



Manual de Ajuda

PROGRAMA BackMeDiNa

Versão 1.3.0

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 BackMeDiNa

Versão 1.3.0

Brasília

Outubro/2025

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Interface do software BackMeDiNa	12
Figura 2 – Tela inicial do software BackMeDiNa	13
Figura 3 – Aba Projeto no BackMeDiNa.....	14
Figura 4 – Sistema de coordenadas adotado no MeDiNa	18
Figura 5 – Ilustração do equipamento FWD com evidência do posicionamento dos sensores.....	18
Figura 6 – Planilha do modelo de arquivo de bacias do BackMeDiNa	19
Figura 7 – Importando arquivo de bacias no Backmedina. (a) comando para importar o arquivo de bacias. (b) escolhendo o arquivo de bacias. (c) arquivo de bacias inserido.....	23
Figura 8 – Comando para alterar a estrutura no BackMeDiNa.....	24
Figura 9 – Inserção de camadas da estrutura de pavimento no BackMeDiNa. (a) Selecionando a camada. (b) Clicando no botão ESTRUTURA e inserindo a camada. (c) Camada inserida	25
Figura 10 – Exclusão de camadas da estrutura de pavimento no BackMeDiNa. (a) Selecionando a camada. (b) Clicando no botão ESTRUTURA e excluindo a camada. (c) Camada excluída	26
Figura 11 – Aplicação da mesma estrutura de pavimento para todas as bacias carregadas no BackMeDiNa. (a) Alteração da estrutura aplicada apenas a primeira bacia. (b) Clicando no botão ESTRUTURA e alterando a estrutura para as demais bacias. (c) Confirmando a alteração da estrutura para as demais bacias	28
Figura 12 – Camadas da estrutura de pavimento descritas no BackMeDiNa	31
Figura 13 – Processo de retroanálise de uma bacia no BackMeDiNa. (a) Informando ao software para iniciar a retroanálise. (b)Retroanálise sendo realizada de modo automático. (c) Retroanálise da bacia finalizada com erro inferior a 5 %	34
Figura 14 – Processo de retroanálise de todas as bacias no BackMeDiNa	36

Figura 15 – Congelando uma camada no BackMeDiNa 37

Figura 16 – Processo de exclusão de uma bacia no BackMeDiNa 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grandezas e unidades físicas adotadas no BackMeDiNa	17
Tabela 2 – Condições de aderência das camadas de pavimento no BackMeDiNa ..	32

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	7
2	ATUALIZAÇÃO DO PROGRAMA	8
3	PROGRAMA	10
4	INTERFACE	12
5	MENU PROJETO	14
6	UNIDADES	17
7	CONVENÇÕES	18
8	MODELO DE ARQUIVO DE BACIAS	19
9	IMPORTANDO ARQUIVO DE BACIAS	22
10	CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA	29
11	MATERIAIS	31
12	RETROANALISAR	33
13	PRINCÍPIO DE CÁLCULO	35
14	CONGELANDO UMA CAMADA	37
15	ERRO DE RETROANALISE	38
16	REMOÇÃO DE BACIA	39

1 APRESENTAÇÃO

O programa BackMeDiNa realiza o processo de retroanálise dos módulos de resiliência das camadas de um pavimento a partir de dados das bacias deflectométricas levantadas em campo por equipamentos de avaliação estrutural não destrutiva, do tipo FWD.

Histórico de versões

1.1.0 Versão inicial publicada em abril de 2018

1.2.0 Atualização publicada em junho de 2020

1.3.0 Atualização publicada em fevereiro de 2023

Desenvolvido por:

Filipe Augusto Cinque de Proença Franco, D.Sc.

2 ATUALIZAÇÃO DO PROGRAMA

Versão 1.2.0

Alterações em relação a versão anterior 1.1.0

1. O valor da carga aplicada pelo equipamento FWD no ensaio é apresentado com duas casas decimais.
2. Implementada a opção de excluir uma medição de FWD da lista de bacias.
3. O cálculo do erro quadrático médio (RMSE) foi alterado para gerar resultados em percentuais, seguindo o padrão de outros programas de retroanálise.
4. O processo de cálculo de retroanálise foi automatizado para convergir na melhor bacia com apenas um clique no botão -Retroanalisar-.
5. Implementada função para realizar a retroanálise automática de todas as medições de FWD da lista de bacias.
6. Implementada função para realizar a retroanálise automática das bacias da lista que ainda não foram retroanalisadas.
7. Atualizado o arquivo da Ajuda.

Versão 1.3.0

Alterações em relação à versão anterior 1.2.0

1. Correção da unidade do erro RMS na planilha de resultados do Excel. Alterada para %.
2. Valor do erro RMS apresentado de forma igual, tanto na tela do programa, quanto na planilha de resultados do Excel.
3. Implementadas rotinas de verificação do arquivo de importação de bacias, a fim de evitar erros do programa.
4. Atualizado o arquivo da Ajuda.

3 PROGRAMA

O BackMeDiNa é um programa de computador criado para auxiliar o processo de retroanálise de bacias deflectométricas obtidas com o equipamento FWD, desenvolvido para uso, como um componente nos programas MeDiNa e AEMC.

O cálculo para obtenção dos Módulos de Resiliência é realizado de forma iterativa, utilizando o programa de análise elástica de múltiplas camadas (AEMC) para a análise elástica linear, a partir da variação dos valores dos módulos em torno de um valor central, até se obter uma bacia teórica mais próxima da bacia de deflexões de campo medida pelo FWD. Para isso, o programa compara a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) das diferenças entre as deflexões medidas em campo e as calculadas.

As hipóteses fundamentais da solução computacional baseiam-se nas mesmas consideradas pelo AEMC na solução de problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, 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, em exceção da camada de subleito 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. Em grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;

9. As condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para não aderida.

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, engloba: tensões verticais, tensões radiais, tensões tangenciais, tensões de cisalhamento no plano vertical-radial, e deflexões verticais e radiais.

