fadiga

- Coeficiente de regressão (k1): 5,00E-14
- Coeficiente de regressão (k2): -3,992

### Camada de base: brita graduada

#### Parâmetros:

- Espessura: 20,0 cm
- Coeficiente de Poisson: 0,35

#### Deformabilidade elástica:

- Modelo constitutivo: resiliente não-linear
- Coeficiente de regressão k1: 1079,00
- Coeficiente de regressão k2: 0,450
- Coeficiente de regressão k3: -0,070
- Coeficiente de regressão k4: 0,000

#### Características:

- Descrição do material: brita graduada
- Massa específica: 2,244 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade ótima: 5,7 %
- Energia de compactação: modificada
- Resistência à abrasão Los Angeles: 43,0 %
- Especificação de Serviço: DNIT 141/2022 - ES

Parâmetros de deformação permanente:

- Coeficiente de regressão  $\psi_1$ : 0,0775
- Coeficiente de regressão  $\psi_2$ : -0,2304
- Coeficiente de regressão  $\psi_3$ : 1,1428
- Coeficiente de regressão  $\psi_4$ : 0,0857

**Subleito: solo arenoso**

Parâmetros:

- Espessura: 0,0
- Coeficiente de Poisson: 0,45

Deformabilidade elástica:

- Modelo constitutivo: resiliente não-linear
- Coeficiente de regressão  $k_1$ : 784,88
- Coeficiente de regressão  $k_2$ : 0,340
- Coeficiente de regressão  $k_3$ : 0,000
- Coeficiente de regressão  $k_4$ : 0,000

Características:

- Descrição do material: solo arenoso
- Grupo MCT: NA
- Coeficiente  $c'$ : 0,25
- Índice  $e'$ : 1,67

- Massa específica: 1,820 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade ótima: 10,0 %
- Energia de compactação: intermediária
- Especificação de Serviço: DNIT 137/2010 - ES

Parâmetros de deformação permanente:

- Coeficiente de regressão  $\psi_1$ : 0,097
- Coeficiente de regressão  $\psi_2$ : -1,600
- Coeficiente de regressão  $\psi_3$ : 1,900
- Coeficiente de regressão  $\psi_4$ : 0,063

Para cadastrar novos materiais no programa MeDiNa, clique duas vezes sobre a descrição do material na coluna Tipo. Na janela de propriedades da camada, clique em **Projeto Novo**, então clique em **Projeto** e insira os dados apresentados anteriormente. Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 é ilustrado esse processo para a camada de revestimento (camada 1). Neste exemplo o material da camada de revestimento foi cadastrado como **Concreto asfáltico Exemplo**.

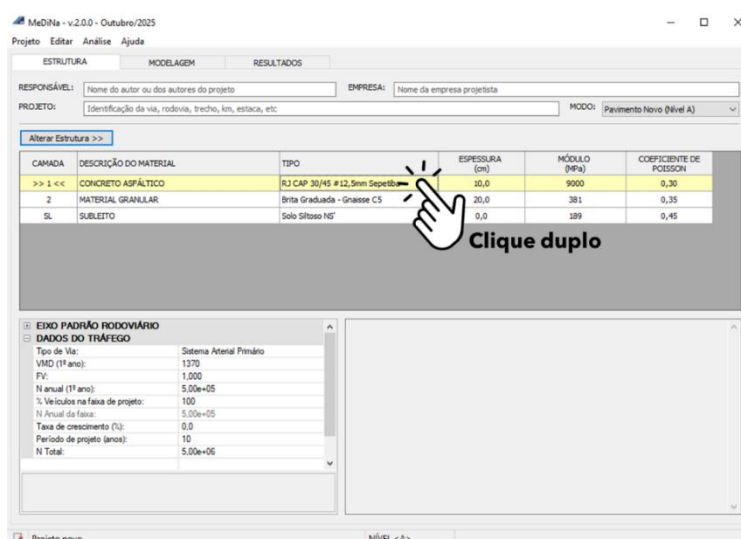


Figura 5 – Atalho para acessar a janela de propriedades da camada

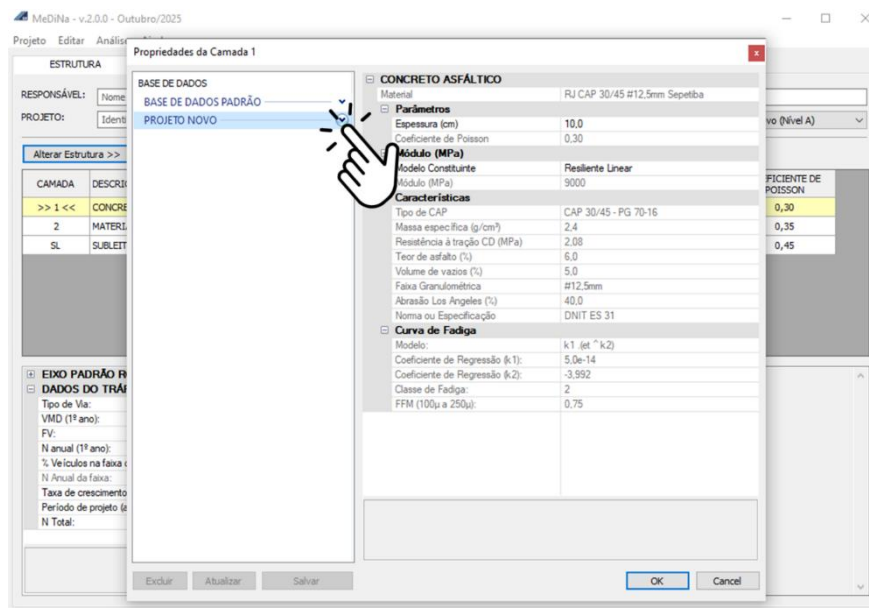


Figura 6 – Comando para cadastrar novos materiais (parte 1)

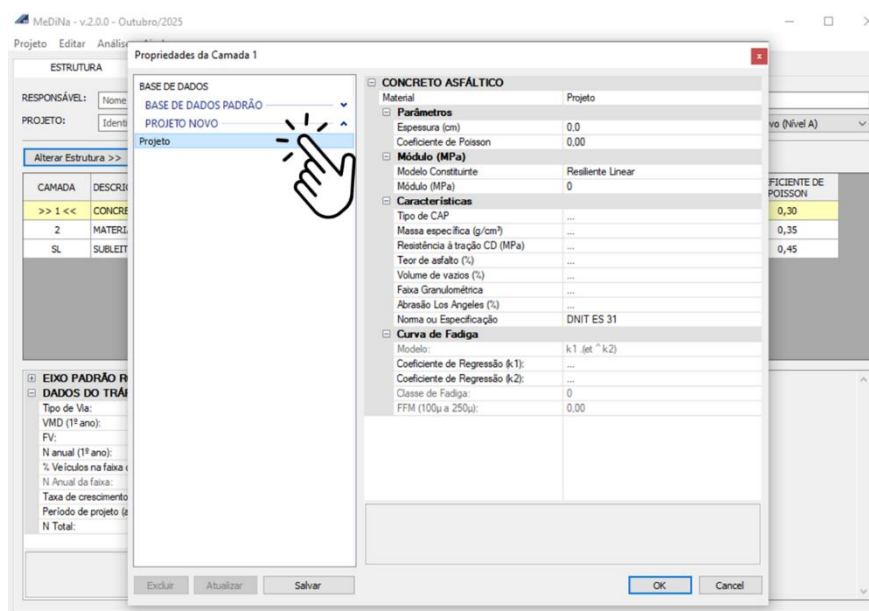


Figura 7 – Comando para cadastrar novos materiais (parte 2)

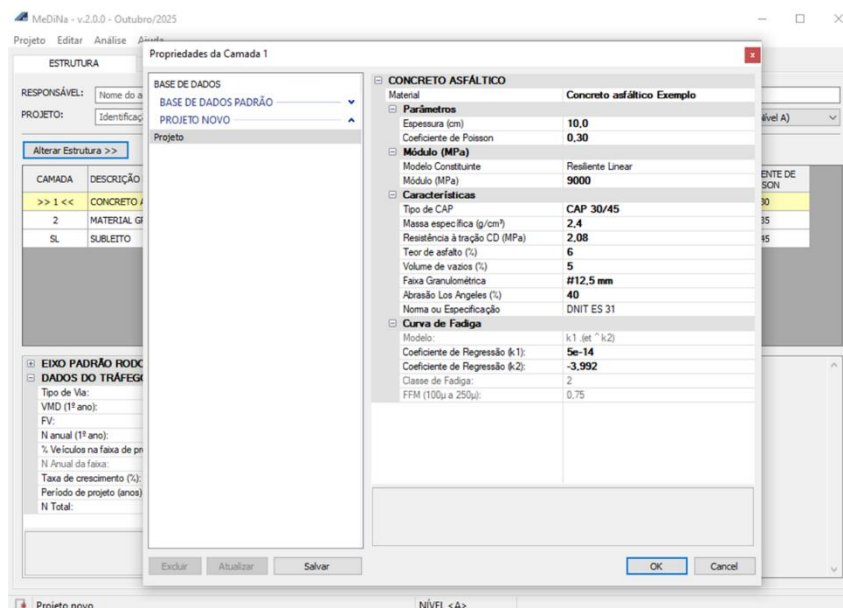


Figura 8 – Cadastro do material para a camada de revestimento

Inseridos os parâmetros do material proposto para a camada de revestimento, clique em **Salvar**, na caixa de diálogo que se abre clique em **Sim** para prosseguir, e por fim clique em **Ok**. Esse processo está representado na Figura 9.

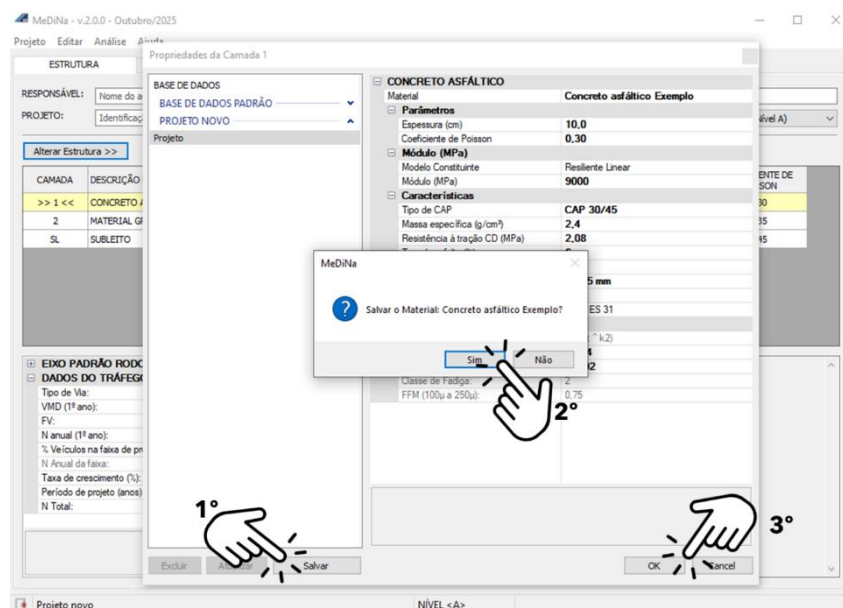


Figura 9 – Salvando o material cadastrado

O processo deve ser repetido para o cadastro dos demais materiais que irão compor a estrutura e que eventualmente ainda não estejam cadastrados no banco de dados do programa MeDiNa no computador do usuário.

Na Figura 10 e na Figura 11 estão ilustradas as etapas de inserção dos dados para os materiais considerados para a camada de base granular e para o subleito da estrutura, nomeados respectivamente, como **Brita Graduada Exemplo** e **Subleito Exemplo**.

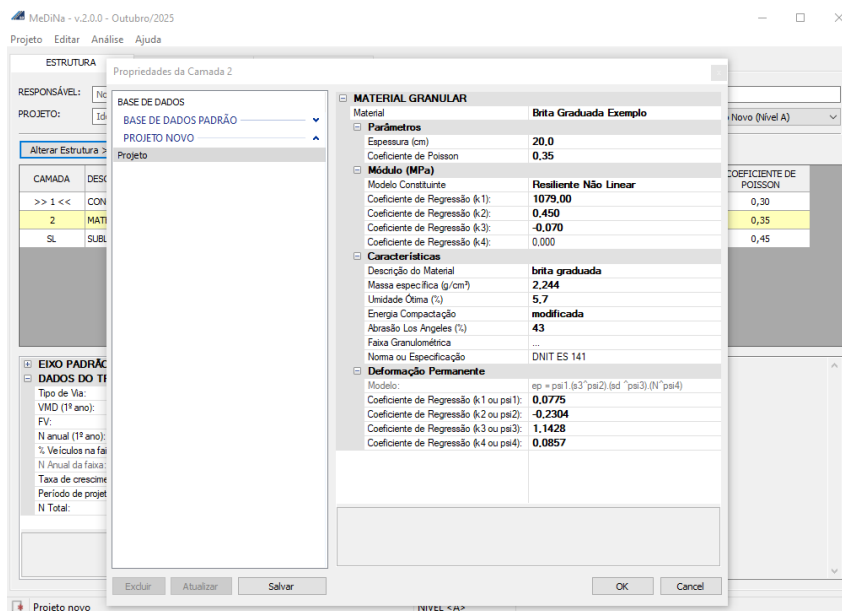


Figura 10 – Cadastro do material para a base granular

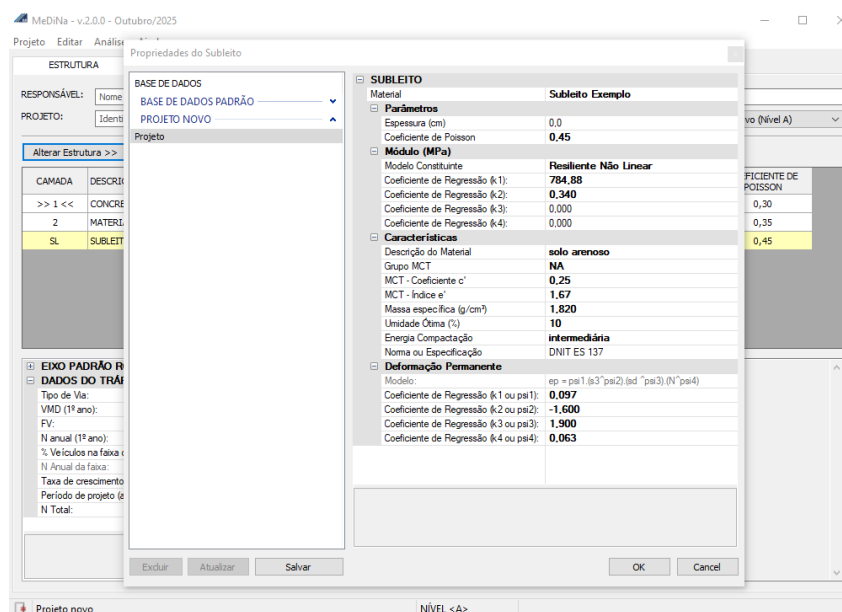


Figura 11 – Cadastro do material para o subleito

A representação do organograma com o roteiro proposto, após a entrada de dados dos materiais, é apresentada na Figura 12.

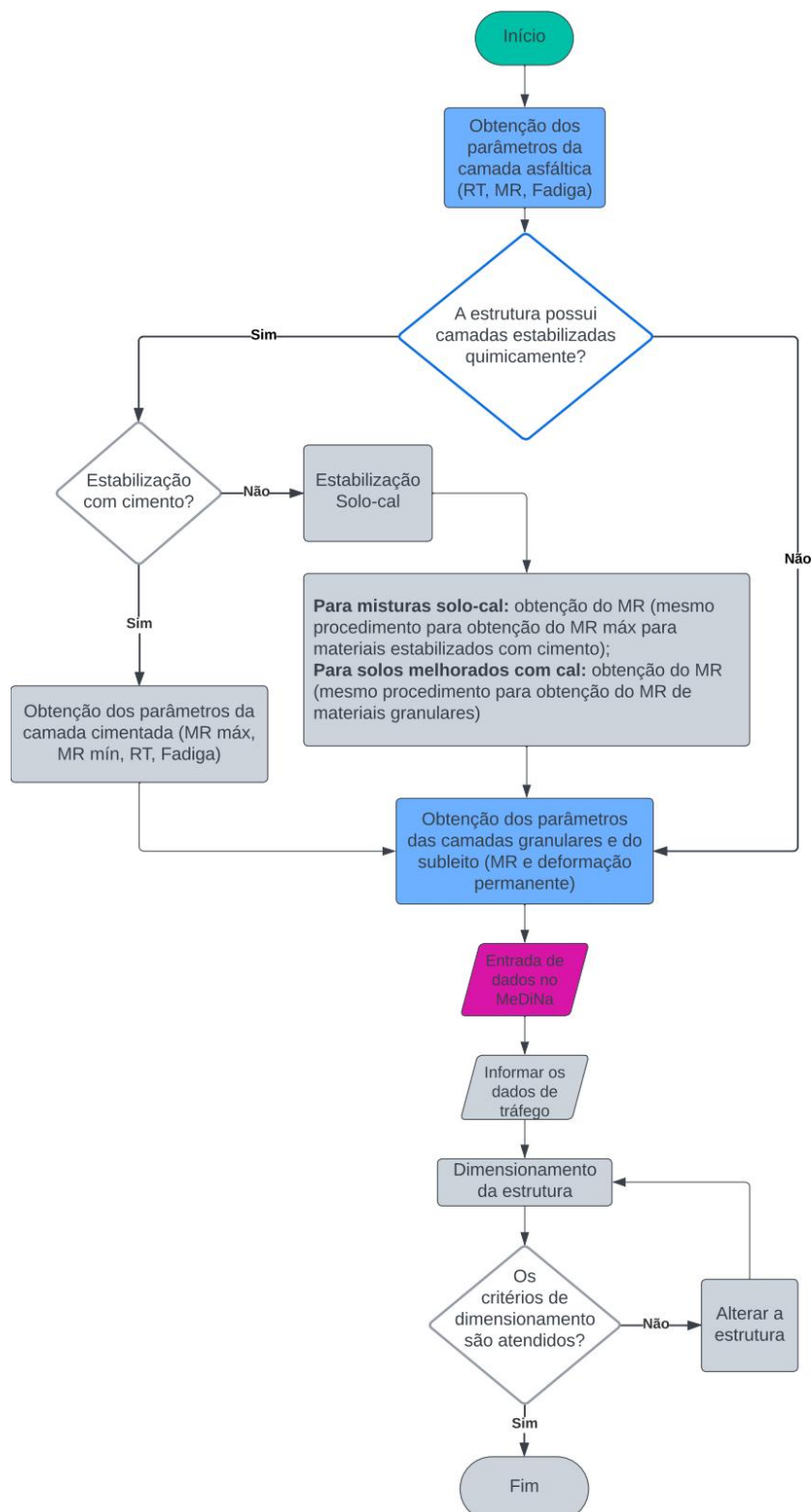


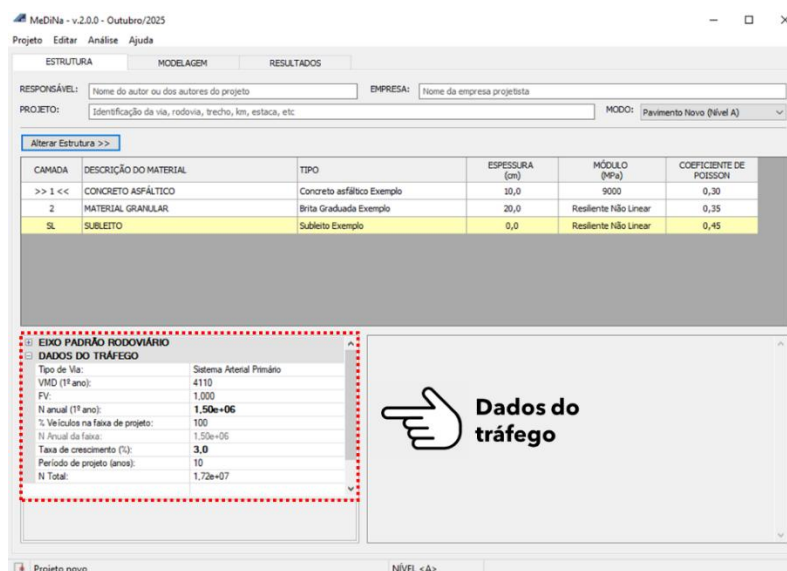
Figura 12 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa

### 3.1.1.2 Inserindo os dados de tráfego

Uma vez que os materiais foram cadastrados o usuário deve inserir os dados do tráfego. Para o exemplo proposto serão considerados os seguintes dados:

- Tipo de via: Sistema Arterial Primário
- N anual (1º ano):  $1,50 \times 10^6$
- Porcentagem de veículos na faixa de projeto: 100 %
- Taxa de crescimento: 3 % ao ano
- Período de projeto: 10 anos

Caso sejam conhecidos o volume médio diário (VMD) do primeiro ano e a composição do tráfego, é possível entrar com esses dados, que o programa MeDiNa calcula o fator de veículos e o número de solicitações (N) do primeiro ano. Nesse exemplo o N do primeiro ano já foi informado. Na Figura 13 é ilustrada a etapa de inserção dos dados de tráfego no programa MeDiNa.



**Figura 13 – Cadastro dos dados de tráfego**

A representação do organograma com o roteiro proposto para o dimensionamento da estrutura convencional, após a inserção dos dados de tráfego, é apresentada na Figura 14.