4 INTERFACE

A interface com o projetista do BackMeDiNa busca reunir, em uma única tela todas as informações essenciais, divididas em quatro quadros, a lista de bacias, os dados da bacia selecionada, a estrutura do pavimento, e o gráfico comparativo do formato da bacia medida (em azul) com a calculada (em vermelho), conforme detalhado na Figura 1.

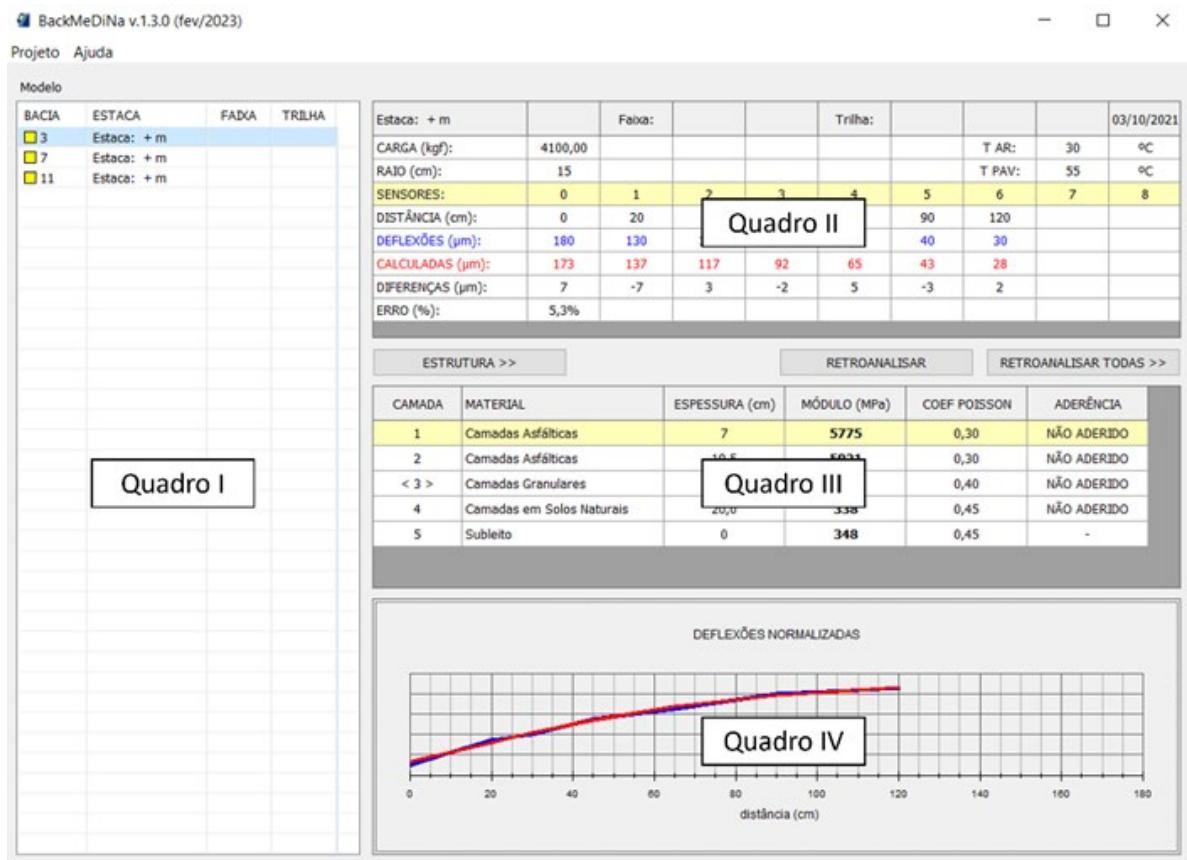


Figura 1 – Interface do software BackMeDiNa

Ao ser iniciado, o programa exibe todos os quadros vazios, conforme Figura 2. No canto superior esquerdo, há uma barra de Menu Principal com a opção PROJETO que contém as funções essenciais do programa, conforme evidenciado na Figura 3. Ao lado, a opção AJUDA abre a janela com este Manual do Programa. Por fim, uma Barra de Status na base da janela apresenta informações simples. Cada uma das opções e dos quadros serão detalhados individualmente neste documento.

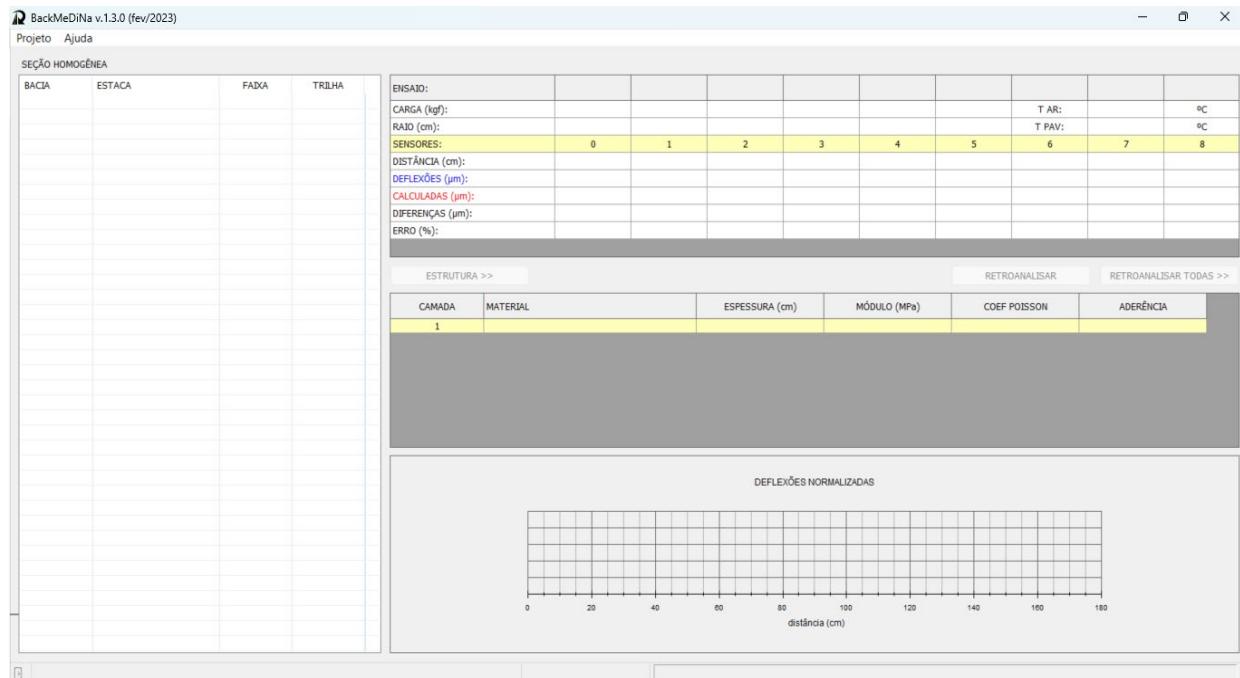


Figura 2 – Tela inicial do software BackMeDiNa

5 MENU PROJETO

As opções do menu PROJETO, na janela principal do programa, conforme demonstrado na Figura 3, permitem ao projetista manipular os arquivos de dados da seguinte forma:

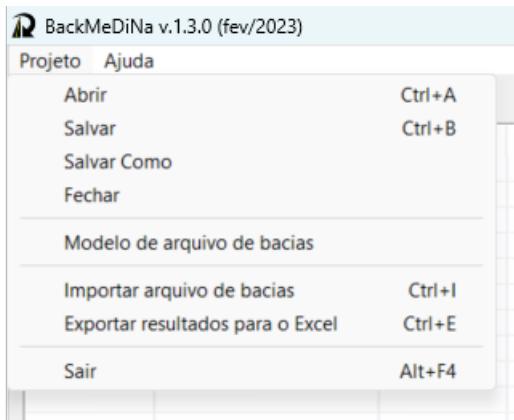


Figura 3 – Aba Projeto no BackMeDiNa

<Abrir>

Possibilita abrir um arquivo existente com a extensão própria do programa BackMeDiNa: <nome_do_arquivo.bac>.

Tecla de atalho: *Ctrl+A*

<Salvar>

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

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

Tecla de atalho: *Ctrl+B*

<Salvar como>

Permite salvar o arquivo com o nome escolhido pelo projetista.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

<Fechar>

Usada para fechar o arquivo, limpar todos os dados e voltar a condição inicial do programa.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

<Modelo de arquivo de bacias>

Abre o arquivo de modelo de bacias em uma planilha eletrônica, no formato (.csv) para que o projetista possa preencher a mesma com as informações necessárias e posteriormente importar para o programa.

<Importa arquivo de bacias>

Importa o arquivo de bacias, no formato (.csv), elaborado pelo projetista e libera o programa para os cálculos.

Importante: *O arquivo de bacias (.csv) deve estar fechado para não gerar erro pelo BackMeDiNa.*

Tecla de atalho: *Ctr+/*

<Exporta resultados para o Excel>

Possibilita exportar os resultados obtidos no processo de cálculo do software para um arquivo de formato (.csv). Os dados são organizados por bacias, facilitando a sua

manipulação em planilhas eletrônicas. Se o comando for bem sucedido o arquivo será aberto automaticamente.

As bacias analisadas serão exportadas com os dados calculados, com o erro da análise e a estrutura do pavimento que gerou os resultados. Para as bacias não analisadas, apenas os dados do levantamento são incluídos.

Essa opção só fica ativa após abrir um arquivo do formato (.bac) ou após importar um arquivo de bacias (.csv).

Tecla de atalho: *Ctrl+E*

<Sair>

Para encerrar o programa.

6 UNIDADES

Para o perfeito funcionamento do programa, o projetista deverá atentar para o uso correto das unidades das grandezas físicas utilizadas no programa, descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Grandezas e unidades físicas adotadas no BackMeDiNa

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 aplicada pelo FWD	kgf
Temperatura	°C
Erro quadrático médio (RMSE)	%

7 CONVENÇÕES

O sistema de coordenadas X, Y e Z assumido no programa é o indicado na Figura 4.

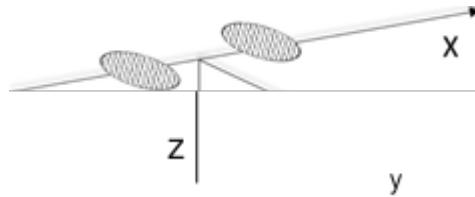


Figura 4 – Sistema de coordenadas adotado no MeDiNa

As coordenadas dos pontos em que são realizadas as análises devem estar ajustadas às posições dos sensores ou geofones do FWD. Isso deve ser realizado para permitir o cálculo dos deslocamentos de forma coerente. A Figura 5 ilustra a posição dos sensores de um equipamento FWD.