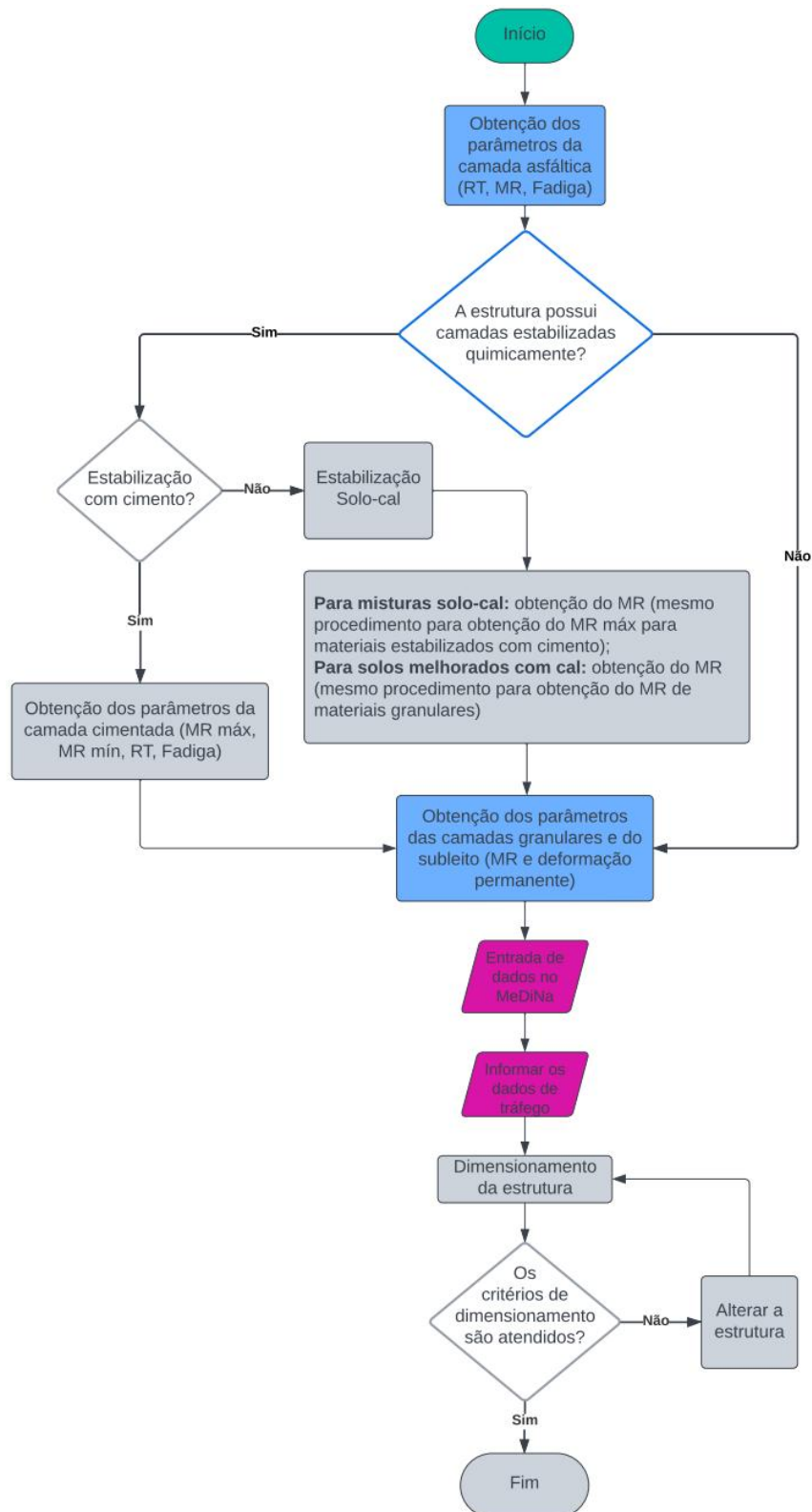
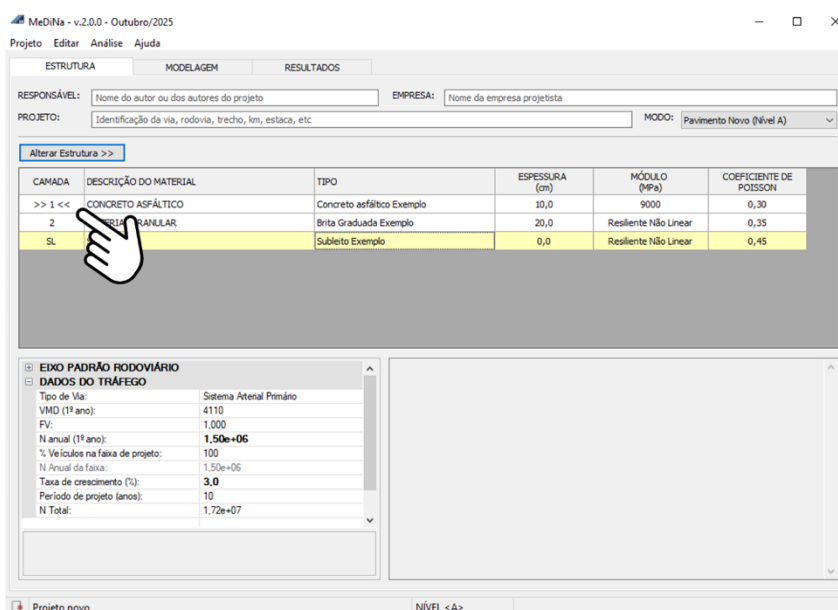


Figura 14 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa

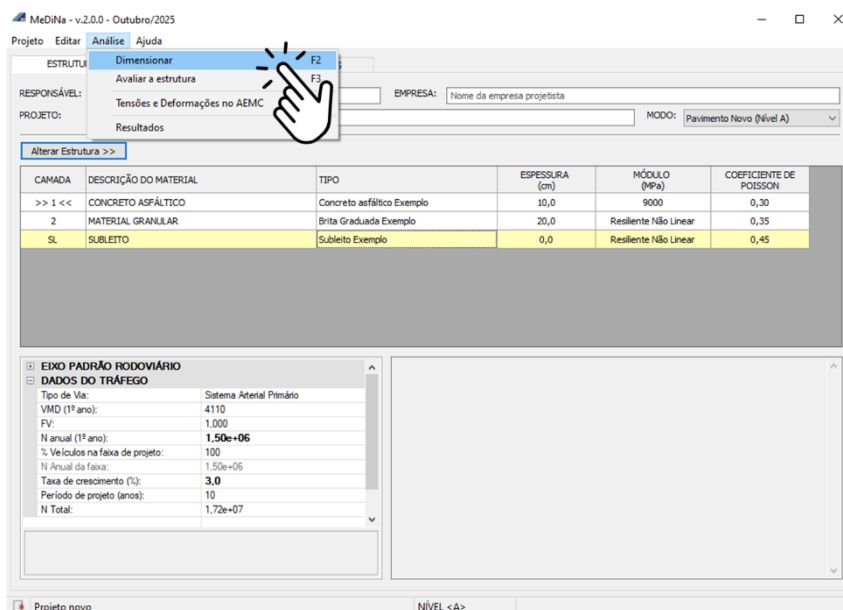
### 3.1.1.3 Dimensionamento

Para selecionar uma camada para o dimensionamento o usuário pode dar um clique duplo sobre o número que identifica a camada na primeira coluna da tabela com as propriedades da estrutura na tela inicial do programa. Por configuração padrão, ao executar o programa, a camada de revestimento está selecionada para o dimensionamento. A camada selecionada para o dimensionamento tem seu número acompanhado por sinais de desigualdade, como destacado na Figura 15.



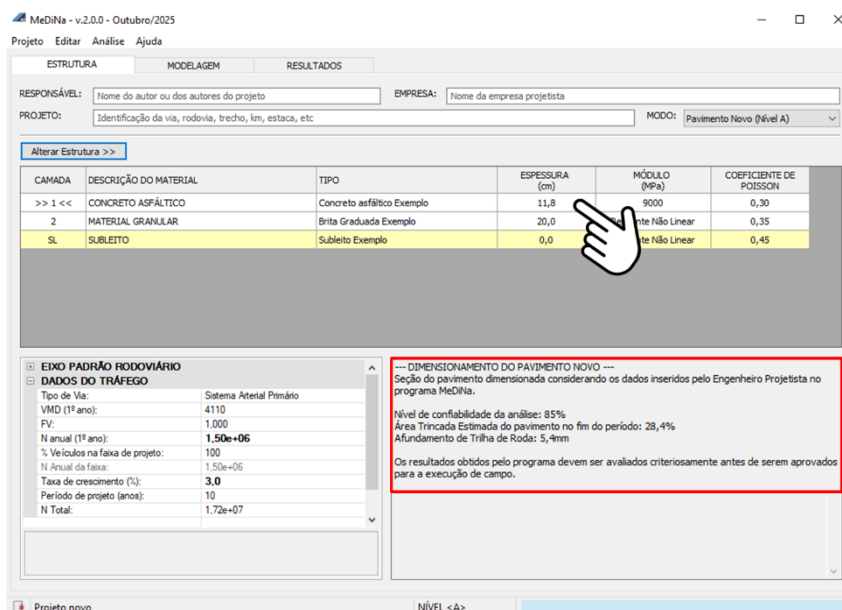
**Figura 15 – Símbolos que indicam a camada selecionada para o dimensionamento.**

Após selecionar a camada desejada, para proceder com o dimensionamento clique no menu **Análise** e na opção **Dimensionar**. Esse processo é ilustrado na Figura 16.



**Figura 16 – Comando para dimensionar a estrutura**

Nesse exemplo, após o dimensionamento, note que a espessura da camada selecionada para o dimensionamento (camada de revestimento) foi aumentada de 10,0 cm para 11,8 cm. Na parte inferior da tela é exibida uma mensagem com o nível de confiabilidade da análise (85 %), e as estimativas de porcentagem de área trincada (28,4 %) e de afundamento de trilha de roda (ATR) (5,4 mm) ao final do período de projeto. O nível de confiabilidade da análise é função da classificação funcional do pavimento, nesse caso trata-se uma rodovia pertencente ao sistema arterial primário. No método MeDiNa, a classificação funcional da rodovia também estabelece o máximo valor admissível de ATR, nesse caso 13 mm (DNIT, 2020). Os resultados do dimensionamento são apresentados na Figura 17.



**Figura 17 – Resultados do dimensionamento da estrutura convencional**

Percebe-se que com o dimensionamento, tanto o critério de porcentagem de área trincada (30 %) quanto o critério de deformação permanente (13 mm) são atendidos. A representação do organograma com o roteiro proposto, após o dimensionamento da estrutura, é apresentada na Figura 18. Caso os critérios de dimensionamento não sejam atendidos a estrutura deve ser alterada, aumentando a espessura de uma ou mais camadas.

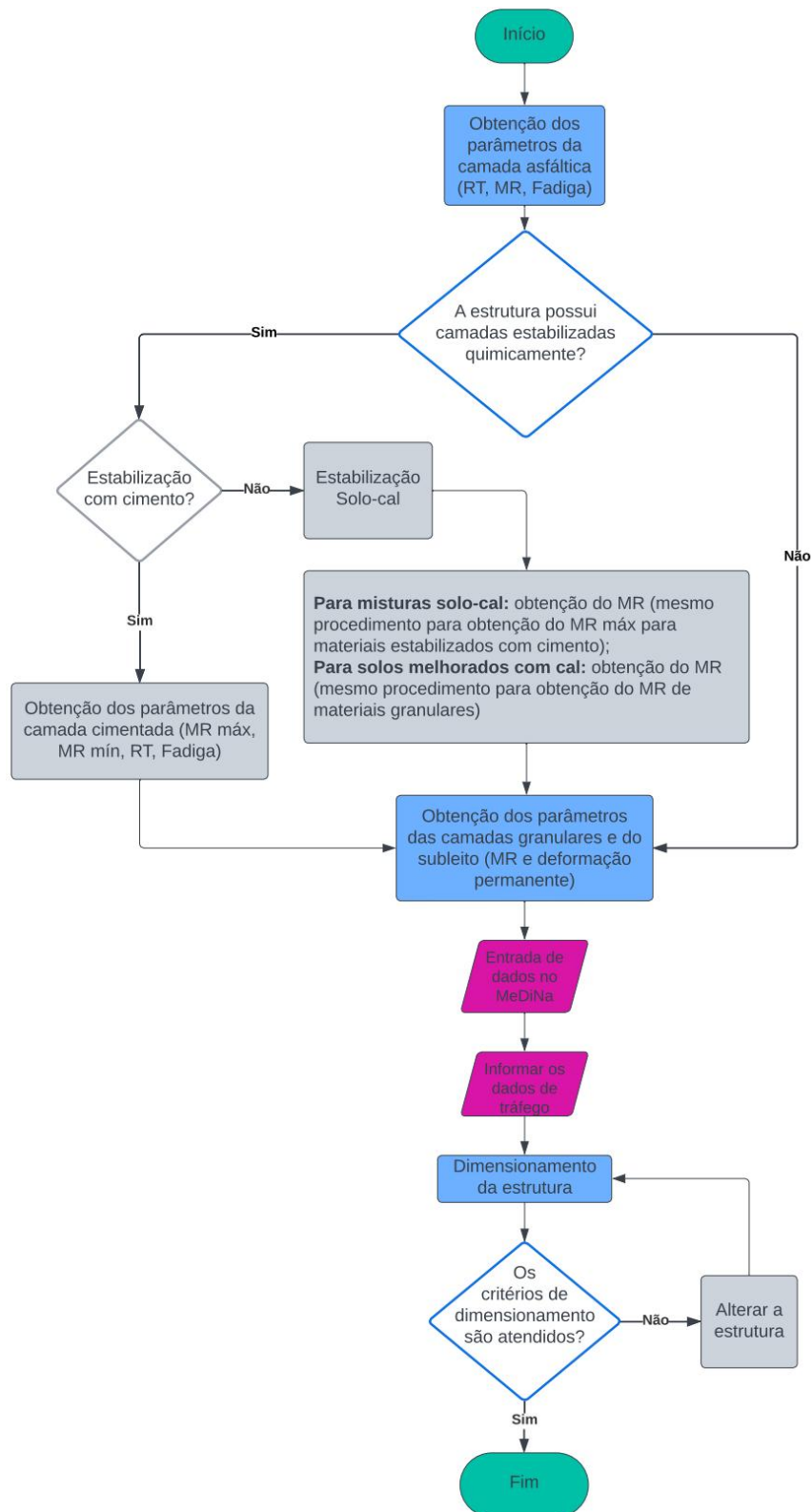
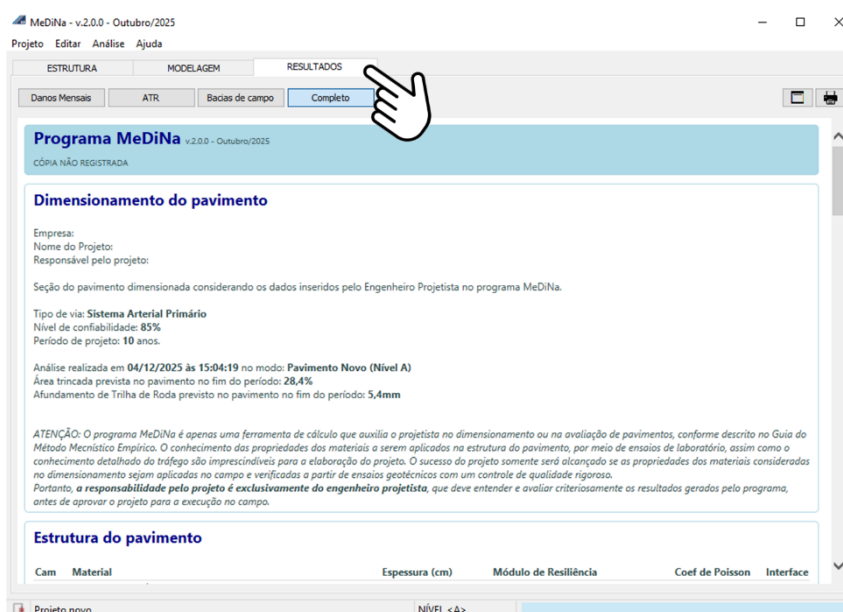


Figura 18 – Organograma após o dimensionamento da estrutura convencional

### 3.1.1.4 Relatório de resultados

Clicando na aba resultados o usuário tem acesso a um relatório com as principais informações do dimensionamento: estimativas de área trincada e afundamento de trilha de roda ao final do período de projeto; a estrutura dimensionada; os parâmetros de deformabilidade elástica considerados; os modelos dos coeficientes de fadiga, no caso das misturas asfálticas, e de deformação permanente, no caso de materiais granulares; a definição do tráfego; a evolução mensal dos danos; a contribuição de cada camada no afundamento de trilha de roda previsto; e as deflexões no topo de cada camada. A aba de acesso e o relatório de resultados podem ser visualizados na Figura 19.



**Figura 19 – Relatório de resultados**

Para salvar o arquivo, clique no menu **Projeto** e na opção **Salvar**. Na janela que é exibida escolha um local para salvar o arquivo, atribua um nome e clique em **Salvar**. Esse processo está ilustrado na Figura 20.

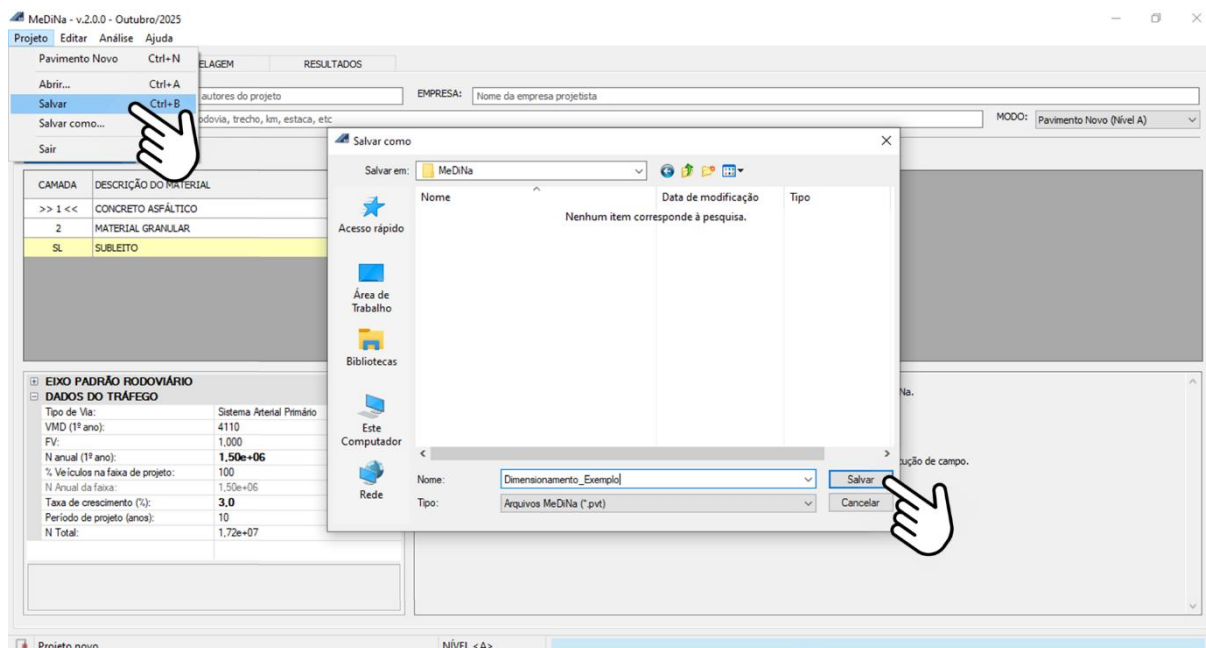


Figura 20 – Comando para salvar o arquivo de dimensionamento

### 3.2 ESTRUTURA COM CAMADA TRATADA COM CIMENTO

Neste tópico apresenta-se a exemplificação do dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cimento composta por revestimento em camada asfáltica, base de solo-cimento e subleito arenoso. Maiores detalhes a respeito da obtenção dos parâmetros das camadas podem ser verificados no documento **MeDiNa – Roteiro de Ensaios Necessários para Obtenção dos Parâmetros de Entrada do Programa**.

Conforme a Tabela 4, que apresenta um quadro resumo com todos os parâmetros, normas de ensaio e números de corpos de prova para cada camada do pavimento, são necessários 21 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros da base, 12 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros do subleito e 18 corpos de prova para obtenção dos parâmetros da mistura asfáltica.

**Tabela 4 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cimento pelo MeDiNa**

Camada	Propriedades	Parâmetros	Norma	Quantidade de corpos de prova
Camadas granulares e subleito	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		$k_1, k_2, k_3, e k_4$ ou MR = cte	DNIT 134/2018-ME	3
	Deformação permanente	$\psi_1, \psi_2, \psi_3, e \psi_4$	DNIT 179/2018-IE	Preferencialmente 9, no mínimo 6
Camadas estabilizadas quimicamente	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		MRmin <sup>1</sup>	DNIT 134/2018-ME	3
		MRmax	DNIT 181/2018-ME	3
	Fadiga	RT	DNIT 136/2018-ME	3
		$k_1 e k_2$	DNIT 434/2022-ME	12
Misturas asfálticas	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		MR	DNIT 135/2018-ME	3
	Fadiga	RT	DNIT 136/2018-ME	3
		$k_1 e k_2$	DNIT 183/2018-ME	12

Nota: <sup>1</sup> O valor deve ser inferido pelo projetista. Sugere-se que o valor do módulo final seja correspondente ao MR do material sem estabilização química.