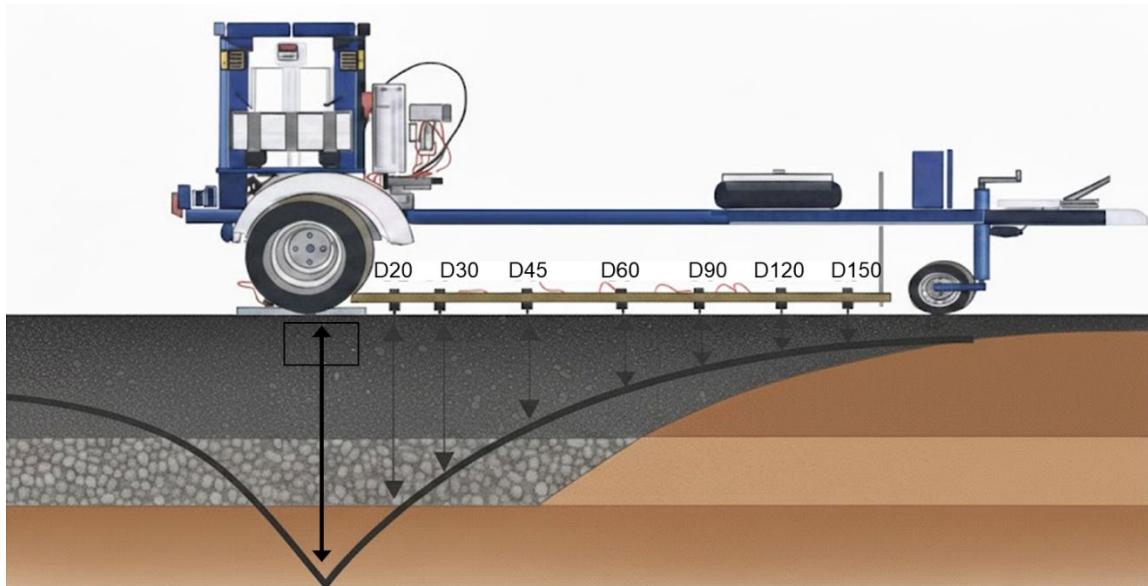


Figura 5 – Ilustração do equipamento FWD com evidência do posicionamento dos sensores

8 MODELO DE ARQUIVO DE BACIAS

Preenchendo o arquivo de bacias

Clique em PROJETO no Menu Principal e selecione a opção *Modelo de arquivo de bacias*. Será aberta uma planilha Excel com extensão .csv. Preencha as colunas sem deixar espaços em branco.

Ao concluir, salve a planilha Excel com o nome de sua preferência, utilizando o formato.csv (separado por vírgulas), conforme mostrado na Figura 6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	BACKMEDINA																	
2	SEÇÃO:																	
3	RAIO (cm):																	
4	Data de Execução	Temp. Do Ar	Temp. Do Pavimento	Carga	Estaca – Número	Estaca – Descolamento	Estaca – Faixa	Estaca – Trilha	d0	d20	d30	d45	d60	d90	d120	d150	d180	
5	13/10/2025	25	25	4100	1	0	0	0	432	326	298	246	166	97	66	51	42	
6	13/10/2025	25	25	4100	2	0	0	0	449	334	304	249	165	96	65	50	42	
7	13/10/2025	25	25	4100	3	0	0	0	449	334	304	249	165	96	65	50	42	
8	13/10/2025	25	25	4100	4	0	0	0	416	318	292	243	166	99	66	51	42	
9	13/10/2025	25	25	4100	5	0	0	0	442	331	302	248	165	97	65	50	42	
10	13/10/2025	25	25	4100	6	0	0	0	444	332	302	247	164	96	65	50	42	
11	13/10/2025	25	25	4100	7	0	0	0	451	335	304	248	164	95	65	50	42	
12	13/10/2025	25	25	4100	8	0	0	0	470	343	310	251	163	94	64	50	42	
13	13/10/2025	25	25	4100	9	0	0	0	433	326	298	245	165	97	66	51	42	
14	13/10/2025	25	25	4100	10	0	0	0	433	331	302	247	165	96	65	50	42	
15																		
16																		

Figura 6 – Planilha do modelo de arquivo de bacias do BackMeDiNa

Identifique a planilha da Figura 6 com as informações a seguir:

Linha 1

Consta a informação que o arquivo é de domínio do software BackMeDiNa - módulo retroanálise. A informação contida nessa linha não deve ser alterada.

Linha 2

Trata-se do nome da Seção Homogênea que está sendo avaliada.

Linha 3

Corresponde ao dado de entrada do raio do prato de aplicação de carga do equipamento FWD, em centímetros.

Linha 4 em diante

Corresponde às informações das bacias de deflexão medidas em campo pelo FWD. Após a linha de título, é possível o projetista inserir dados de até 100 bacias obtidas nos ensaios de FWD. O ideal é que as bacias sejam relativas a uma mesma seção homogênea do pavimento.

Coluna 1

Informação: Data do ensaio.

Coluna 2

Informação: Temperatura do ar no instante do ensaio.

Coluna 3

Informação: Temperatura do pavimento no instante do ensaio.

Coluna 4

Dado de entrada: Carga aplicada no pavimento pela queda do prato de carga do FWD na superfície do pavimento durante o ensaio.

Coluna 5

Informação: Estaca localizando o ponto do ensaio.

Coluna 6

Informação: Complemento da estaca em metros.

Coluna 7

Informação: Faixa do pavimento avaliada

Coluna 8

Informação: Trilha do pavimento.

Coluna 9 a 17

Dados de entrada das bacias aferidas em campo:

O FWD tem como padrão nove sensores que estão posicionados inicialmente nas seguintes distâncias (em centímetros): 0, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180. São identificados na linha de títulos com a letra D. “Dx”, conforme Figura 5. Sendo “x” a distância do sensor em relação à aplicação da carga, que o programa irá ler e identificar a posição do sensor.

Assim, D0 é o sensor localizado a 0 cm do ponto de aplicação da carga, D20 a 20 cm e assim sucessivamente.

A quantidade de sensores pode ser alterada, bastando apagar as colunas dos sensores que não serão utilizadas.

A distância do posicionamento também poderá ser alterada, bastando alterar o valor após a letra D, por exemplo, se o sensor não estiver a 45 cm, mas a 55 cm, altere o valor de D45 na linha de título para D55.

9 IMPORTANDO ARQUIVO DE BACIAS

Inserindo o arquivo de bacias

Após preenchimento do modelo de arquivo de bacias, de acordo com as orientações listadas na seção 8, o projetista deverá importar o arquivo de bacias para o software BackMeDiNa. Para isso, clique em PROJETO no Menu Principal e selecione a opção *Importar arquivo de bacias* (Figura 7a). Será aberta uma aba em que permitirá o projetista carregar o arquivo de bacias com extensão .csv. que foi preenchido na etapa anterior (Figura 7b).

Ao concluir o carregamento do arquivo de bacias, aparecerá na tela inicial do software, as informações das bacias carregadas, com o preenchimento dos quatro quadros: a lista de bacias, os dados da bacia selecionada, a estrutura padrão do pavimento, e o gráfico do formato da bacia medida (Figura 7c). A Figura 7 ilustra as etapas de importação do arquivo de bacias do FWD.