### 3.2.1 Entrada de dados no MeDiNa (Exemplo de dimensionamento)

Para proceder com o dimensionamento da estrutura proposta na Figura 1 (ii), abra o programa MeDiNa, e adeque a estrutura apresentada na tela principal do programa com a estrutura proposta para o exemplo de dimensionamento. Após adequar a estrutura em relação ao número de camadas (ver subseção 3.1.1), é necessário fazer as adequações referentes ao tipo de material. Para isso, selecione a camada 2 e clique no botão **Alterar Estrutura**, e então clique na opção **Alterar material**. No menu suspenso que aparece escolha a opção **solo cimento**. Clique em **Sim** para confirmar. O procedimento está representado nas Figuras 21 e 22.

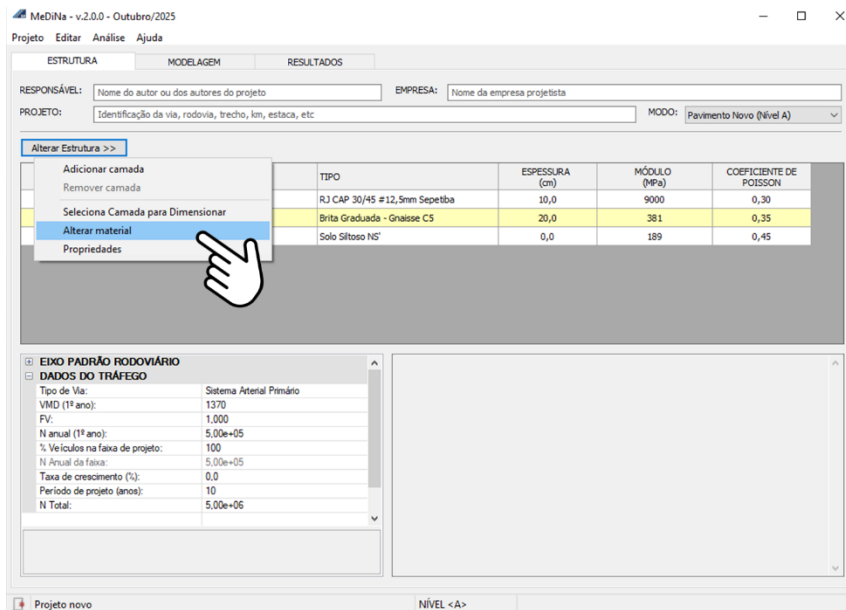


Figura 21 – Comando para alterar o material de uma camada

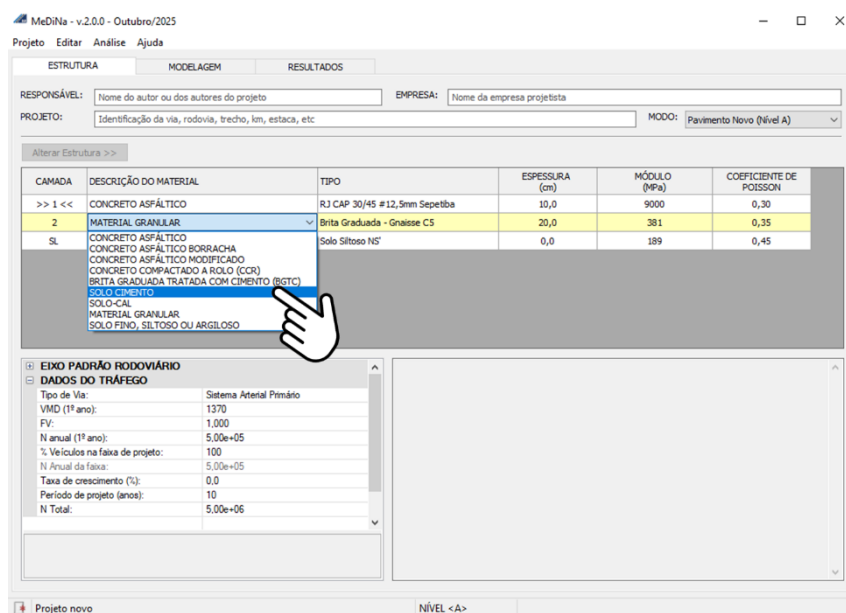
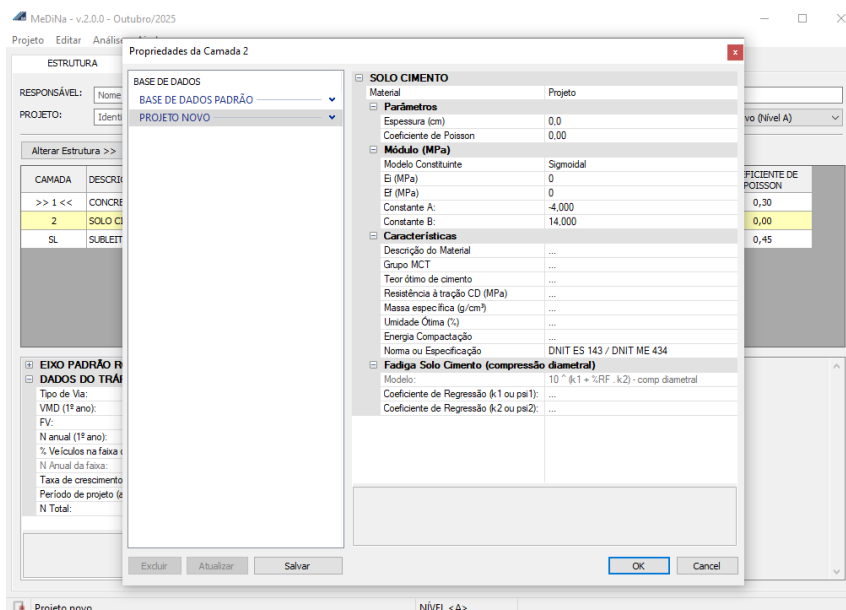


Figura 22 – Menu suspenso com as opções de materiais disponíveis

Observe que ao clicar em **Sim** a janela de propriedades da camada é aberta para o cadastro de um novo material ou para a seleção de um material já cadastrado. Essa etapa é ilustrada na Figura 23.



**Figura 23 – Janela de propriedades da camada**

### 3.2.1.1 Cadastro de novos materiais

Para exemplificar o dimensionamento de uma estrutura com base tratada com cimento, serão considerados, para a camada de revestimento e para o subleito, os mesmos materiais do exemplo anterior (ver subseção 3.1.1.1). Para a camada de base, será considerado o seguinte material:

#### Camada de base: solo-cimento

Parâmetros:

- Espessura: 20,0 cm
- Coeficiente de Poisson: 0,25

Deformabilidade elástica:

- Modelo constitutivo: sigmoidal
- Módulo inicial: 6040 MPa
- Módulo final: 604 MPa

## Características:

- Descrição do material: solo arenoso
- Grupo MCT: NA'
- Teor ótimo de cimento: 8 %
- Resistência à tração por compressão diametral: 0,60 MPa
- Massa específica: 1,719 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade ótima: 17,4 %

## Parâmetros de fadiga:

- Coeficiente de regressão k1: 76,8
- Coeficiente de regressão k2: -100,3

Na Figura 24 está ilustrada a etapa de inserção dos dados do material considerado para a camada de base tratada com cimento, nomeado como **Solo-cimento Exemplo**, na janela de propriedades da camada.

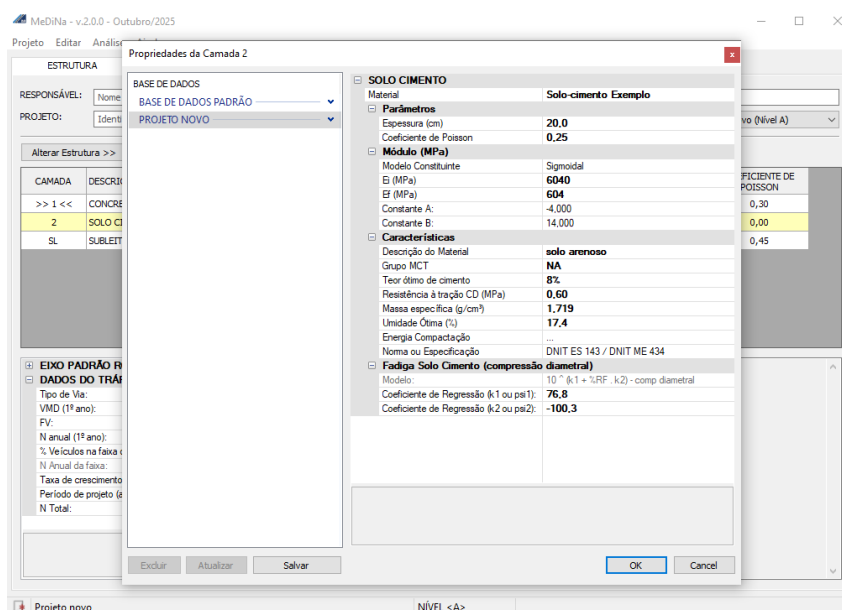


Figura 24 – Cadastro do material para a base tratada com cimento

Inseridos os parâmetros do material proposto para a camada de base, clique em **Salvar**, na caixa de diálogo que se abre clique em **Sim** para prosseguir, e por fim clique em **Ok** (ver Figura 9).

### 3.2.1.2 Selecionando materiais cadastrados

Para a camada de revestimento e para o subleito, serão considerados os mesmos materiais do exemplo anterior (ver subseção 3.1.1.1). Para atribuir às camadas materiais previamente cadastrados no banco de dados, uma das formas é clicar duas vezes sobre a descrição do material na coluna Tipo, clicar em **Projeto Novo** na janela de propriedades, selecionar o material e clicar em Ok. Essa sequência de comandos está ilustrada nas Figuras 25, 26 e 27, para a camada de revestimento. Para o subleito o procedimento é semelhante.

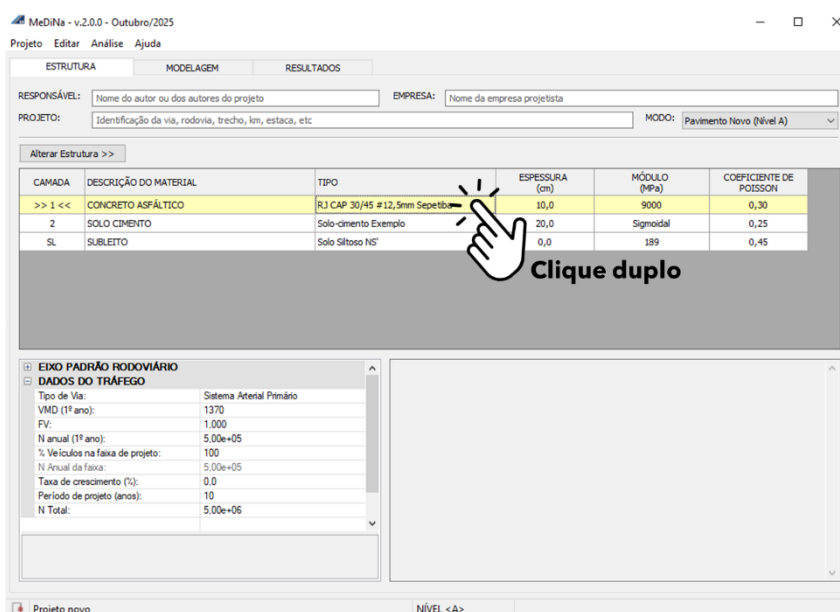
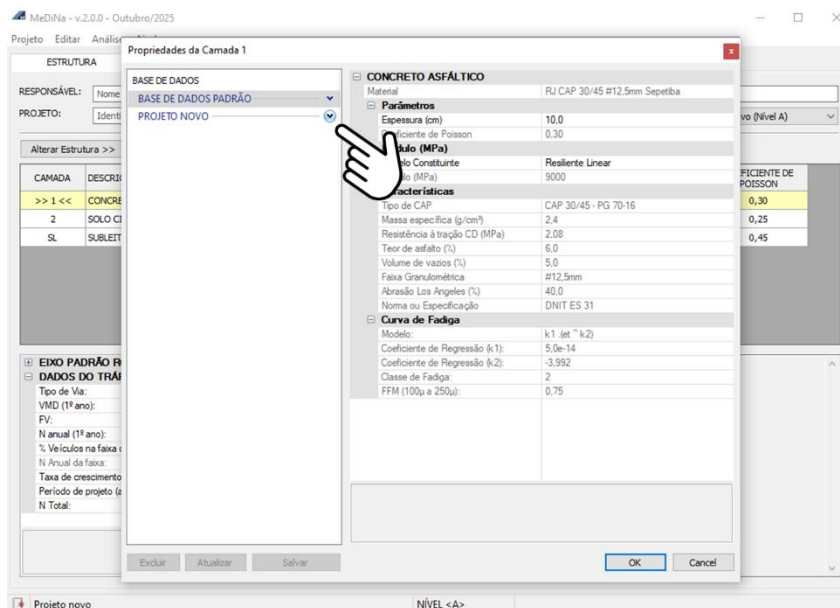
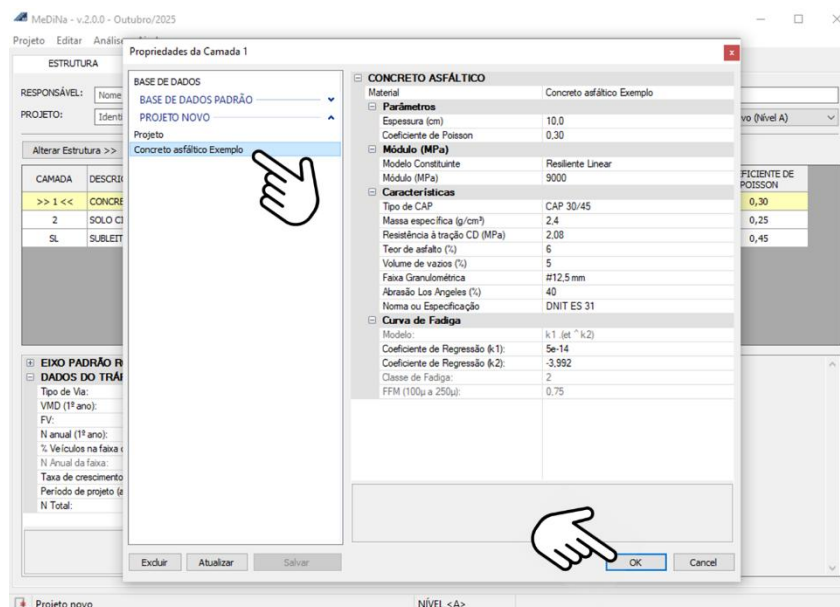


Figura 25 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 1)

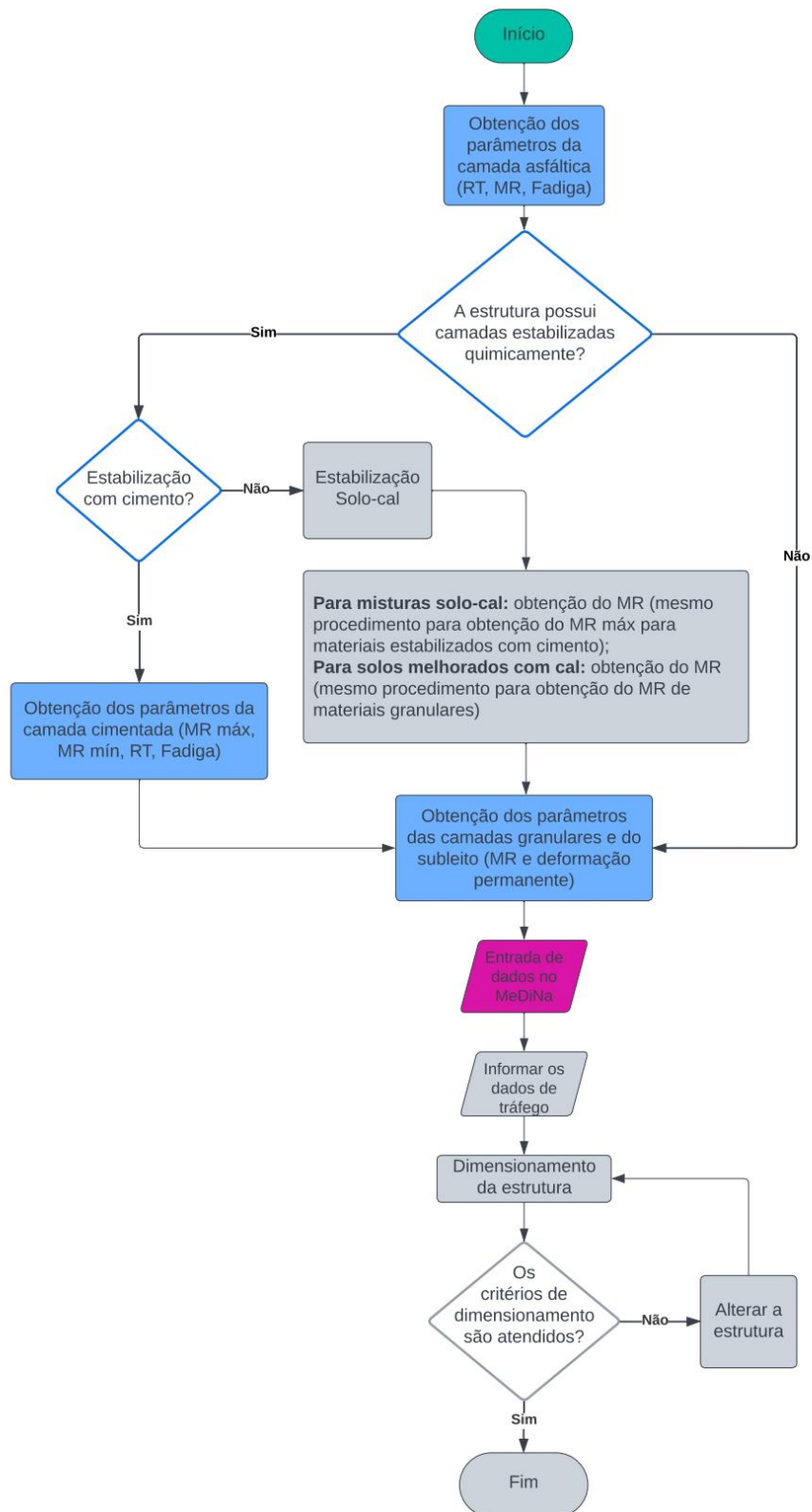


**Figura 26 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 2)**



**Figura 27 – Comando para seleção de materiais já cadastrados (parte 3)**

A representação do organograma com o roteiro proposto para o dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento, após a entrada de dados dos materiais, é apresentada na Figura 28.



**Figura 28 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa MeDiNa**

### 3.2.1.3 Inserindo os dados de tráfego

Os dados de tráfego serão os mesmos apresentados no exemplo anterior (ver subseção 3.1.1.2). A representação do organograma com o roteiro proposto para o dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento, após a inserção dos dados de tráfego, é apresentada na Figura 29.

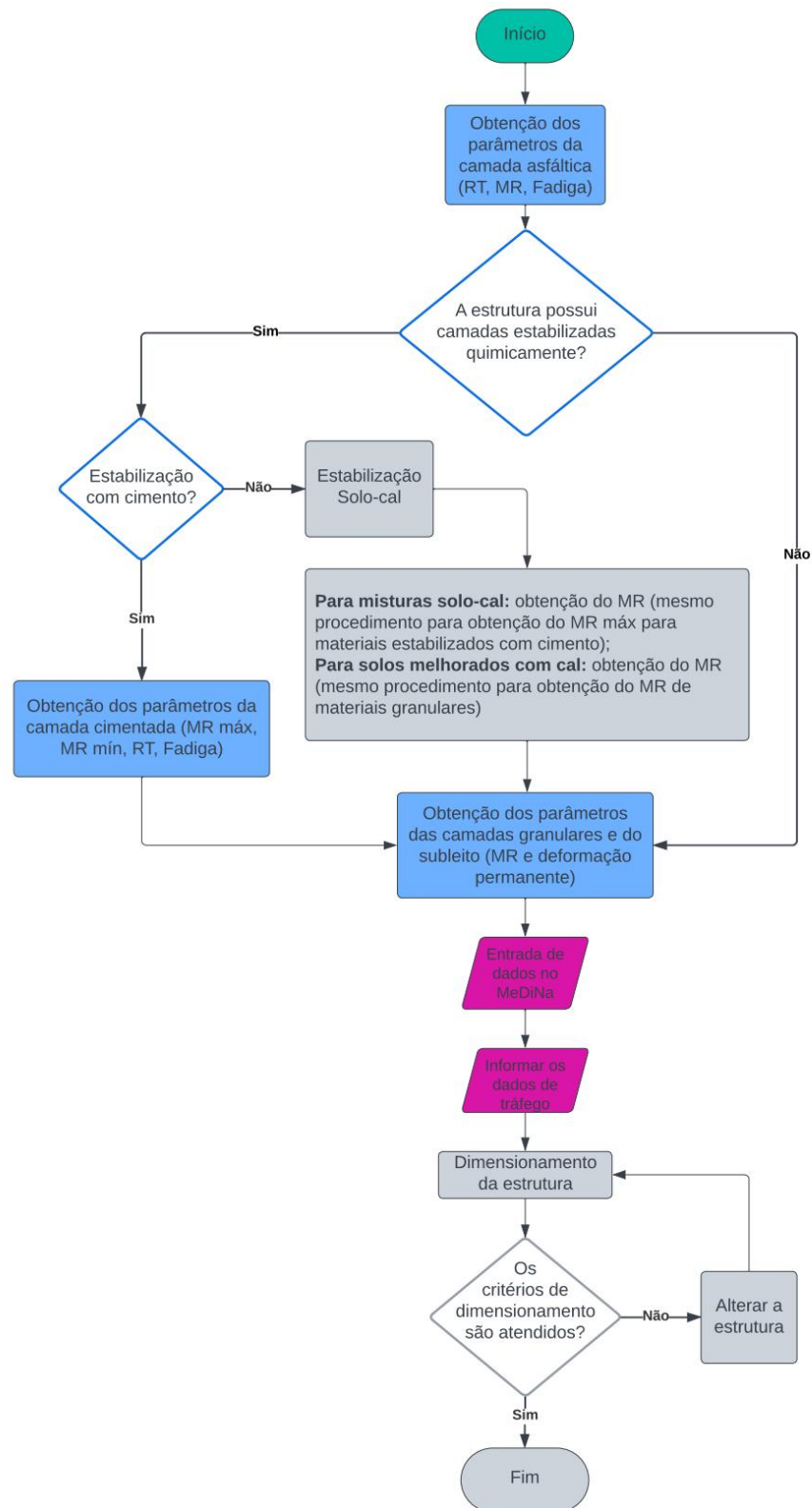
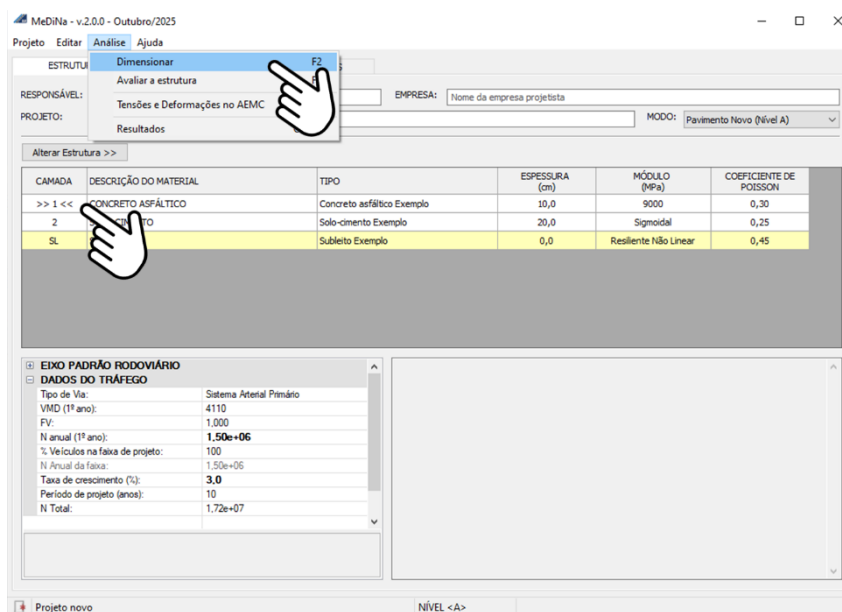


Figura 29 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa

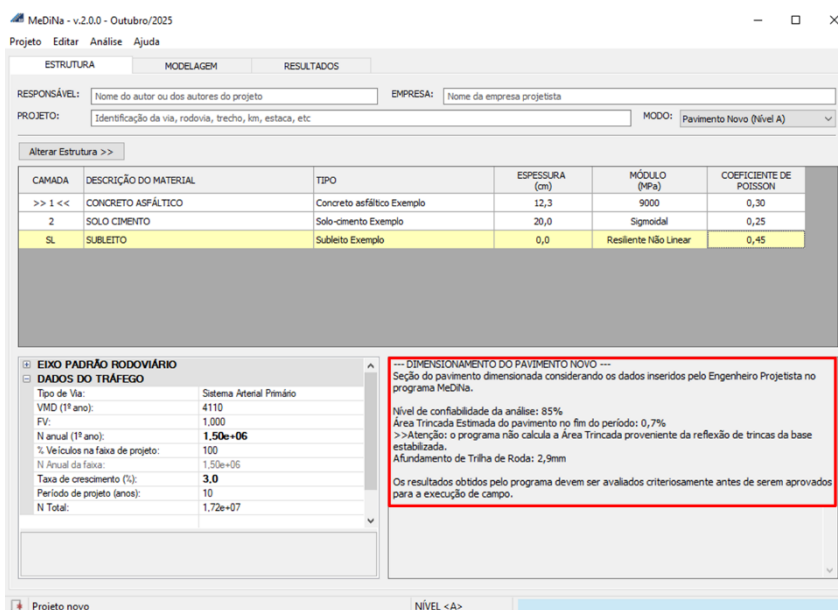
### 3.2.1.4 Dimensionamento

Nesse exemplo, será apresentado o dimensionamento da camada de revestimento. Após selecionar a camada de revestimento para o dimensionamento (ver subseção 3.1.1.3), clique no menu **Análise** e na opção **Dimensionar**. Esse processo é ilustrado na Figura 30.



**Figura 30 – Comando para dimensionar a estrutura**

Nesse exemplo, após o dimensionamento, note que a espessura da camada selecionada para o dimensionamento (camada de revestimento) foi aumentada de 10,0 cm para 12,3 cm. Na parte inferior da tela são apresentadas as estimativas de porcentagem de área trincada (0,7 %) e de afundamento de trilha de roda (ATR) (2,9 mm) ao final do período de projeto. Os resultados do dimensionamento são apresentados na Figura 31.



**Figura 31 – Resultados do dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento**

Percebe-se que com o dimensionamento, tanto o critério de porcentagem de área trincada (30 %) como o critério de deformação permanente são atendidos (13 mm). No entanto, diferentemente do exemplo apresentado anteriormente (estrutura convencional), a estimativa de área trincada é muito menor que o máximo valor admissível. No método MeDiNa, em estruturas com camadas tratadas com cimento a camada subjacente não deve apresentar deflexão teórica superior a  $70 \times 10^{-2}$  mm. Sendo assim, o dimensionamento acontece buscando atender esse critério, além dos critérios de porcentagem de área trincada e de afundamento de trilha de roda. Caso o critério de máxima deflexão teórica na camada subjacente à camada tratada com cimento não seja atendido, o programa emitirá um alerta informando que a estrutura precisa ser revista. A representação do organograma com o roteiro proposto, após o dimensionamento da estrutura, é apresentada na Figura 32.

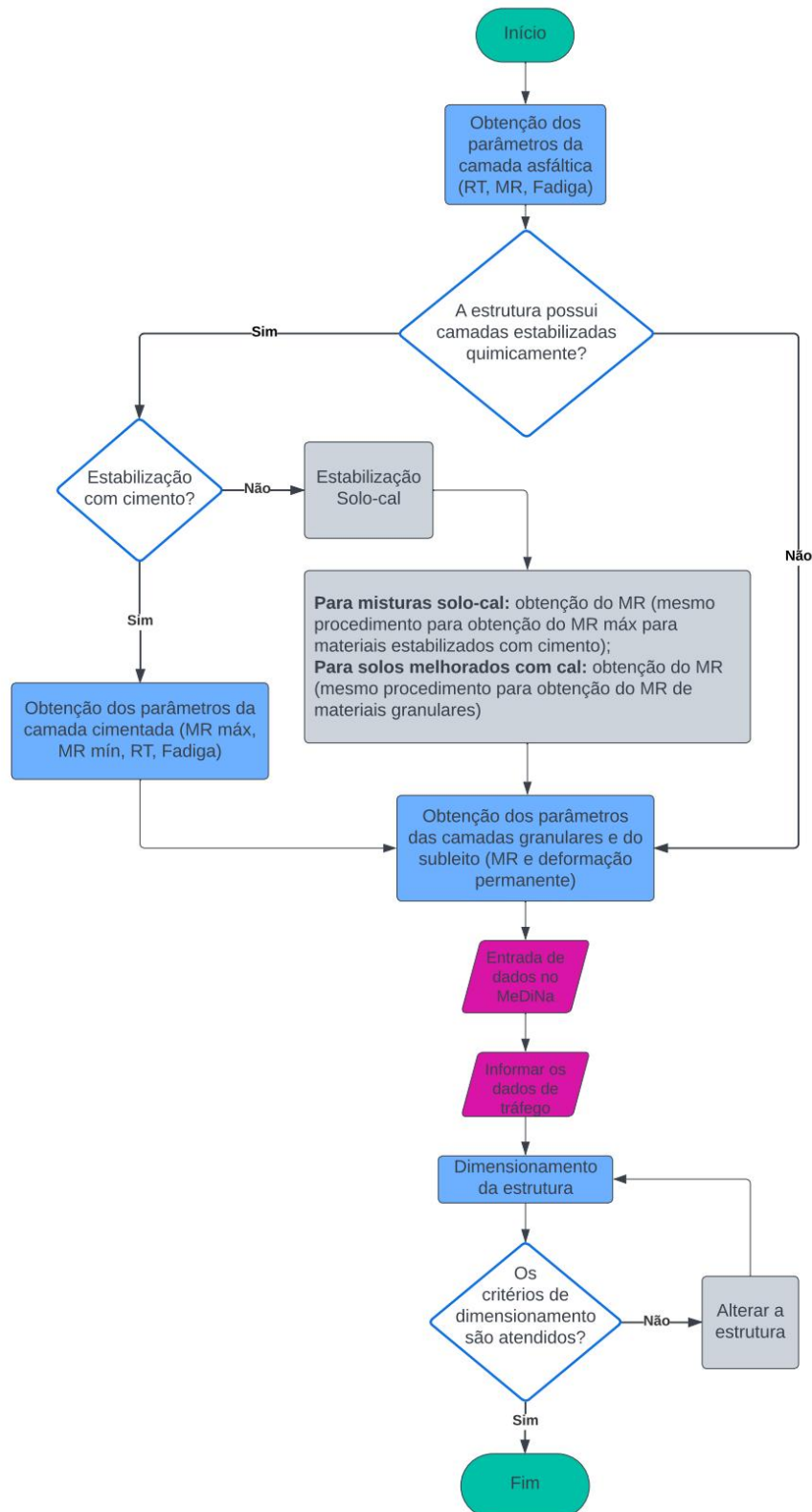


Figura 32 – Organograma após o dimensionamento da estrutura com base tratada com cimento

Para visualizar o relatório de resultados e salvar o arquivo, o procedimento é o mesmo apresentado no exemplo anterior (ver subseção 3.1.1.4)

### 3.3 ESTRUTURA COM CAMADA TRATADA COM CAL

Neste tópico apresenta-se a exemplificação do dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cal composta por revestimento em camada asfáltica, base de solo-cal e subleito arenoso. Maiores detalhes a respeito da obtenção dos parâmetros das camadas podem ser verificados no documento **MeDiNa – Roteiro de Ensaio Necessários para Obtenção dos Parâmetros de Entrada do Programa**.

Conforme a Tabela 5, que apresenta um quadro resumo com todos os parâmetros, normas de ensaio e números de corpos de prova para cada camada do pavimento, são necessários 3 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros da base, 12 corpos de prova para a obtenção dos parâmetros do subleito e 18 corpos de prova para obtenção dos parâmetros da mistura asfáltica.

**Tabela 5 – Quadro resumo dos parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura com camada tratada com cal pelo MeDiNa**

Camada	Propriedades	Parâmetros	Norma	Quantidade de corpos de prova
Camadas granulares e subleito	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		$k_1, k_2, k_3, e k_4$ ou MR = cte	DNIT 134/2018-ME	3
	Deformação permanente	$\psi_1, \psi_2, \psi_3, e \psi_4$	DNIT 179/2018-IE	Preferencialmente 9, no mínimo 6
Solos melhorados com cal	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		MR	DNIT 134/2018-ME (solo melhorado com cal)	3
			DNIT 181/2018-ME (solo-cal)	3
Misturas asfálticas	Deformabilidade elástica	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	(arbitrado, ver Tabela 1)	-
		MR	DNIT 135/2018-ME	3
	Fadiga	RT	DNIT 136/2018-ME	3
		$k_1 e k_2$	DNIT 183/2018-ME	12

### 3.3.1 Entrada de dados no MeDiNa (Exemplo de dimensionamento)

Para proceder com o dimensionamento da estrutura proposta na Figura 1 (iii), abra o programa MeDiNa, e adeque a estrutura apresentada na tela principal do programa com a estrutura proposta para o exemplo de dimensionamento. Após adequar a estrutura em relação ao número de camadas (ver subseção 3.1.1), é necessário fazer as adequações referentes ao tipo de material. Para isso, selecione a camada 2 e clique no botão **Alterar Estrutura**, e então clique na opção **Alterar material**. (ver Figura 21). No menu suspenso que aparece escolha a opção **solo cal**. Clique em **Sim** para confirmar. Ao clicar em **Sim** a janela de propriedades da camada é aberta para o cadastro de um novo material ou para a seleção de um material já cadastrado. Essa etapa é ilustrada na Figura 33.

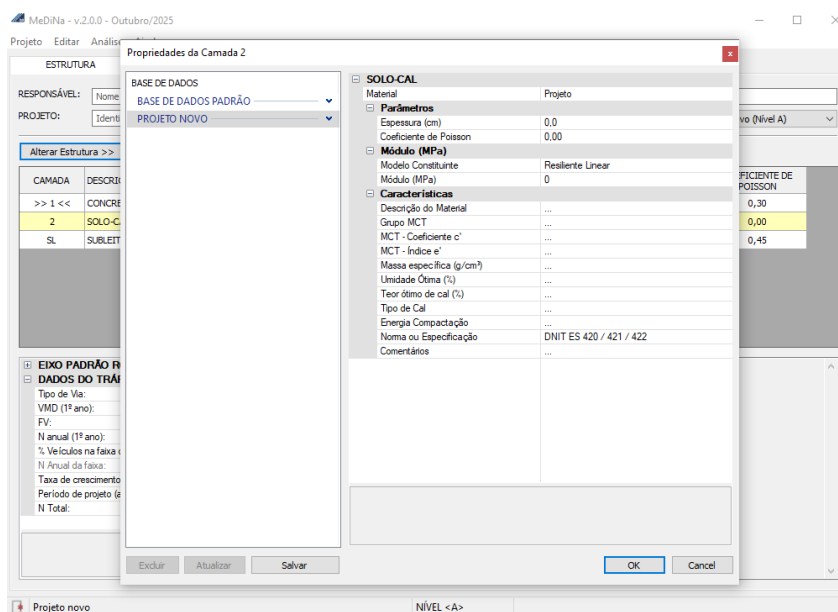


Figura 33 – Janela de propriedades da camada

#### 3.3.1.1 Cadastro de novos materiais

Para exemplificar o dimensionamento de uma estrutura com base tratada com cal, serão considerados, para a camada de revestimento e para o subleito, os mesmos materiais dos exemplos anteriores (ver subseção 3.1.1.1). Para a camada de base, será considerado o seguinte material:

## Camada de base: solo-cal

Parâmetros:

- Espessura: 20,0 cm
- Coeficiente de Poisson: 0,25

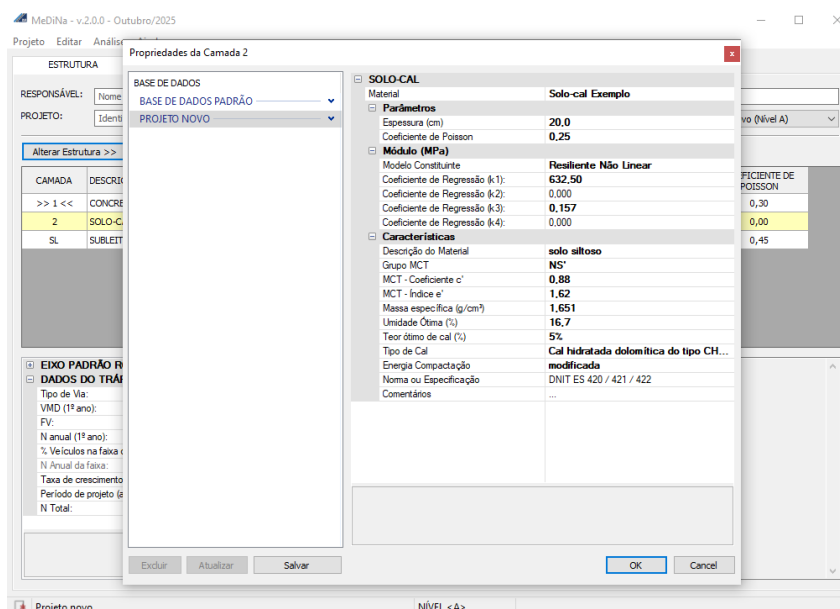
Deformabilidade elástica:

- Modelo constitutivo: resiliente não-linear
- Coeficiente de regressão k1: 632,50
- Coeficiente de regressão k2: 0,000
- Coeficiente de regressão k3: 0,157
- Coeficiente de regressão k4: 0,000

Características:

- Descrição do material: solo siltoso
- Grupo MCT: NS'
- Coeficiente  $c'$ : 0,88
- Índice  $e'$ : 1,62
- Massa específica: 1,651 g/cm<sup>3</sup>
- Umidade ótima: 16,7 %
- Teor ótimo de cal: 5 %
- Tipo de cal: Cal hidratada dolomítica do tipo CH-III
- Energia de compactação: modificada

Na Figura 34 está ilustrada a etapa de inserção dos dados do material considerado para a camada de base tratada com cal, nomeado como **Solo-cal Exemplo**, na janela de propriedades da camada.

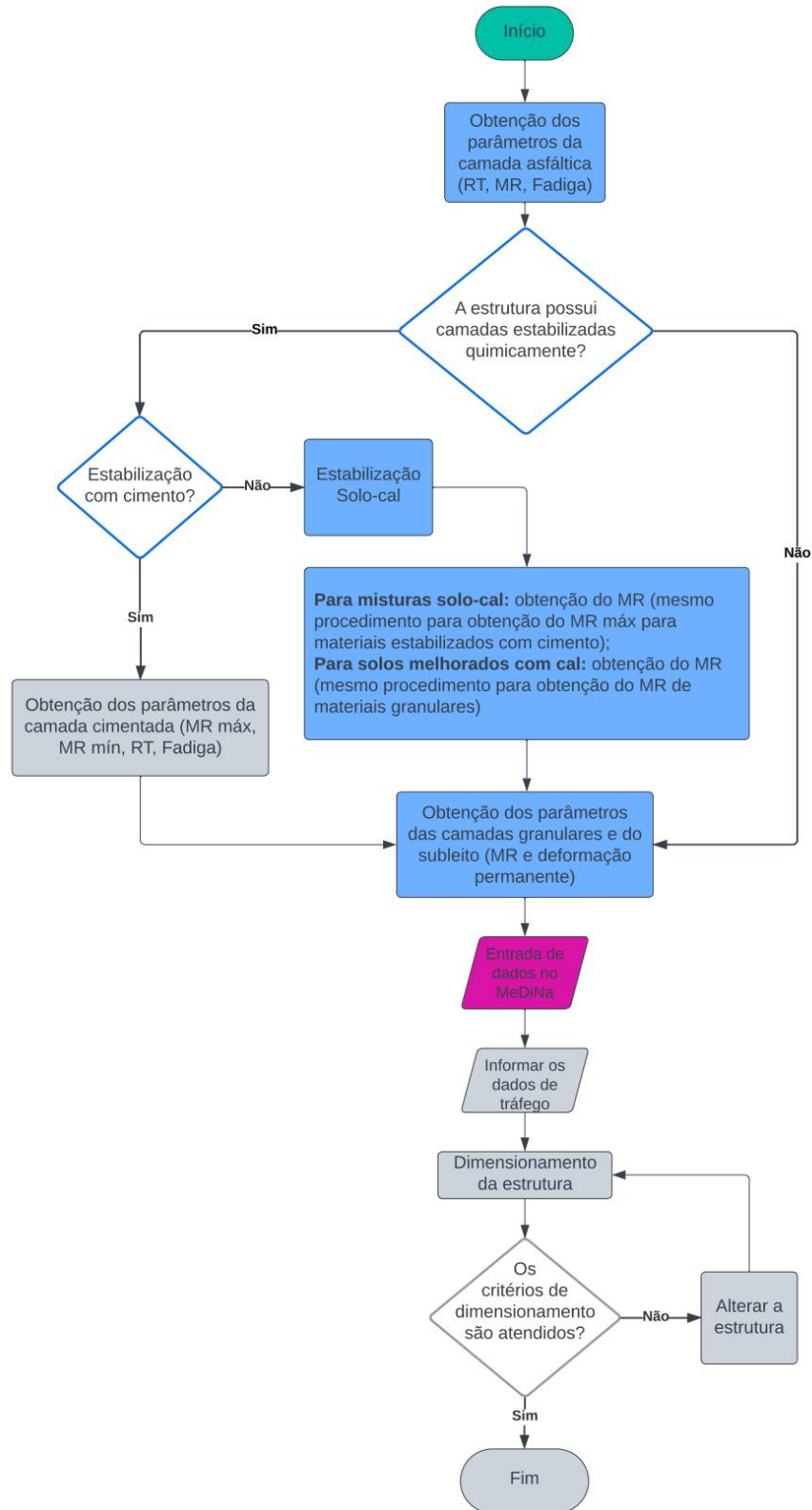


**Figura 34 – Cadastro do material para a base tratada com cal**

Inseridos os parâmetros do material proposto para a camada de base, clique em **Salvar**, na caixa de diálogo que se abre clique em **Sim** para prosseguir, e por fim clique em **Ok** (ver Figura 9).