(a)

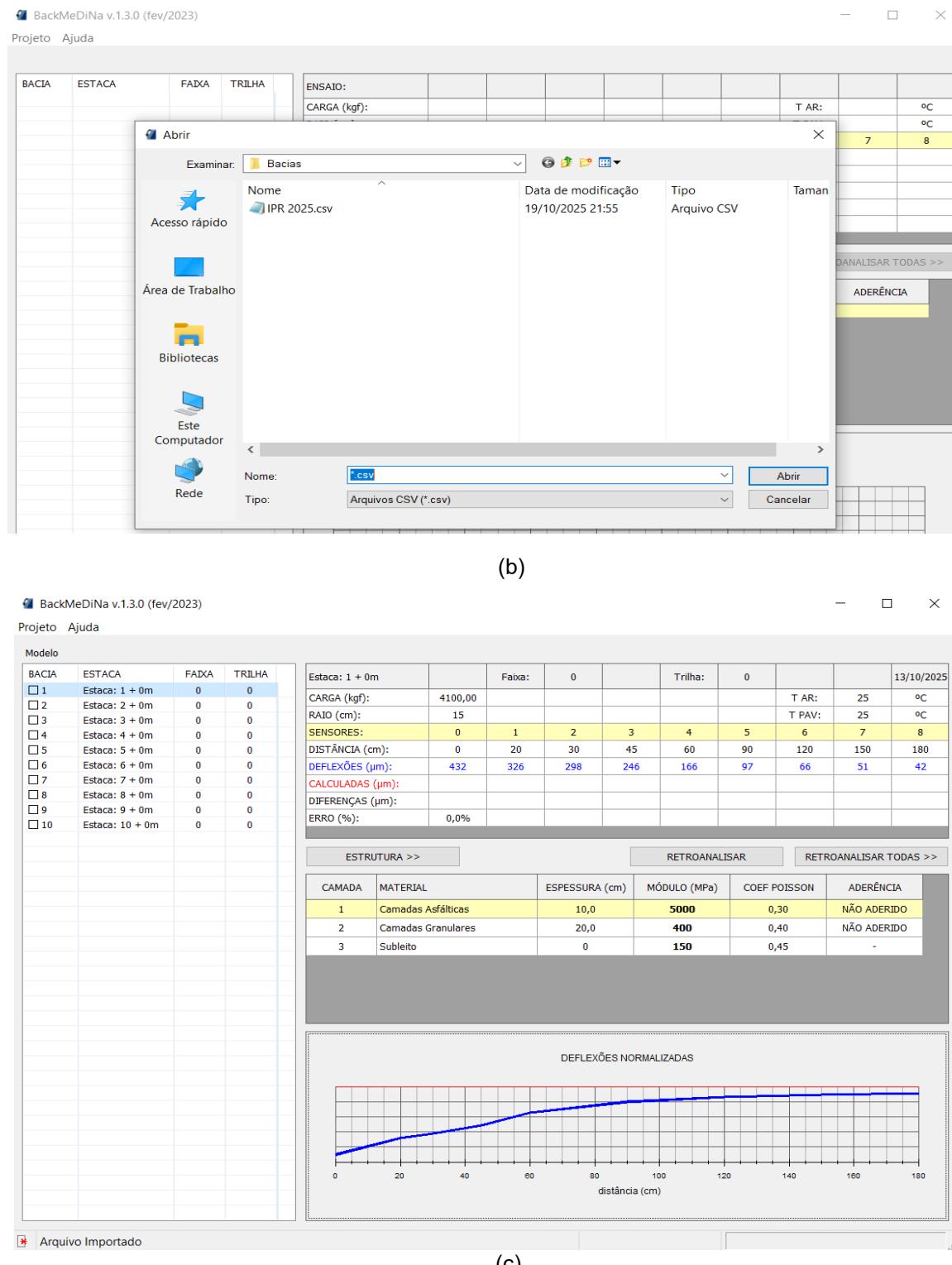


Figura 7 – Importando arquivo de bacias no Backmedina. (a) comando para importar o arquivo de bacias. (b) escolhendo o arquivo de bacias. (c) arquivo de bacias inserido

ALTERANDO A ESTRUTURA PADRÃO DO PAVIMENTO

Ao carregar o arquivo de bacias do FWD, o software BackMeDiNa gera de modo automático no quadro III uma estrutura de pavimento padrão (Figura 7c), que necessitará de ser alterada pelo projetista.

No que se refere a estrutura do pavimento a ser retroanalizado, somente após aberto um arquivo (.bac) ou após a importação de um arquivo de bacias (.csv) que será possível alterar a estrutura.

O botão de comando *ESTRUTURA >>* permite alterar a estrutura de pavimento, adicionar ou remover camadas no perfil do pavimento, conforme mostrado na Figura 8. São permitidas no máximo estruturas com até seis camadas, e no mínimo com uma camada. Por questões de padronização, o subleito não pode ser excluído.

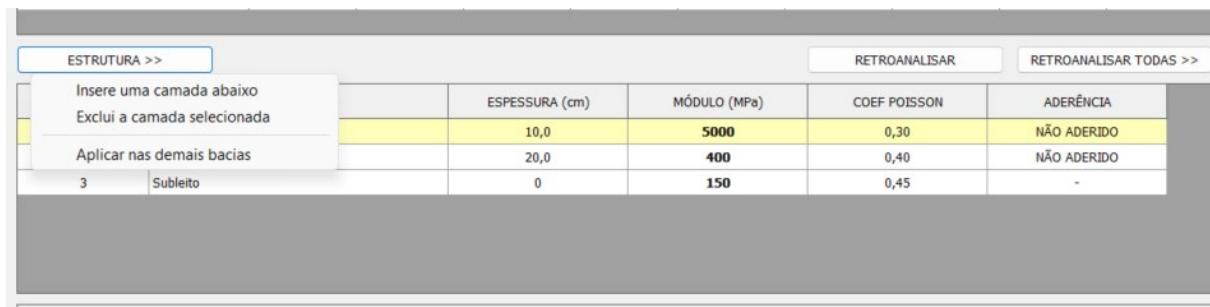


Figura 8 – Comando para alterar a estrutura no BackMeDiNa

Inserindo camadas

Para inserir uma nova camada na estrutura do pavimento, o projetista deve selecionar a linha imediatamente acima da posição da futura camada (Figura 9a), clicar no botão de comando *ESTRUTURA >>>* e selecionar a opção *Inserir uma camada abaixo* (Figura 9b). O programa automaticamente irá abrir uma nova linha abaixo da camada selecionada e irá preencher com os mesmos dados da camada escolhida (Figura 9c). Por padronização, o projetista não pode inserir uma camada abaixo do subleito. A Figura 9 ilustra as etapas de inserção de nova camada.