Para a camada de revestimento e para o subleito, serão considerados os mesmos materiais dos exemplos anteriores (ver subseção 3.1.1.1). Para atribuir materiais que já estão cadastrados no banco de dados às camadas, clique duas vezes sobre a descrição do material na coluna tipo, selecione o material cadastrado e clique em Ok (ver subseção 3.2.1.2).

A representação do organograma com o roteiro proposto para o dimensionamento da estrutura com base tratada com cal, após a entrada de dados dos materiais, é apresentada na Figura 35.



**Figura 35 – Organograma após a entrada de dados dos materiais no programa MeDiNa**

### 3.3.1.2 Inserindo os dados de tráfego

Os dados de tráfego serão os mesmos considerados nos exemplos anteriores (ver subseção 3.1.1.2). A representação do organograma com o roteiro proposto para o dimensionamento da estrutura com base tratada com cal, após a inserção dos dados de tráfego, é apresentada na Figura 36.

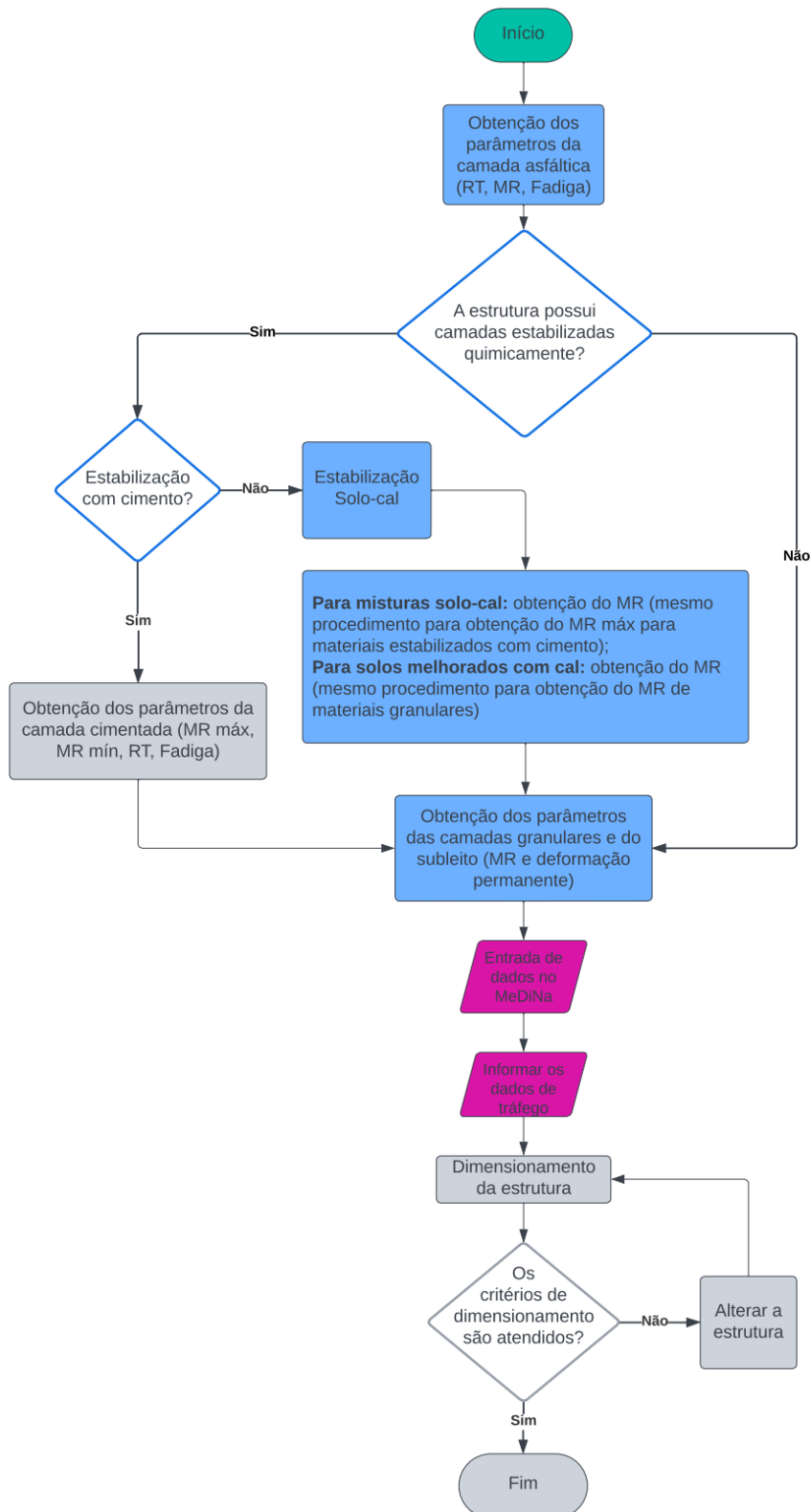
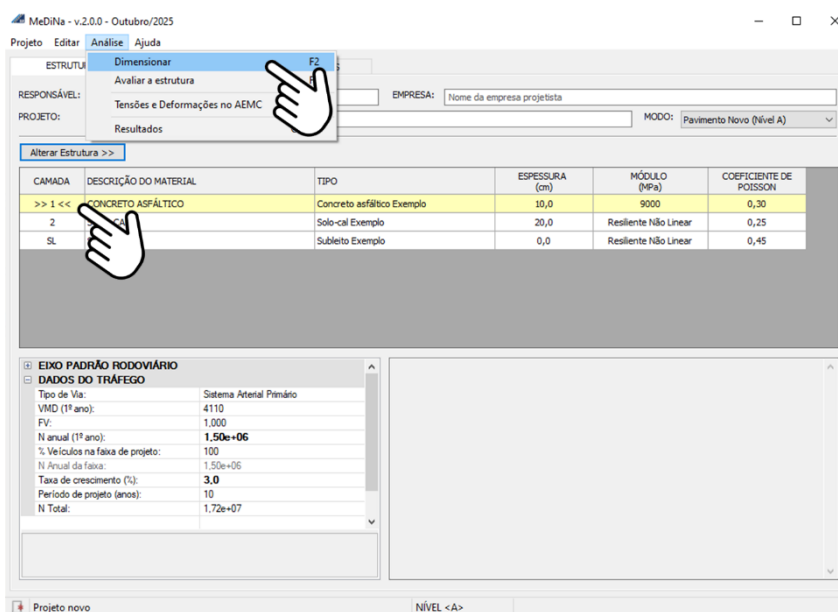


Figura 36 – Organograma após a entrada de dados de tráfego no programa MeDiNa

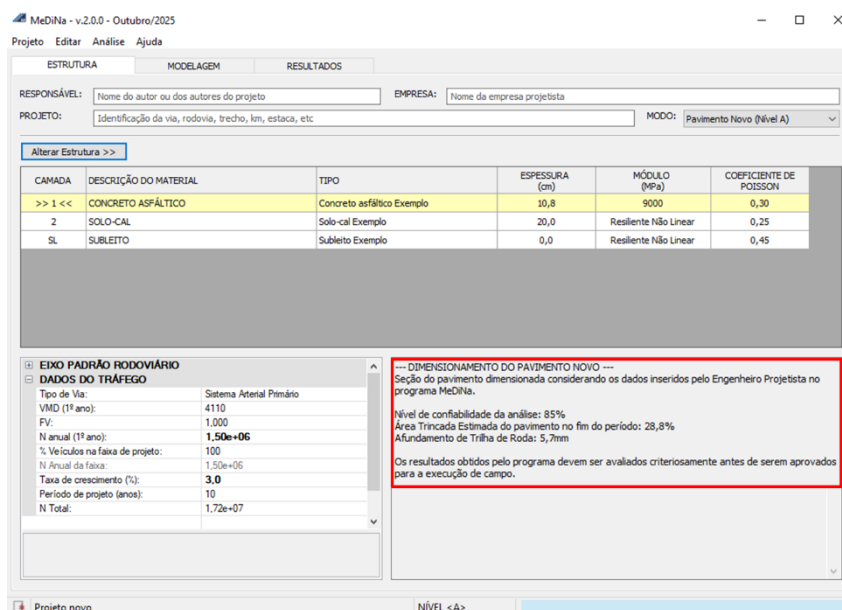
### 3.3.1.3 Dimensionamento

Assim como nos exemplos apresentados anteriormente, será apresentado o dimensionamento da camada de revestimento. Após selecionar a camada de revestimento para o dimensionamento (ver subseção 3.1.1.3), clique no menu **Análise** e na opção **Dimensionar**. Esse processo é ilustrado na Figura 37.



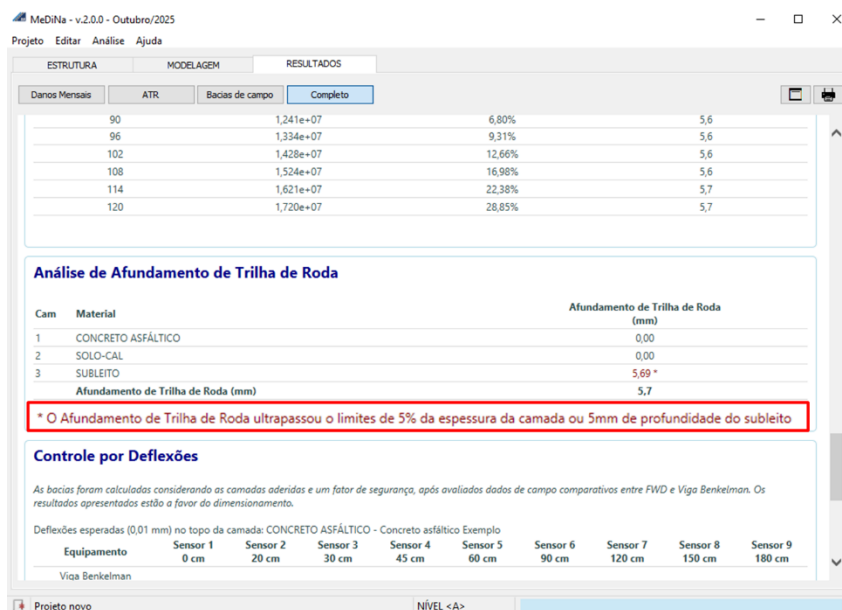
**Figura 37 – Comando para dimensionar a estrutura**

Nesse exemplo, após o dimensionamento, observe que a espessura da camada selecionada para o dimensionamento (camada de revestimento) foi aumentada de 10,0 cm para 10,8 cm. Na parte inferior da tela são apresentadas as estimativas de porcentagem de área trincada (28,8 %) e de afundamento de trilha de roda (ATR) (5,7 mm) ao final do período de projeto. Os resultados do dimensionamento são apresentados na Figura 38.



**Figura 38 – Resultados do dimensionamento da estrutura com base tratada com cal**

Percebe-se que com o dimensionamento, tanto o critério de porcentagem de área trincada (30 %) como o critério de deformação permanente são atendidos (13 mm). No entanto, como a camada de revestimento asfáltico e a camada de solo-cal não são avaliadas quanto à deformação permanente, a estimativa de 5,7 mm se refere à deformação permanente sofrida pelo subleito. Como essa é uma das verificações relacionadas à deformação permanente, no relatório de resultados haverá um alerta informando ao projetista que o deslocamento permanente do subleito ultrapassou o limite de 5 mm. Esse alerta é ilustrado na Figura 39. Como alternativa para mitigar esse comportamento, o projetista pode avaliar o aumento a espessura das camadas ou considerar a inclusão de uma camada de reforço do subleito com material de melhor desempenho. Para visualizar o relatório de resultados e salvar o arquivo, o procedimento é o mesmo apresentado nos exemplos anteriores (ver subseção 3.1.1.4)



**Figura 39 – Alerta quanto ao critério de deformação permanente**

A representação do organograma com o roteiro proposto, após o dimensionamento da estrutura, é apresentada na Figura 40.

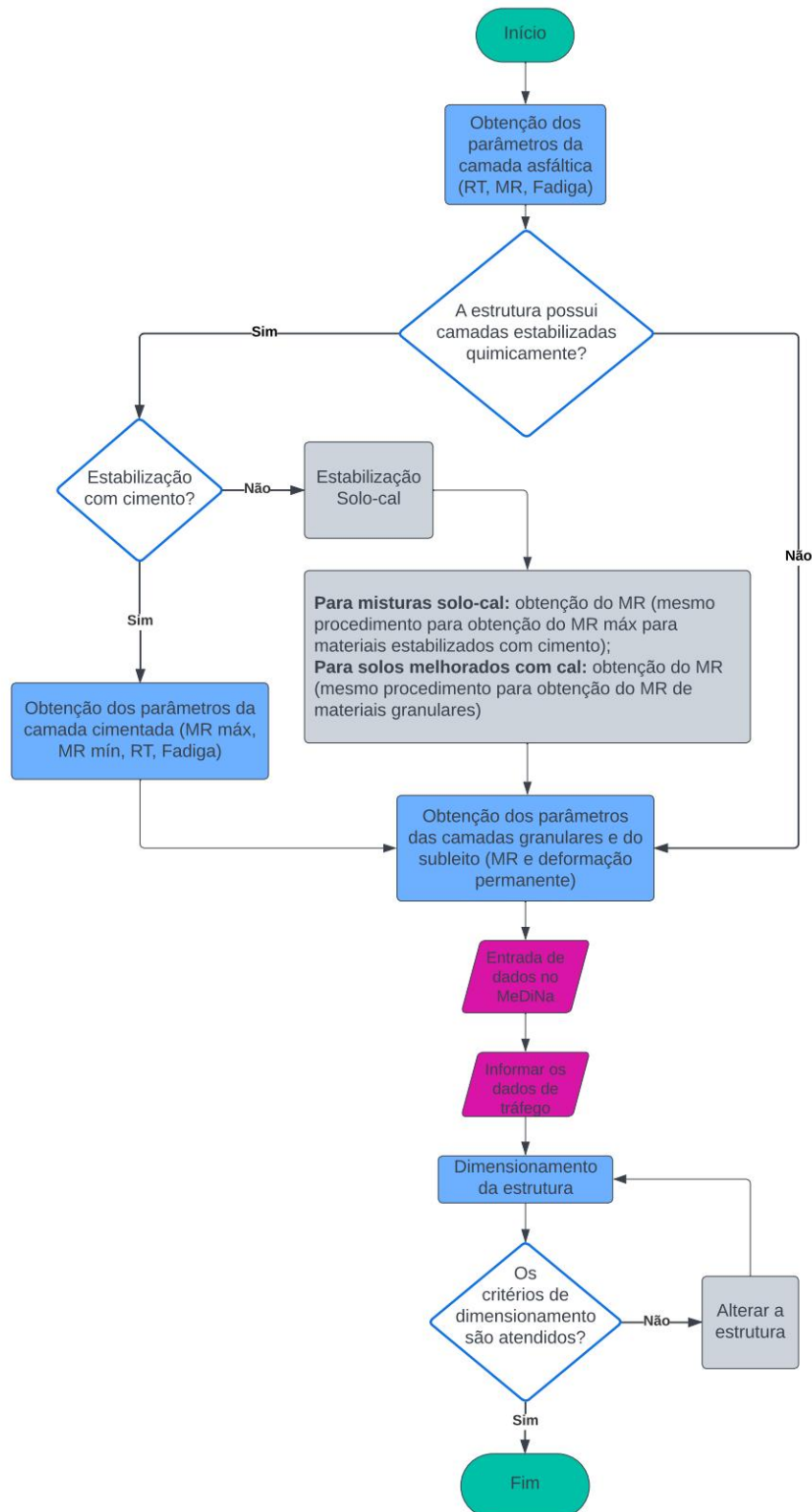
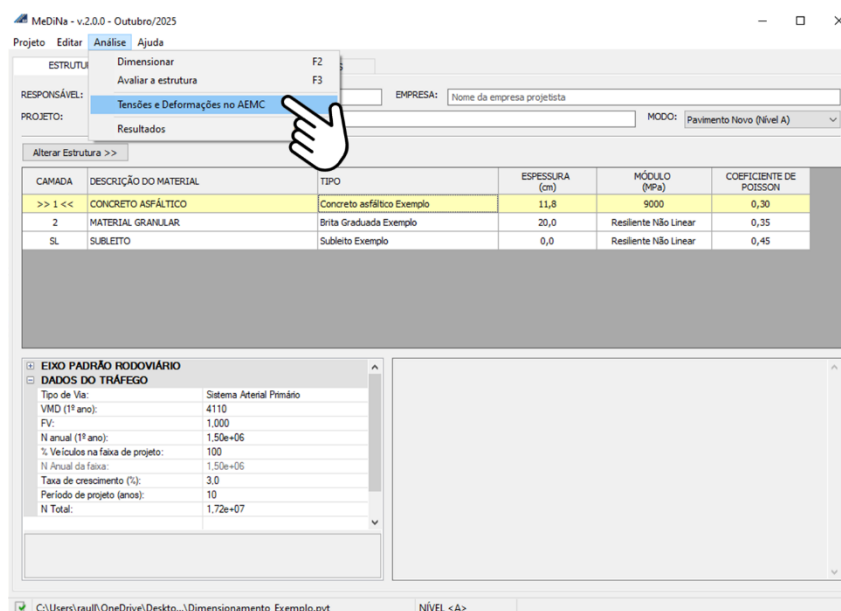


Figura 40 – Organograma após o dimensionamento da estrutura com base tratada com cal

## 4 ANÁLISE DE TENSÕES E DEFORMAÇÕES

Para discorrer sobre as principais funcionalidades e exemplificar a utilização do programa AEMC na análise de tensões e deformações em estruturas de pavimentos, serão apresentadas algumas possibilidades de uso dessa ferramenta, tendo como referência a estrutura de pavimento convencional dimensionada na subseção 3.1.

Execute o programa MeDiNa e abra o arquivo de dimensionamento. Clique no menu **Análise** e na opção **Tensões e Deformações no AEMC**. Esse procedimento está representado na Figura 41.



**Figura 41 – Comando para abrir a estrutura no programa AEMC por meio do programa MeDiNa**

Ao fazer isso, o programa AEMC é aberto apresentando uma estrutura com os dados que foram inseridos no programa MeDiNa. Alternativamente, o usuário pode abrir o programa AEMC de forma independente e inserir manualmente os dados de qualquer estrutura, sem a necessidade de utilizar um arquivo previamente gerado pelo MeDiNa.

Para analisar uma estrutura de pavimento no programa AEMC é necessário que o usuário informe a espessura das camadas, a massa específica, o modelo constitutivo (resiliente linear ou não linear), o valor do módulo de resiliência no caso do comportamento resiliente linear, ou os valores dos coeficientes de regressão  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$

e  $k_4$  no caso do comportamento resiliente não linear. Também deve-se informar o coeficiente de Poisson e a condição de interface.

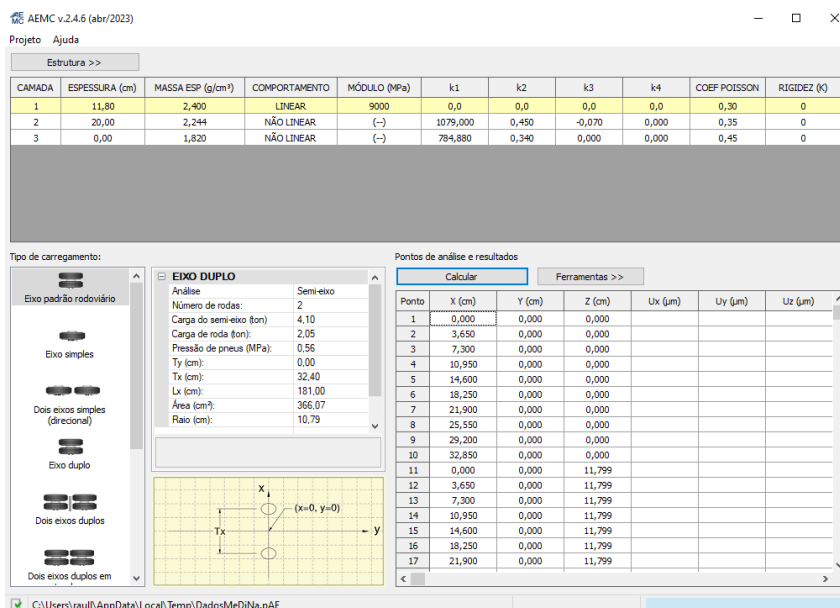
Para caracterizar a interface entre camadas, o AEMC utiliza um parâmetro adimensional ( $l$ ) que se relaciona com o módulo de rigidez que resiste ao deslocamento radial relativo ao longo da interface ( $K_s$ ), de acordo com o modelo proposto Uzan (1976), apresentado a seguir:

$$K_s = \frac{l}{1-l} \quad (3)$$

para simular a condição lisa, na Equação 3, deve ser atribuído o valor  $l = 0$  (zero), e, para a condição rugosa, deve ser atribuído o valor  $l = 1$  (um) (DNIT, 2020). Note que na coluna Aderência, o valor de  $l$  é igual a zero para todas as camadas, correspondendo às condições preestabelecidas pela metodologia MeDiNa.

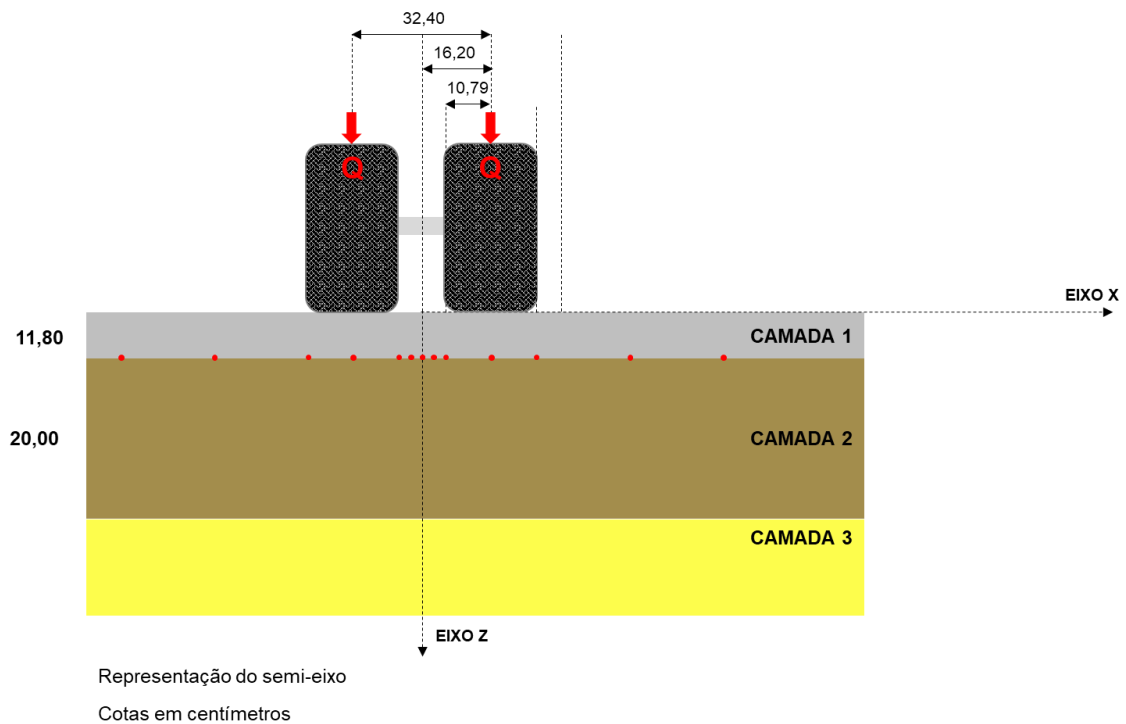
No programa AEMC, podem ser atribuídos valores intermediários do parâmetro  $l$ , entretanto, Toffoli (2021), demonstrou que o módulo de rigidez ao cisalhamento da interface ( $K_s$ ) é pouco sensível a este parâmetro de entrada.

Caso seja interesse do usuário, é possível conduzir análises considerando diferentes configurações de carregamento, escolhendo entre as opções disponíveis na parte inferior esquerda da tela. Além das diferentes configurações de eixo, o usuário pode alterar a carga de roda, a pressão dos pneus e o afastamento entre rodas. Nesse exemplo, a estrutura e o carregamento não serão alterados. A tela principal do programa AEMC, após a execução do comando ilustrado na Figura 41, é apresentada na Figura 42.



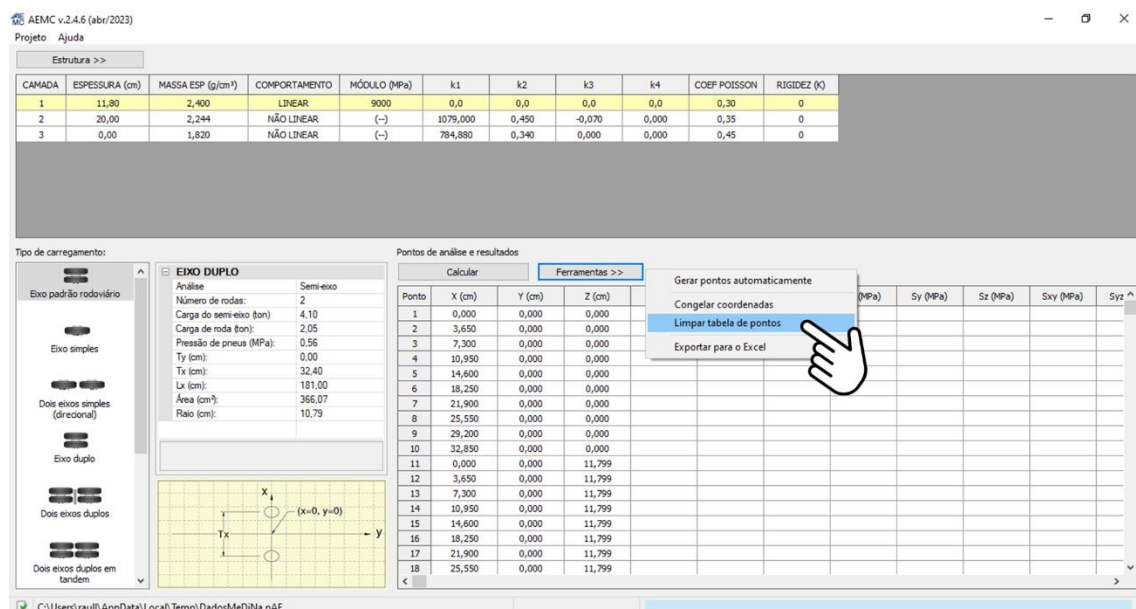
**Figura 42 – Tela principal do programa AEMC**

O programa AEMC consiste em uma ferramenta extremamente útil para conduzir análises preliminares, por exemplo, quando ainda não se tem os resultados dos ensaios de fadiga e de deformação permanente. Para demonstrar a aplicação do AEMC, serão avaliadas as deformações horizontais na fibra inferior da camada de revestimento, no eixo x, e as tensões verticais no topo do subleito da estrutura dimensionada na subseção 3.1. Inicialmente serão obtidos os valores de deformação horizontal na fibra inferior da camada de revestimento. Serão avaliados pontos ao longo do eixo x ( $y = 0$ ), imediatamente acima da interface entre a camada de revestimento e a base ( $z = 11,799$  cm). Os pontos avaliados estão representados de forma esquemática na Figura 43.



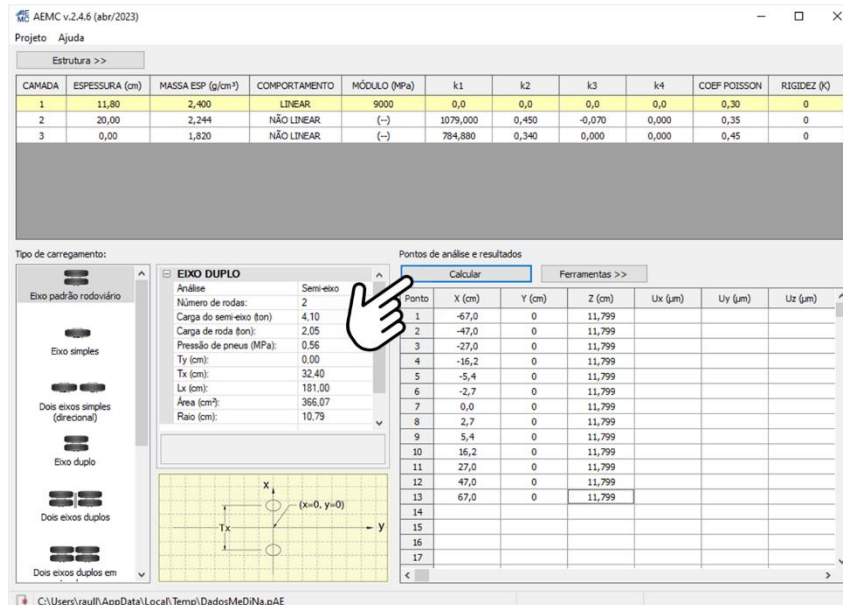
**Figura 43 – Pontos avaliados na fibra inferior da camada de revestimento**

Para limpar a planilha de pontos de análise e inserir as coordenadas dos pontos a serem avaliados, clique no botão **Ferramentas** e na opção **Limpar tabela de pontos**. Esse processo está representado na Figura 44.



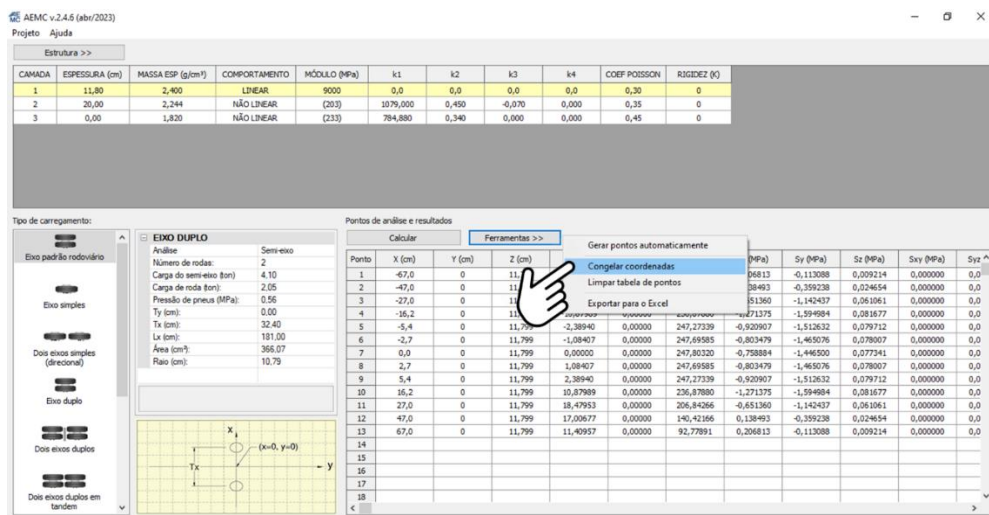
**Figura 44 – Comando para limpar a tabela de pontos**

Após clicar em **Sim** e inserir as coordenadas dos pontos clique no botão **Calcular**. Na Figura 45 pode-se visualizar as coordenadas dos pontos representados na Figura 43, e o comando para o cálculo das variáveis mecânicas.



**Figura 45 – Comando para o cálculo das variáveis mecânicas**

Para facilitar a navegação pela planilha de resultados sem perder a referência das coordenadas dos pontos, o usuário pode congelar as coordenadas. Para isso, clique no botão **Ferramentas** e na opção **Congelar coordenadas**. Esse comando está representado na Figura 46.



**Figura 46 – Comando para congelar coordenadas**

Para navegar pelos valores calculados o usuário pode mover as barras de rolagem horizontal e vertical. Em relação as deformações horizontais no eixo x na fibra inferior da camada de revestimento, nota-se que os valores máximos de deformação de tração (valores negativos) ocorrem para  $x = 16,2$  cm e  $x = -16,2$  cm, que correspondem ao centro da área carregada de cada uma das rodas do semi-eixo padrão rodoviário. Os valores de deformação horizontal em x na fibra inferior da camada de revestimento, estão apresentados em destaque na Figura 47, e na Figura 48 é apresentada uma representação gráfica dos valores obtidos.

AEMC v.2.4.6 (abr/2023)

Projeto Ajuda

Estrutura >>

CAMADA	ESPESSURA (cm)	MASSA ESP (g/cm <sup>3</sup> )	COMPORTAMENTO	MÓDULO (MPa)	k1	k2	k3	k4	COEF POISSON	RIGIDEZ (k)
1	11,80	2,400	LINEAR	9000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,30	0
2	20,00	2,244	NÃO LINEAR	(203)	1079,000	0,450	-0,070	0,000	0,35	0
3	0,00	1,820	NÃO LINEAR	(233)	784,880	0,340	0,000	0,000	0,45	0

Tipo de carregamento:

Exo padrão rodoviário

Exo simples

Dois eixos simples (direcional)

Exo duplo

Dois eixos duplos

Dois eixos duplos em

**EIXO DUPLO**

Análise Semi-eixo

Número de rodas: 2

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

Carga de roda (ton): 2,05

Pressão de pneus (MPa): 0,55

Ty (cm): 0,00

Tx (cm): 32,40

Lx (cm): 181,00

Área (cm<sup>2</sup>): 366,07

Raio (cm): 10,79

Pontos de análise e resultados

Calcular Ferramentas >>

Ponto	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	Ex (m/m)	Ey (m/m)	Ez (m/m)
1	-67,0	0	11,799	2,64417e-05	-1,97662e-05	-2,10038e-06
2	-47,0	0	11,799	2,65409e-05	-4,53536e-05	1,00975e-05
3	-27,0	0	11,799	-3,63274e-05	-1,07261e-04	6,65779e-05
4	-16,2	0	11,799	-9,08204e-05	-1,37564e-04	1,04621e-04
5	-5,4	0	11,799	-5,45590e-05	-1,40030e-04	8,99748e-05
6	-2,7	0	11,799	-4,30399e-05	-1,38604e-04	8,42860e-05
7	0,0	0	11,799	-3,86818e-05	-1,38004e-04	8,21063e-05
8	2,7	0	11,799	-4,30399e-05	-1,38604e-04	8,42860e-05
9	5,4	0	11,799	-5,45590e-05	-1,40030e-04	8,99748e-05
10	16,2	0	11,799	-9,08204e-05	-1,37564e-04	1,04621e-04
11	27,0	0	11,799	-3,63274e-05	-1,07261e-04	6,65779e-05
12	47,0	0	11,799	2,65409e-05	-4,53536e-05	1,00975e-05
13	67,0	0	11,799	2,64417e-05	-1,97662e-05	-2,10038e-06
14						
15						
16						
17						

Figura 47 – Deformações horizontais em x calculadas

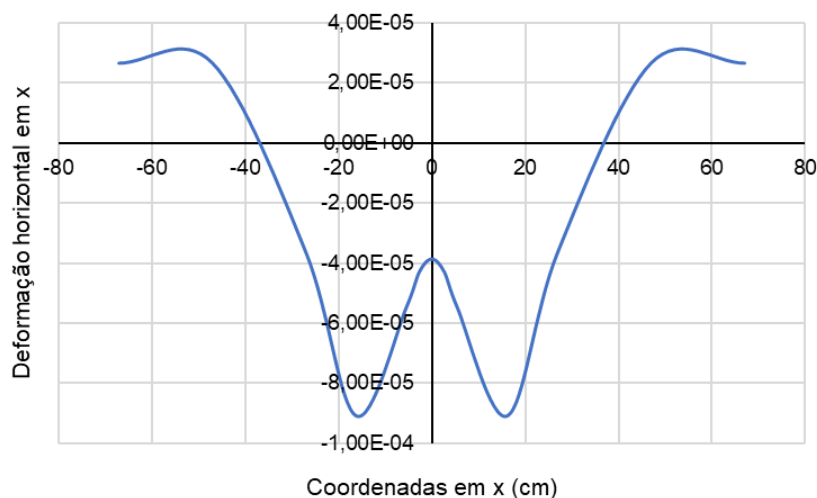


Figura 48 – Representação gráfica das deformações horizontais em x

As deformações horizontais de tração na fibra inferior da camada de revestimento estão diretamente relacionadas à vida de fadiga do pavimento. O projetista pode valer-se do máximo valor de deformação horizontal de tração para estimar a vida de fadiga da estrutura recorrendo à modelos preditivos empíricos, como os propostos pelo *Asphalt Institute* e pela *Federal Highway Administration*.

De modo semelhante, podem ser calculadas as tensões verticais no topo do subleito para estimar o número equivalente de solicitações admissíveis do eixo padrão rodoviário, para o critério de deformação permanente. Para demonstrar essa aplicação, serão avaliados pontos ao longo do eixo  $x$  ( $y = 0$ ), imediatamente abaixo da interface entre a base e o subleito ( $z = 31,801$  cm). Os pontos avaliados estão representados de forma esquemática na Figura 49.

As coordenadas em  $x$  dos pontos para obter as variáveis mecânicas no topo do subleito, são as mesmas propostas no exemplo anterior (ver Figura 45). Após inserir as coordenadas dos pontos clique no botão **Calcular**. Em relação as tensões verticais no topo do subleito, nota-se que o valor máximo ocorre para  $x = 0,00$  cm, que corresponde ao ponto médio entre as rodas do semi-eixo padrão rodoviário. Os valores de tensão vertical calculados estão apresentados em destaque na Figura 50, e na Figura 51 é apresentada uma representação gráfica dos valores obtidos.

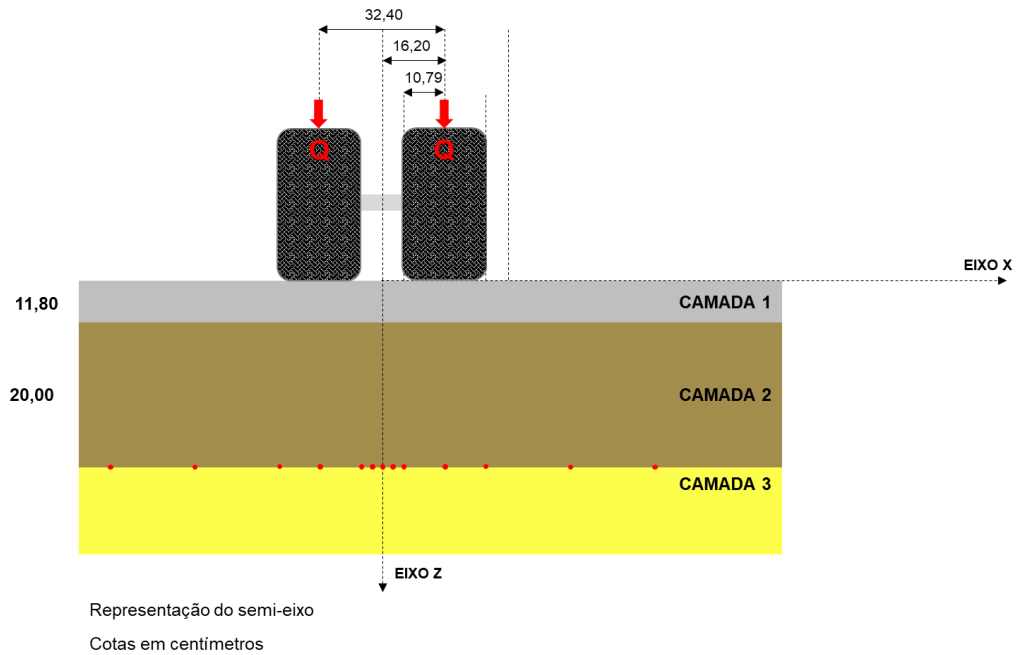


Figura 49 – Pontos avaliados no topo do subleito

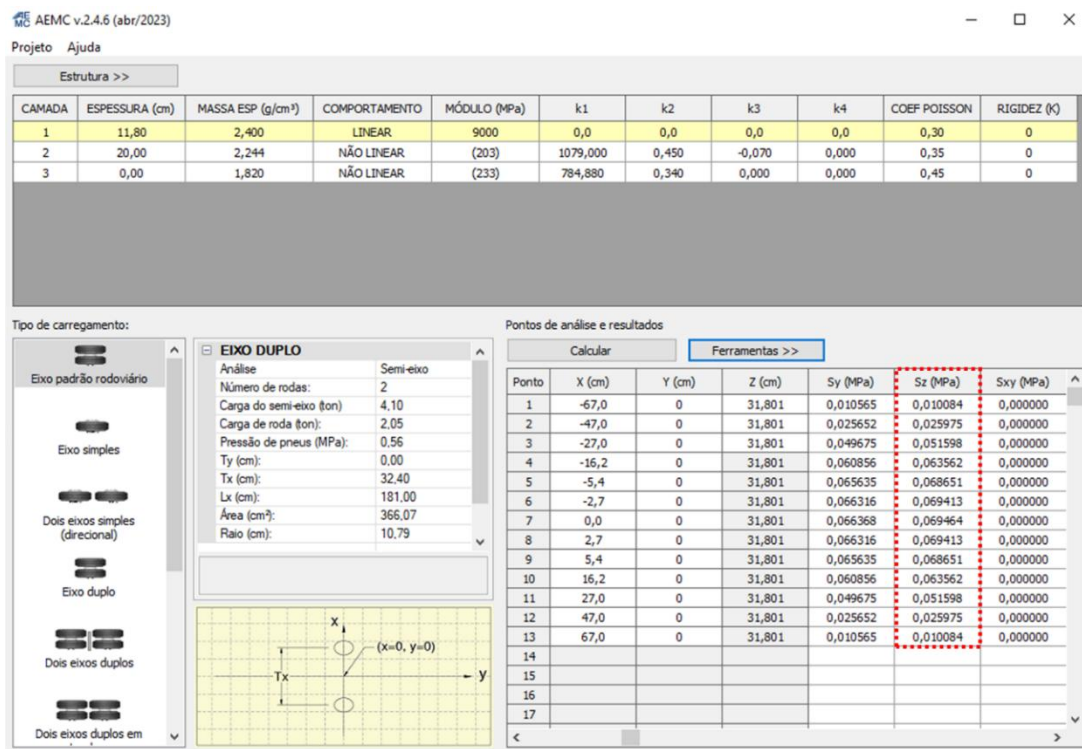
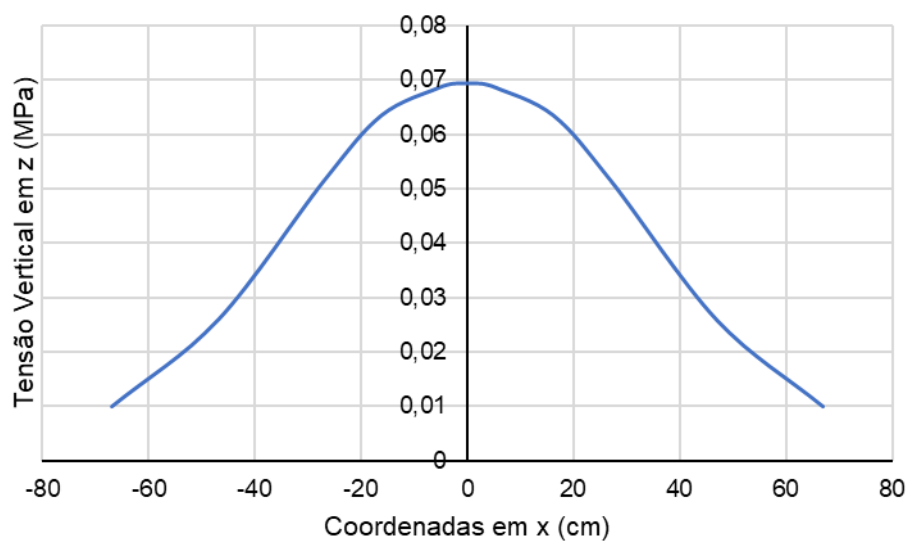


Figura 50 – Tensões verticais calculadas



**Figura 51 – Representação gráfica das tensões verticais**

O programa AEMC também pode ser útil na obtenção de diagramas para estudo da variação das tensões, deformações e deslocamentos ao longo das camadas. Para isso, o projetista pode fixar o valor de x e y e calcular as variáveis mecânicas em diferentes pontos ao longo do eixo vertical.