No caso do subleito estar selecionado, a inserção da camada é acima.

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
< 1 >	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
2	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
3	Subleito	0	150	0,45	-		

(a)

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
Insere uma camada abaixo Exclui a camada selecionada		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
		10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
		20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
3	Subleito	0	150	0,45	-		

(b)

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
1	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
2	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
3	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
4	Subleito	0	150	0,45	-		

(c)

Figura 9 – Inserção de camadas da estrutura de pavimento no BackMeDiNa. (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, o projetista deve selecionar a linha referente a camada que deseja excluir (Figura 10a) e clicar no botão de Comando **ESTRUTURA >>** e selecionar a opção *Excluir a camada selecionada* (Figura 10b). Por padronização, o subleito não poderá ser excluído, e a estrutura apresentará alterada conforme decisão do projetista (Figura 10c). A Figura 10 ilustra as etapas para exclusão de camada da estrutura do pavimento.

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
< 1 >	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
2	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
3	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
4	Subleito	0	150	0,45	-		

(a)

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
Inseri uma camada abaixo Exclui a camada selecionada Aplicar nas demais bacias		ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
		10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
		20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
3	Subleito	0	150	0,45	-		

(b)

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
1	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
2	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
3	Subleito	0	150	0,45	-		

(c)

Figura 10 – Exclusão de camadas da estrutura de pavimento no BackMeDiNa.
(a) Selecionando a camada. (b) Clicando no botão ESTRUTURA e excluindo a camada. (c) Camada excluída

Aplicando a alteração da estrutura para as demais bacias

Ao realizar a alteração (adição ou exclusão de camadas) da estrutura de pavimento padrão do BackMeDiNa, o software entende que a alteração está sendo realizada apenas para a primeira bacia do arquivo de bacias que foi importado (Figura 11a).

Para que o projetista não realize alteração de bacia por bacia, este poderá utilizar a opção de aplicar o mesmo tipo de estrutura para todas as bacias daquele segmento homogêneo. Para isso, o projetista deve clicar no botão de comando *ESTRUTURA >>* e selecionar a opção *Aplicar nas demais bacias* (Figura 11b).

Ao selecionar a opção, o software emitirá um alerta de confirmação da alteração da estrutura para as demais bacias (Figura 11c). O projetista deve confirmar se o segmento que está sendo analisado apresenta uma estrutura de pavimento homogênea, pois uma vez confirmado a opção de alterar a estrutura para as demais bacias, todas as outras estruturas antes atribuídas serão perdidas. A Figura 11 ilustra as etapas da alteração da estrutura de pavimento para as todas as bacias carregadas.

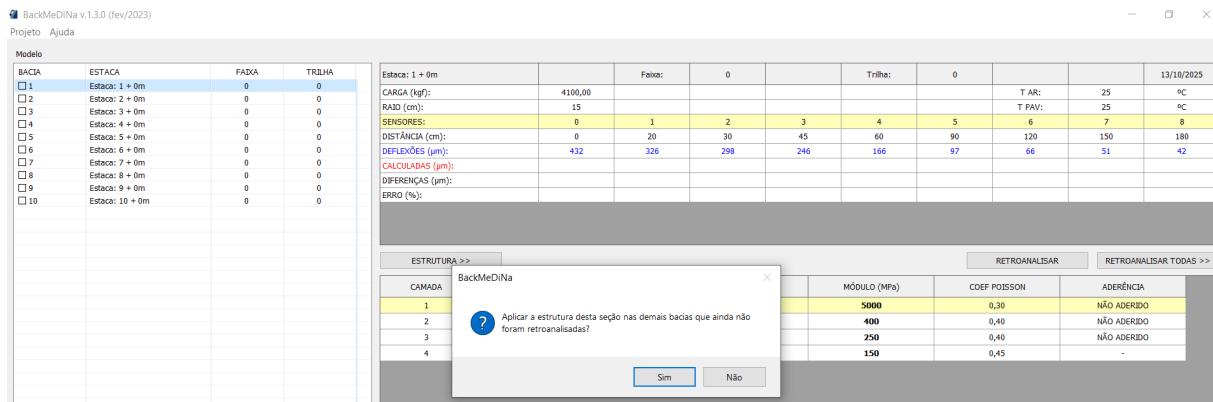
Dica: Carregue bacias de trechos homogêneos.

Modelo				Estaca: 1 + 0m								Estaca: 10 + 0m							
BACIA	ESTACA	FADA	TRILHA	CARGA (kgf):		Faixa:	0	Trilha:		0	T AR:		25	T PAV:		25	13/10/2025		
<input type="checkbox"/> 1	Estaca: 1 + 0m	0	0	4100,00															
<input type="checkbox"/> 2	Estaca: 2 + 0m	0	0	15															
<input type="checkbox"/> 3	Estaca: 3 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 6	Estaca: 6 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 7	Estaca: 7 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 8	Estaca: 8 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 9	Estaca: 9 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 10	Estaca: 10 + 0m	0	0																

(a)