## 5 RETROANÁLISE

Com o intuito de explorar as funcionalidades e exemplificar a utilização do programa BackMeDiNa, será apresentado um exemplo de retroanálise. Na Figura 52 é apresentada a representação de uma estrutura existente, a ser considerada nesse exemplo.



**Figura 52 – Representação da estrutura existente**

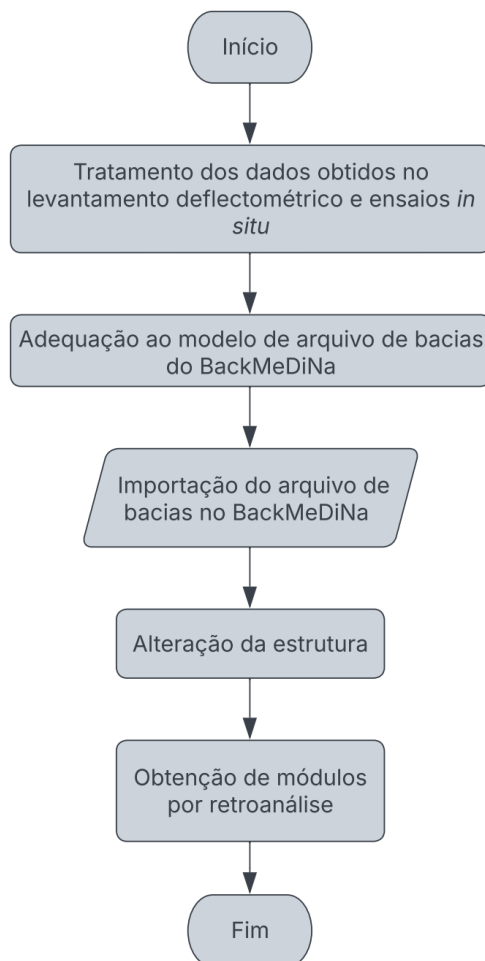
Nesse exemplo, será considerado que um trecho hipotético com a estrutura apresentada foi submetido a uma avaliação estrutural não destrutiva, com o levantamento das bacias de deslocamentos verticais por deflectômetros de impacto. Os deslocamentos verticais medidos nesse levantamento hipotético, são apresentados na Tabela 6 expressos em micrometros.

**Tabela 6 – Leituras obtidas no levantamento deflectométrico**

Estaca - Número	d0	d25	d30	d40	d60	d90	d120	d150	d180
1	432	326	298	246	166	97	66	51	42
2	449	334	304	249	165	96	65	50	42
3	449	334	304	249	165	96	65	50	42
4	416	318	292	243	166	99	66	51	42
5	442	331	302	248	165	97	65	50	42
6	444	332	302	247	164	96	65	50	42
7	451	335	304	248	164	95	65	50	42
8	470	343	310	251	163	94	64	50	42
9	433	326	298	245	165	97	66	51	42
10	443	331	302	247	165	96	65	50	42

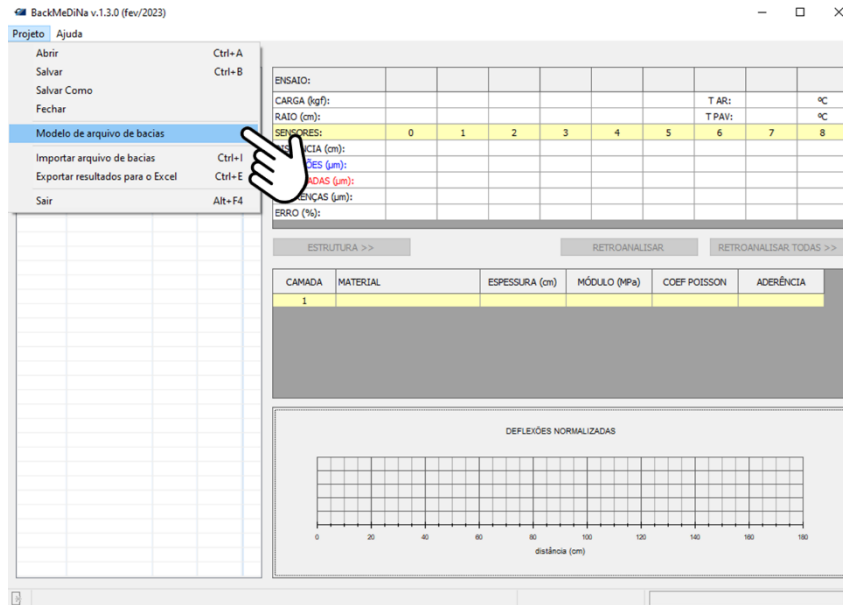
Os dados apresentados foram obtidos para uma carga aplicada de 4100 kgf, sobre uma área circular com raio de 15 cm, e temperatura do ar e do pavimento de 25°C.

Na Figura 53 é apresentado um organograma com um roteiro para a obtenção dos módulos de resiliência por retroanálise utilizando o programa BackMeDiNa.



**Figura 53 – Roteiro de obtenção dos parâmetros e dimensionamento de restauração**

Para proceder com a determinação dos módulos de resiliência por retroanálise, é necessário adequar os dados do levantamento deflectométrico (Tabela 6) ao modelo de arquivo de bacias do programa BackMeDiNa. Para ter acesso a esse arquivo, execute o programa BackMeDiNa, clique no menu **Projeto** e na opção **Modelo de arquivo de bacias**. Esse procedimento está representado na Figura 54. A Figura 55 ilustra os dados do levantamento deflectométrico (Tabela 6) adequados ao modelo de arquivo de bacias.

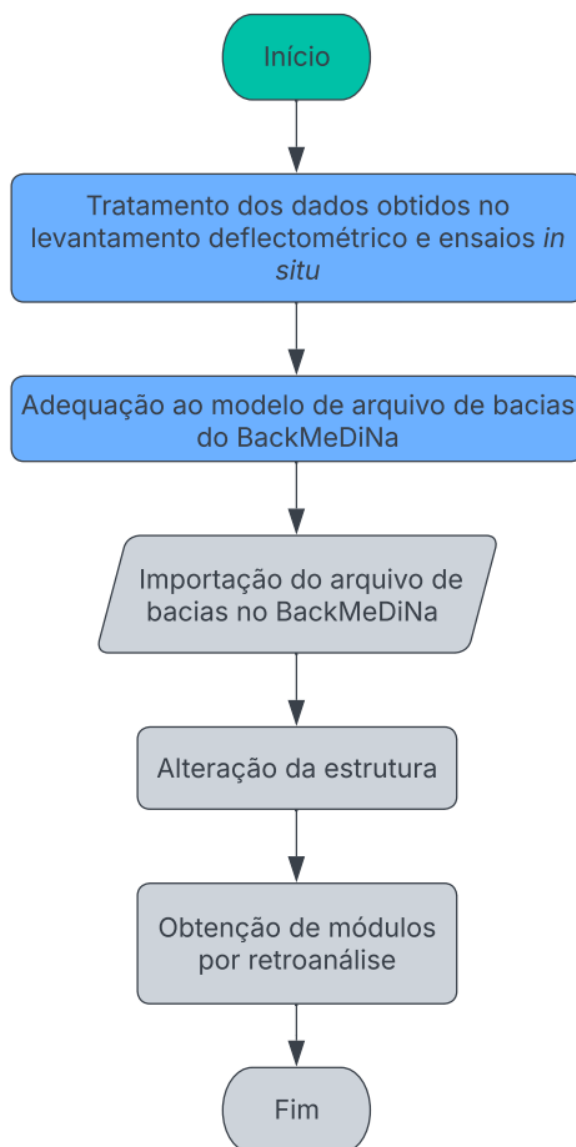


**Figura 54 – Comando para ter acesso ao modelo de arquivo de bacias**

1	BACKMEDINA															
2	SEÇÃO: Exemplo															
3	RAIO (cm): 15															
4	Data de Execução	Temp. Do Ar	Temp. Do Pavimento	Carga	Estaca – Número	Estaca – Descolamento	Estaca – Faixa	Estaca – Trilha	d0	d25	d30	d40	d60	d90	d120	d150
5	29/10/2023	25	25	4100	1	0	1	0	432	326	298	246	166	97	66	
6	29/10/2023	25	25	4100	2	0	2	0	449	334	304	249	165	96	65	
7	29/10/2023	25	25	4100	3	0	1	0	449	334	304	249	165	96	65	
8	29/10/2023	25	25	4100	4	0	2	0	416	318	292	243	166	99	66	
9	29/10/2023	25	25	4100	5	0	1	0	442	331	302	248	165	97	65	
10	29/10/2023	25	25	4100	6	0	2	0	444	332	302	247	164	96	65	
11	29/10/2023	25	25	4100	7	0	1	0	451	335	304	248	164	95	65	
12	29/10/2023	25	25	4100	8	0	2	0	470	343	310	251	163	94	64	
13	29/10/2023	25	25	4100	9	0	1	0	433	326	298	245	165	97	66	
14	29/10/2023	25	25	4100	10	0	2	0	443	331	302	247	165	96	65	

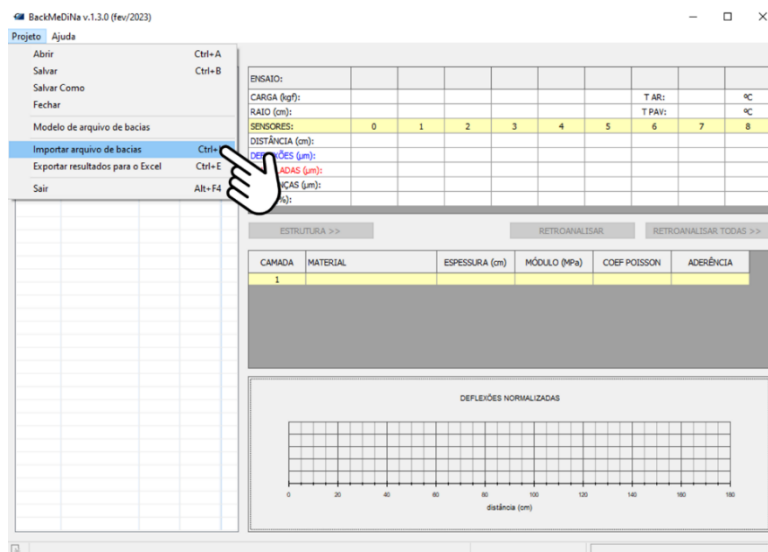
**Figura 55 – Dados adequados ao modelo de arquivo de bacias**

O arquivo de bacias com os dados do levantamento deflectométrico deve ser salvo em formato .csv para posterior importação dos dados no programa BackMeDiNa. A representação do organograma com o roteiro proposto (Figura 53), após a adequação dos deslocamentos verticais recuperáveis medidos em campo ao modelo de arquivo de bacias do BackMeDiNa, é apresentada na Figura 56.



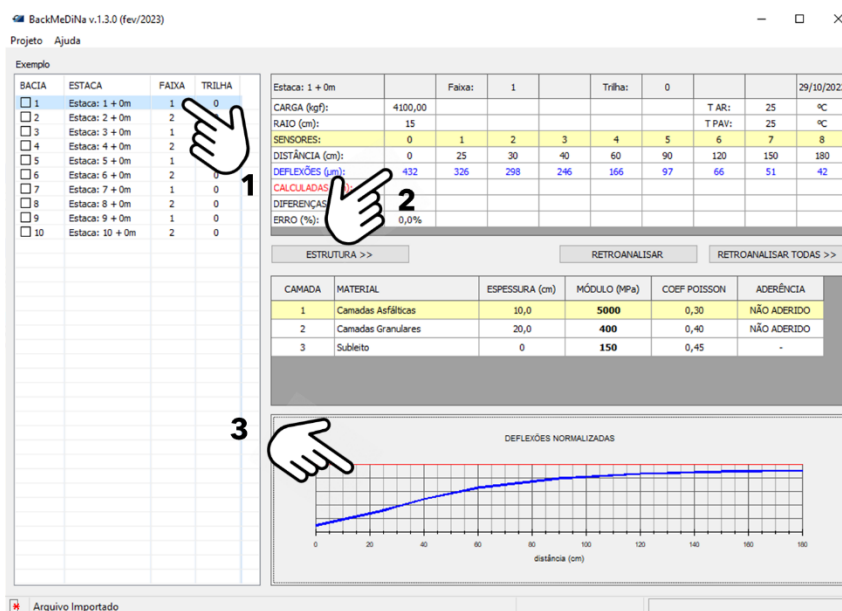
**Figura 56 – Organograma após a adequação das deflexões ao modelo de arquivo de bacias do BackMeDiNa**

Feita essa adequação, pode-se proceder com a importação dos dados no BackMeDiNa. Para isso, clique no menu **Projeto** e na opção **Importar arquivo de bacias**. Esse procedimento é representado na Figura 57.



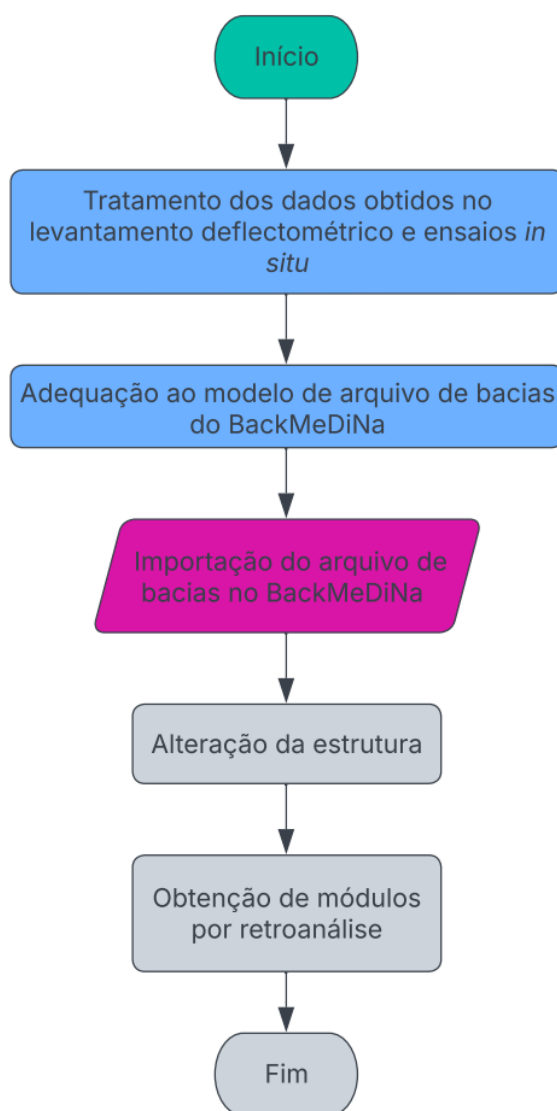
**Figura 57 – Comando para importação do arquivo de bacias**

Observe que fazendo isso, os dados importados são apresentados: (1) as bacias listadas no lado esquerdo da tela; (2) na parte superior central da tela são apresentadas as deflexões medidas em campo correspondentes à bacia selecionada; e (3) na parte inferior central sua representação. A Figura 58 ilustra a tela principal do programa BackMeDiNa após a importação dos dados.



**Figura 58 – Tela principal do programa após importação dos dados medidos**

A representação do organograma com o roteiro proposto, após a importação dos dados no BackMeDiNa, é apresentada na Figura 59.



**Figura 59 – Organograma após a importação dos dados no BackMeDiNa**

Após a importação dos dados no BackMeDiNa, o projetista deve alterar a estrutura no programa de acordo com a estrutura existente avaliada. Por predefinição, ao importar um arquivo de bacias no BackMeDiNa será apresentada uma estrutura composta por uma camada asfáltica e uma camada granular sobre o subleito. Nesse exemplo, serão feitas as adequações considerando a estrutura apresentada na Figura 52. Para inserir uma nova camada clique no botão **Estrutura** e na opção **Inserir uma camada abaixo**. Esse processo está representado na Figura 60.

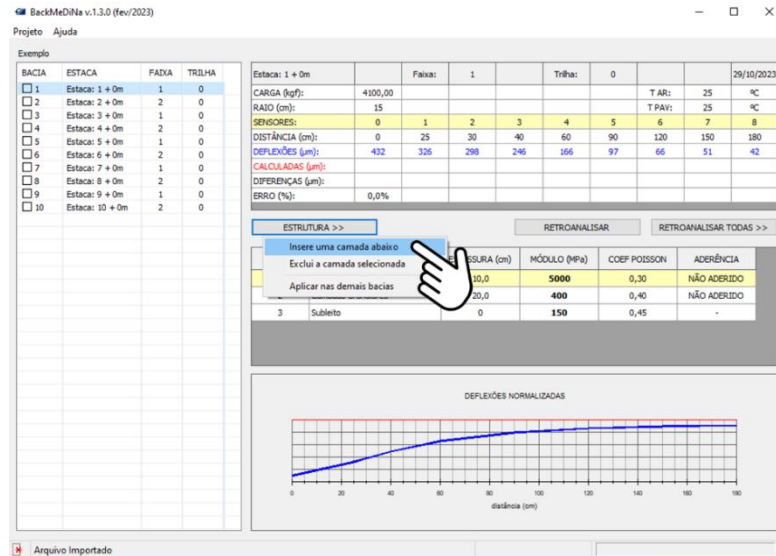


Figura 60 – Comando para inserir uma nova camada

Note que fazendo isso, uma nova camada foi inserida como uma cópia da camada selecionada. Para alterar o tipo de material de uma camada clique duas vezes sobre a descrição do material na coluna Material, escolha uma das opções no menu suspenso que aparece e clique em **Sim** para confirmar. Esse processo está representado na Figura 61. Nesse exemplo, será atribuído o material **Camadas Granulares** para a base, e **Camadas em Solos Naturais** para a sub-base. A critério do projetista o conceito de estruturas equivalentes pode ser aplicado.

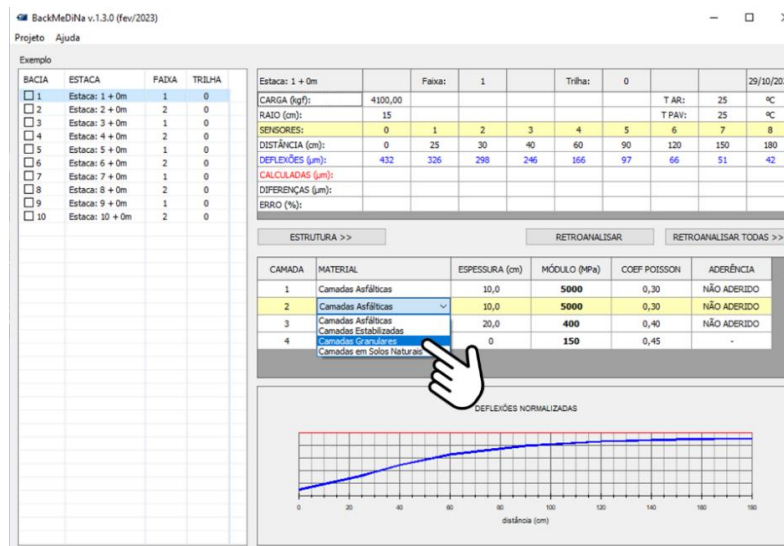
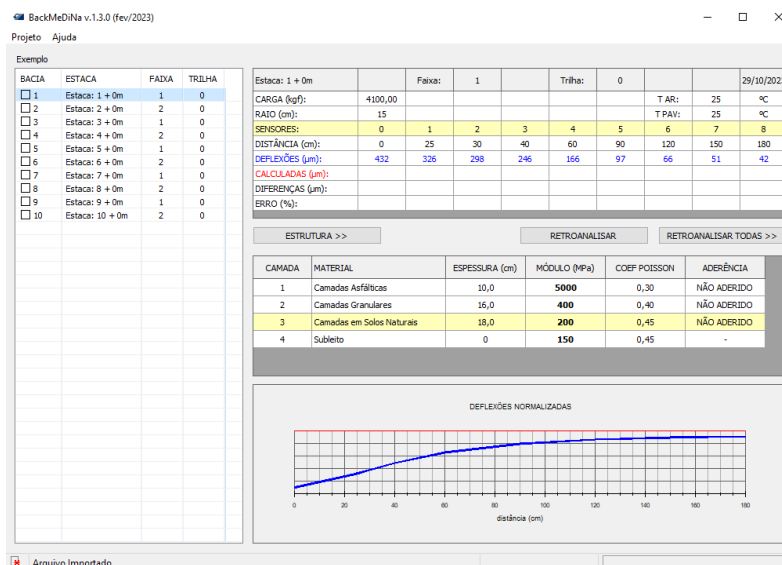


Figura 61 – Comando para alterar o material de uma camada

Em função do tipo de material atribuído em cada camada, o programa BackMeDiNa apresenta valores iniciais para o módulo de resiliência (*seed values*) e valores de coeficiente de Poisson, que podem ser alterados pelo usuário, caso os valores propostos não correspondam ao comportamento do material na estrutura existente. Quanto mais próximo o valor do módulo semente estiver do valor medido em campo, menor será o tempo de processamento. Nesse exemplo, os valores sugeridos pelo programa serão mantidos.

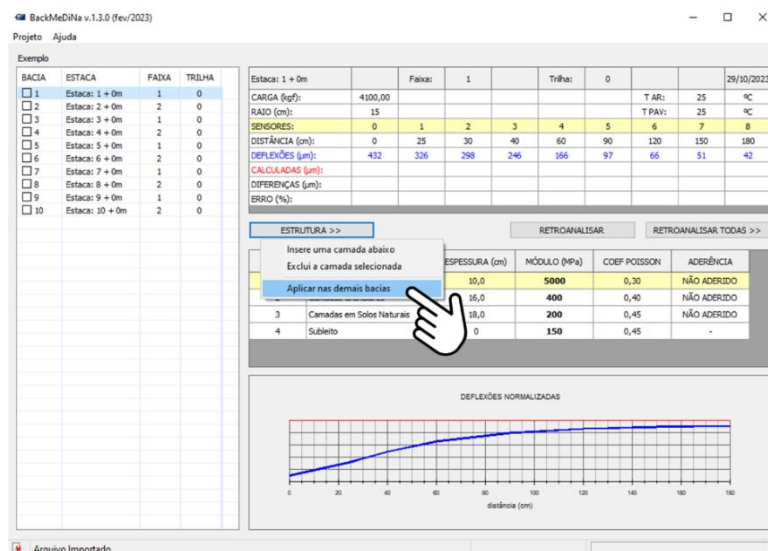
As espessuras também devem ser ajustadas conforme a estrutura real. Para isso, o usuário deve clicar diretamente sobre os valores apresentados na coluna Espessura e inserir os valores correspondentes à espessura observada em campo ou adotada no estudo. Essa etapa é fundamental para que o modelo represente fielmente a seção retroanalizada, mantendo coerência entre a estrutura modelada e os dados deflectométricos.

Na sexta coluna, são apresentadas as condições das interfaces, que podem ser definidas como **não aderidas** ou **aderidas**. O usuário pode escolher entre uma opção ou outra clicando duas vezes sobre a descrição do tipo de contato. Nesse exemplo, essa condição de contorno não será alterada. Na Figura 62 é representada a estrutura alterada.



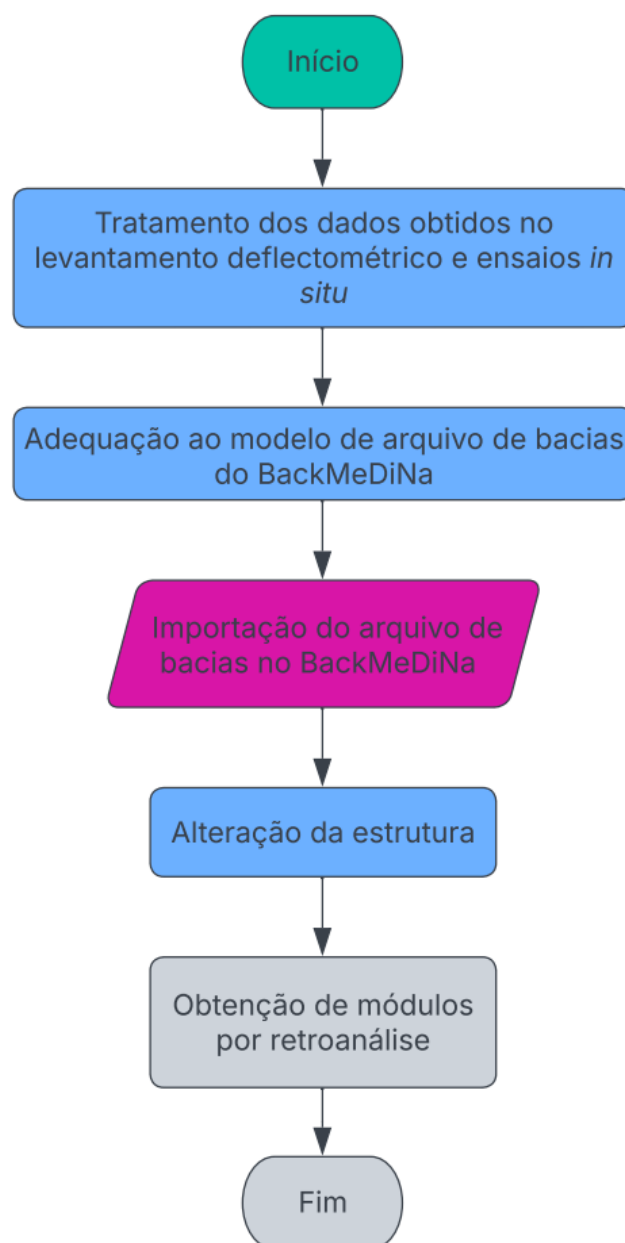
**Figura 62 – Estrutura alterada**

Ao alterar a estrutura no BackMeDiNa, o usuário deve estar ciente que essas modificações são feitas na seção correspondente à estaca selecionada no lado esquerdo da tela. Para atribuir a estrutura modificada nas demais seções, clique no botão **Estrutura** e na opção **Aplicar nas demais bacias**. Esse procedimento está representado na Figura 63. Na caixa de diálogo que aparece logo na sequência, clique em **Sim** para confirmar.



**Figura 63 – Comando para atribuir a estrutura alterada às demais bacias**

A representação do organograma com o roteiro proposto, após a alteração da estrutura, é apresentada na Figura 64.



**Figura 64 – Organograma após a alteração da estrutura no BackMeDiNa**

Para iniciar a retroanálise, clique no botão **Retroanalisar todas** e na opção **Todas as bacias**. Esse procedimento está ilustrado na Figura 65. Na primeira caixa de diálogo que aparece logo na sequência são apresentados dois comandos ao usuário: tecla <Esc> para interromper o processo de cálculo; e tecla <TAB> para passar para a próxima bacia. Clique em **Ok** para prosseguir. Na segunda caixa de diálogo que aparece, clique em **Sim** para confirmar.

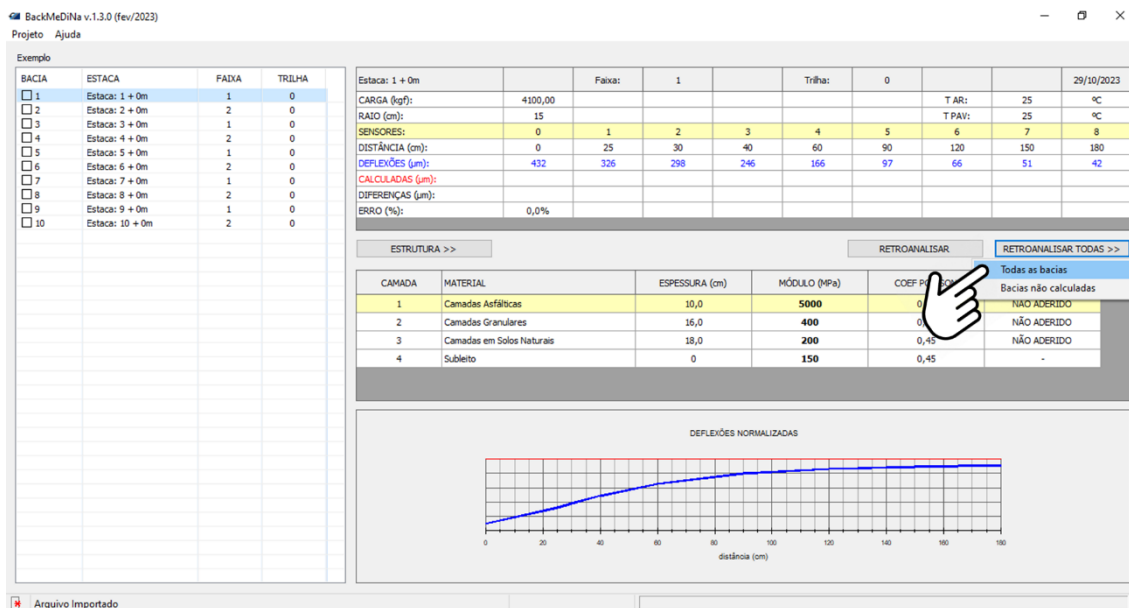


Figura 65 – Comando para dar início à retroanálise

Perceba que ao dar início ao processo de retroanálise, na tela principal do programa podem ser visualizados: (1) as deflexões calculadas (em vermelho); (2) o erro calculado; (3) a representação da bacia calculada; e (4) o tempo de processamento. Essas informações podem ser visualizadas em destaque na Figura 66.

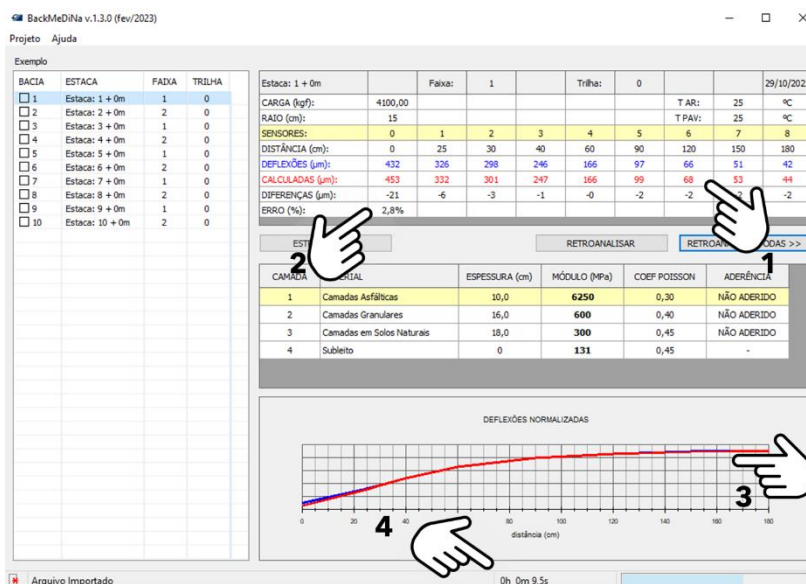
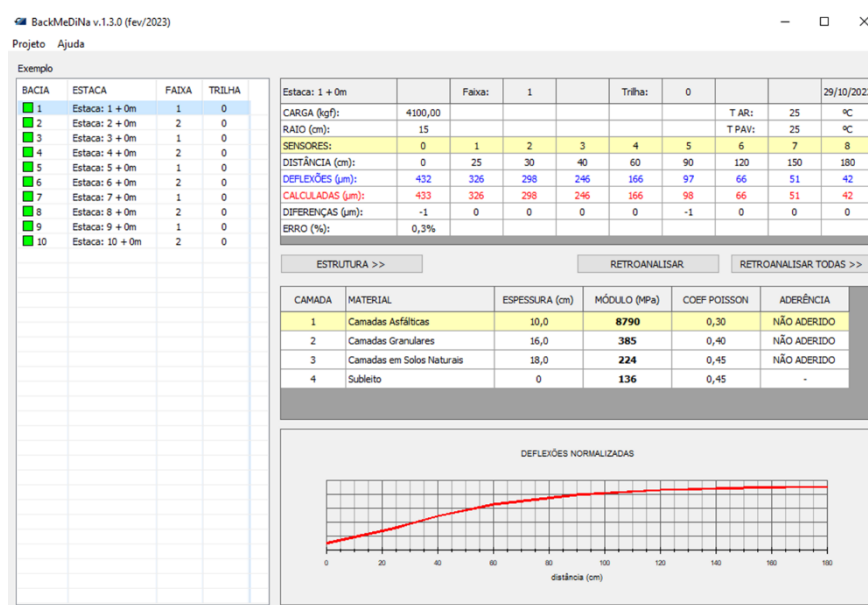


Figura 66 – Tela principal do programa após o início da retroanálise

Nesse exemplo a retroanálise foi conduzida sem interrupção, permitindo que o programa variasse os valores dos módulos de resiliência das camadas, até atingir o

menor erro possível. Na Figura 67 está representada a tela principal do programa ao final da retroanálise.



**Figura 67 – Tela principal do programa após o fim da retroanálise**

Observe que após o fim da retroanálise, todos os marcadores da primeira coluna no lado esquerdo da tela ficaram verdes. Isso significa que em todas as estacas a bacia medida e a bacia calculada apresentam uma boa correlação (erro menor que 5 %). Caso a correlação em alguma estaca fosse razoável (erro entre 5 % e 10 %), o marcador ficaria amarelo, e caso a correlação fosse insatisfatória (erro maior que 10 %), o marcador ficaria vermelho.

Mesmo que a retroanálise tenha resultado em uma boa correlação para todas as bacias avaliadas, é importante que o projetista avalie os valores dos módulos de resiliência obtidos, pois existe a possibilidade de, mesmo com uma boa correlação, os valores obtidos não serem coerentes com a faixa de valores esperada para os materiais que constituem a estrutura.

Caso o usuário queira excluir alguma bacia do arquivo de retroanálise, basta clicar nela com o botão direito do mouse e na opção **Remove**. Esse processo é irreversível e está ilustrado na Figura 68. A representação do organograma com o roteiro proposto, após a obtenção dos módulos de resiliência por retroanálise, é apresentada na Figura 69.

BackMeDiNa v.1.3.0 (fev/2023)

Projeto Ajuda

Exemplo

BACIA	ESTACA	FADIA	TRILHA
1	Estaca: 1 + 0m	1	0
2	Estaca: 2 + 0m	2	0
3	Estaca: 3 + 0m	1	0
4	Estaca: 4 + 0m	2	0
5	Estaca: 5 + 0m	1	0
6	Estaca: 6 + 0m	2	0
7	Estaca: 7 + 0m	1	0
8	Estaca: 8 + 0m	2	0
9	Estaca: 9 + 0m	1	0
10	Estaca: 10 + 0m	2	0

Estaca: 1 + 0m

γGA (kgf): 4100,00

γSA (cm): 15

SE: 0 1 2 3 4 5 6 7 8

DIS: 0 25 30 40 60 90 120 150 180

CALCULO (μm): 432 326 298 246 166 97 66 51 42

DIFERENÇAS (μm): -1 0 0 0 0 -1 0 0 0

ERRO (%): 0,3%

T AR: 25 °C

T PAV: 25 °C

29/10/2023

ESTRUTURA >>>

RETROANALISAR

RETROANALISAR TODAS >>>

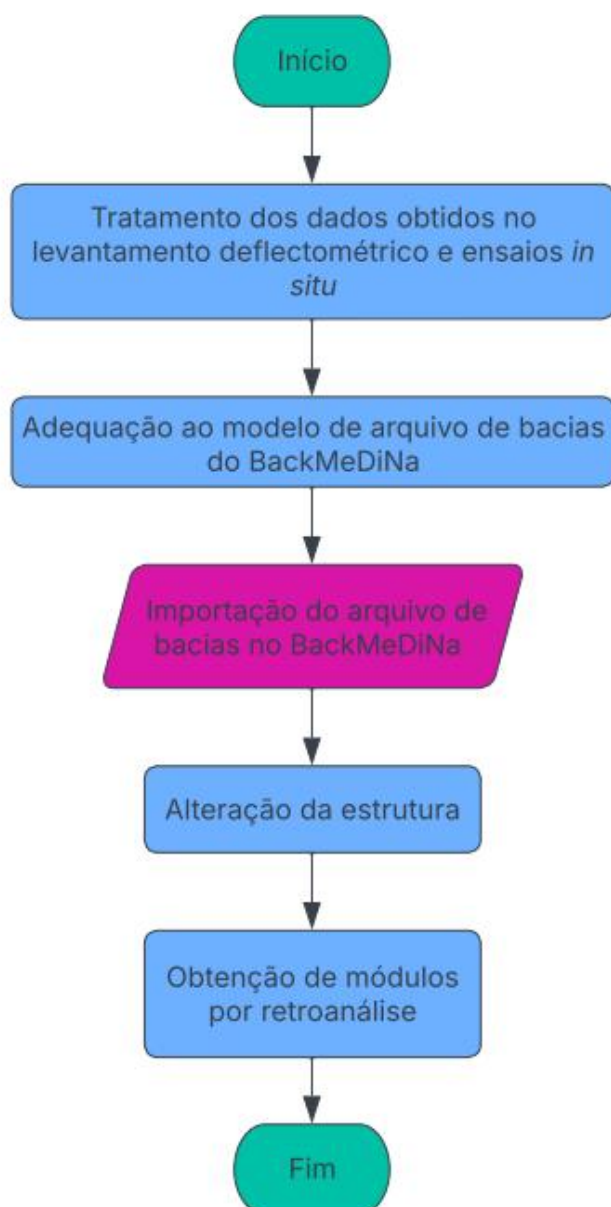
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	Camadas Afálticas	10,0	8790	0,30	NÃO ADERIDO
2	Camadas Granulares	16,0	385	0,40	NÃO ADERIDO
3	Camadas em Solos Naturais	18,0	224	0,45	NÃO ADERIDO
4	Subleito	0	136	0,45	-

DEFLEXÕES NORMALIZADAS

Arquivo Importado

0h 29m 8,2s

Figura 68 – Comando para remover uma bacia do arquivo de retroanálise



**Figura 69 – Organograma após a obtenção dos módulos de resiliência por retroanálise**

Para salvar o arquivo, clique no menu **Projeto** e na opção **Salvar**. Na janela que é exibida escolha um local para salvar o arquivo, atribua um nome e clique em **Salvar**. Esse processo está ilustrado na Figura 70.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente Roteiro de Utilização dos Programas do MeDiNa foi elaborado buscando apresentar exemplos de utilização das ferramentas que compõem o pacote MeDiNa. Vale ressaltar que o método assim como as ferramentas estão em constante aprimoramento, e que as considerações apresentadas se referem às versões: 2.0.0 do programa MeDiNa; 2.4.6 do programa AEMC; e 1.3.0 do programa BackMeDiNa.

Os exemplos de utilização apresentados contemplam dimensionamentos de estruturas novas com diferentes materiais que podem ser considerados com o uso do programa MeDiNa. Os exemplos apresentados acompanham um organograma que auxilia no entendimento dos parâmetros requeridos e a entrada de dados no programa. O Roteiro de Ensaios Necessários para Obtenção de Parâmetros de Entrada dos Programas do MeDiNa complementa os exemplos de utilização apresentados, apresentando de forma objetiva os procedimentos laboratoriais necessários para obtenção das propriedades dos materiais requeridas para o dimensionamento de estruturas pelo programa MeDiNa.

A análise dos resultados obtidos pelo programa MeDiNa, bem como das variáveis mecânicas calculadas pelo programa AEMC, e dos módulos de resiliência obtidos por retroanálise pelo programa BackMeDiNa na elaboração de um projeto deve levar em consideração suas particularidades. As tomadas de decisão mediante aos resultados obtidos com o uso dos programas computacionais dependem não apenas do entendimento e domínio dessas ferramentas, mas principalmente do conhecimento técnico do projetista.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACK, A. H. Estudo do comportamento à Fadiga de misturas cimentadas do tipo BGTC utilizando duas rochas extrusivas representativas do estado do RS. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2022, 275 p.

BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 756 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. Publicação IPR 667 – Método de projeto de pavimentos flexíveis. 3ª ed. Rio de Janeiro, 1981, 34 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 031/2024 – ES. Pavimentação – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Brasília/DF, 2024.

\_\_\_\_\_. DNIT 134/2018 – ME. Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 135/2018 – ME. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 136/2018 – ME. Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 137/2010 – ES. Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço. Rio de Janeiro/RJ, 2010.

\_\_\_\_\_. DNIT 141/2022 – ES. Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Brasília/DF, 2022.

\_\_\_\_\_. DNIT 179/2018 – IE. Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 181/2018 – ME. Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 183/2018 – ME. Pavimentação asfáltica – Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ, 2018.

\_\_\_\_\_. DNIT 434/2022 – ME. Pavimentação – Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada em camadas estabilizadas quimicamente – Método de ensaio. Brasília/DF, 2022.

\_\_\_\_\_. Publicação IPR – 719: Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro/RJ, 2006.

FRANCO, F. A. C. P.; MOTTA, L. M. G. Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Manual de Utilização do programa MeDiNa: Apresentação dos programas. Projeto DNIT TED nº 682/2014. Processo nº 50607.002043/2013-00. Convênio UFRJ/DNIT, Rio de Janeiro/RJ, 2020.

HUANG, Y. H. Pavement analysis and design. New Jersey: Pearson Education, 2004. 775 p.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. Mecânica dos Pavimentos. Interciência, Rio de Janeiro, RJ, 2015. 620 p.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro: Synergia, 2010. 220 p.

RAUL, C. M. Avaliação a nível de ligantes da aplicabilidade de material fresado na execução de misturas asfálticas antirreflexão de trincas. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2019, 100 p.

TOFFOLI, C. M. Dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos: influência da condição de aderência na interface. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2021, 80 p.