Modelo				Estaca: 1 + 0m								Estaca: 10 + 0m							
BACIA	ESTACA	FADA	TRILHA	CARGA (kgf):		Faixa:	0	Trilha:		0	T AR:		25	T PAV:		25	13/10/2025		
<input type="checkbox"/> 1	Estaca: 1 + 0m	0	0	4100,00															
<input type="checkbox"/> 2	Estaca: 2 + 0m	0	0	15															
<input type="checkbox"/> 3	Estaca: 3 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 4	Estaca: 4 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 5	Estaca: 5 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 6	Estaca: 6 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 7	Estaca: 7 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 8	Estaca: 8 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 9	Estaca: 9 + 0m	0	0																
<input type="checkbox"/> 10	Estaca: 10 + 0m	0	0																

(b)



(c)

Figura 11 – Aplicação da mesma estrutura de pavimento para todas as bacias carregadas no BackMeDiNa. (a) Alteração da estrutura aplicada apenas a primeira bacia. (b) Clicando no botão ESTRUTURA e alterando a estrutura para as demais bacias. (c) Confirmando a alteração da estrutura para as demais bacias

10 CONDIÇÕES DE ADERÊNCIA

O programa AEMC que realiza a análise mecanicista da estrutura por meio de cálculos de tensões, deformações e deslocamentos, faz uma modelagem física similar a teoria de molas, com finalidade 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 evidenciado na Equação 1.

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

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, conforme Equação 2.

$$k_i = \frac{l_i}{1-l_i} \quad (2)$$

De acordo com a equação ao se atribuir o valor nulo para o parâmetro l_i , o valor de k_i será nulo, 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 a condição **NÃO ADERIDO** (que corresponde a $l_i = 0$) ou **ADERIDO** (que corresponde a $l_i = 1$).

11 MATERIAIS

Para selecionar um material diferente daquele apresentado basta selecionar a camada e clicar duas vezes com o mouse apontando para a coluna selecionada do material para ser alterado conforme Figura 12.

ESTRUTURA >>				RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA
1	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO
2	Camadas Asfálticas	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO
3	Camadas Estabilizadas Camadas Granulares Camadas em Solos Naturais	0	150	0,45	-

Figura 12 – Camadas da estrutura de pavimento descritas no BackMeDiNa

Ao selecionar a camada, o programa BackMeDiNa irá abrir uma caixa de opções de materiais conforme descrito na Figura 12, ao qual o projetista poderá escolher aquele material que melhor represente a camada analisada. Entretanto, a camada de subleito não permite a alteração do material.

O projetista, ao selecionar uma das opções de materiais, será questionado pelo programa BackMeDiNa se realmente deseja alterar o tipo de material da camada. Após confirmar, o programa irá preencher os campos espessura, módulo, coeficiente de Poisson e condição de aderência automaticamente com informações oriundas de um banco de dados do próprio software. Cumpre destacar que os valores constantes no banco de dados são apenas de referência, cabendo ao projetista a alteração de qualquer desses valores conforme caracterização realizada do material estudado.

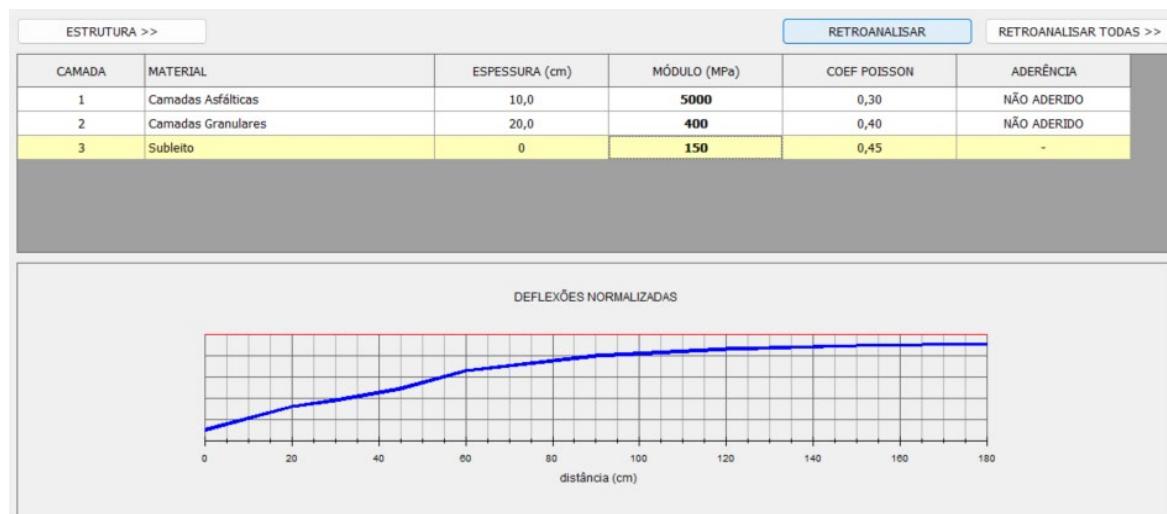
Para que a retroanálise possa ser reconhecida pelo programa MeDiNa, a condição de aderência entre camadas considerada no MeDiNa deverá ser respeitada nos processos de retroanálises do BackMeDiNa. As condições são pré-estabelecidas, conforme detalhadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Condições de aderência das camadas de pavimento no BackMeDiNa

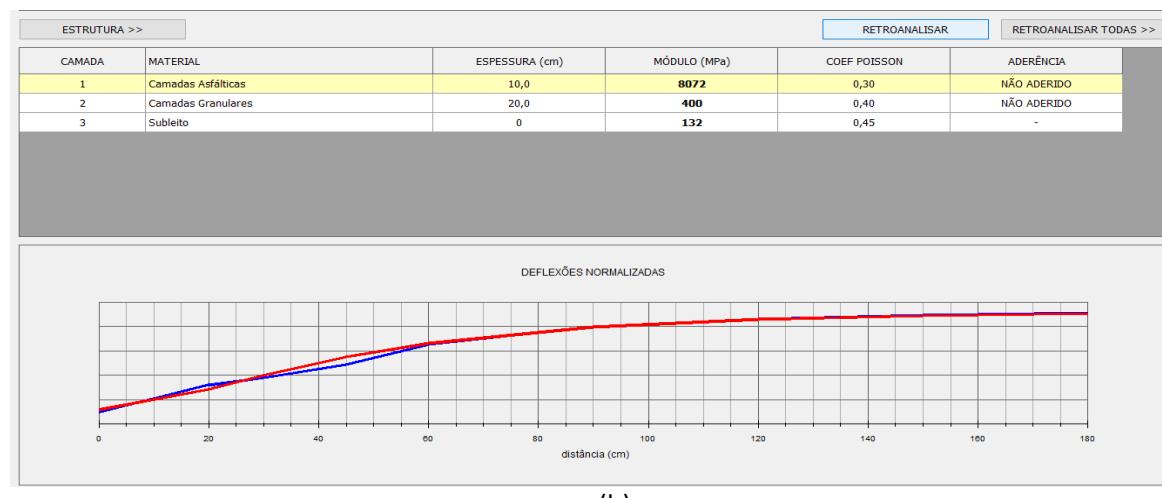
CAMADA	CONDIÇÃO
Camadas asfáltica sobre outra camada asfáltica	ADERIDO
Camada asfáltica sobre camadas estabilizadas	NÃO ADERIDO
Camada asfáltica sobre camadas de solos ou granulares	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre outra camada estabilizada	NÃO ADERIDO
Camada estabilizada sobre camadas de solos ou granulares	NÃO ADERIDO
Camada de solos ou granulares sobre camadas asfálticas, cimentadas, de solos ou granulares	NÃO ADERIDO

12 RETROANALISAR

Para realização do processo de retroanálise, o projetista deve confirmar se todas as informações da ESTRUTURA e os Módulos iniciais foram inseridos nos seus respectivos quadros. Em caso positivo, pode-se acionar o botão **RETROANALISAR** (Figura 13a), e o BackMeDiNa irá realizar o processo de cálculo de maneira automática (Figura 13b), buscando obter o menor erro quadrático (Figura 13c) médio (RMSE), e encontrar os módulos das camadas. A figura 13 ilustra o processo de retroanálise de uma bacia.



(a)



(b)

BACIA	ESTACA	FAIXA	TRILHA	Estaca: 1 + 0m	FAIXA:	0	Trilha:	0	T AR:	25	RC
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Estaca: 1 + 0m	0	0	CARGA (kgf):	4100,00				T PAV:	25	RC
<input type="checkbox"/> 2	Estaca: 2 + 0m	0	0	RAIO (cm):	15						
<input type="checkbox"/> 3	Estaca: 3 + 0m	0	0	SENSORES:	0	1	2	3	5	6	7
<input type="checkbox"/> 4	Estaca: 4 + 0m	0	0	DISTÂNCIA (cm):	0	20	30	45	60	90	120
<input type="checkbox"/> 5	Estaca: 5 + 0m	0	0	DEFLEXÕES (μm):	432	326	298	246	166	97	66
<input type="checkbox"/> 6	Estaca: 6 + 0m	0	0	CALCULADAS (μm):	418	350	297	225	169	99	66
<input type="checkbox"/> 7	Estaca: 7 + 0m	0	0	DIFERENÇAS (μm):	14	-24	1	21	-3	-2	-0
<input type="checkbox"/> 8	Estaca: 8 + 0m	0	0	ERRO (%):	4,0%					1	0
<input type="checkbox"/> 9	Estaca: 9 + 0m	0	0								
<input type="checkbox"/> 10	Estaca: 10 + 0m	0	0								

(c)

Figura 13 - Processo de retroanálise de uma bacia no BackMeDiNa. (a) Informando ao software para iniciar a retroanálise. (b) Retroanálise sendo realizada de modo automático. (c) Retroanálise da bacia finalizada com erro inferior a 5 %

Tecla de atalho para Retroanalisar: F2

Já o comando **RETROANALISAR TODAS** permite ao projetista realizar o cálculo automático de todas as bacias, fazendo a retroanálise em lotes. Essa opção pode ser utilizada, mesmo aquelas bacias que já foram avaliadas; ou apenas para aquelas ainda não calculadas. Em função do número de bacias, do número de camadas da estrutura e da condição das bacias, o cálculo pode levar mais de hora para ser concluído.

Como artifício de parada do processo de retroanálise, o projetista pode pressionar a tecla TAB e o programa interrompe o processo de retroanálise da bacia selecionada e passa para a próxima bacia. Ao pressionar a tecla ESC o programa interrompe o processo de retroanálise, mantendo todos os cálculos já realizados até aquele momento.

Lembre-se de salvar sempre o trabalho!

13 PRINCÍPIO DE CÁLCULO

O programa inicia o cálculo sempre com os módulos indicados pelo projetista na estrutura do pavimento. O programa varia este Módulo por uma faixa que depende do erro da retroanálise. Para erros elevados, a faixa de cada modulo é de 50 % do valor indicado (para maior e menor) na estrutura, visando abranger um maior nível de soluções. Para erros menores, a faixa de valores de Módulo diminui para 10 %. O número de intervalos de cada faixa é igual a 9.

Após iniciada a retroanálise, a partir do clique no botão **RETROANALISAR** o programa testa todos os intervalos possíveis de módulos de todas as camadas e, ao final, apresenta a bacia calculada que melhor se aproxima da bacia medida, ou seja, a que apresentar o menor erro quadrático médio (RMSE). E assim, o programa repete a rotina de cálculos considerando o melhor conjunto de módulos obtidos da tentativa anterior.

Logo, para bons resultados de retroanálise, é necessário o projetista avaliar bem os resultados e compatibilizá-los com os materiais existentes no campo. Caso a retroanálise não fique a contento, o projetista pode reavaliar a estrutura e repetir todo o processo.

Se as bacias foram obtidas a partir de um trecho homogêneo, o projetista, após avaliar a primeira bacia, pode se valer da opção "*Aplicar nas demais camadas*" que irá aplicar a primeira retroanálise em todas as demais bacias. Esse recurso pode facilitar as demais retroanálises.

O projetista pode ainda, clicar, no botão **RETROANALISAR TODAS** para que o programa realize os cálculos automaticamente das demais bacias. Duas opções surgem ao clicar neste botão: o primeiro aciona a rotina que irá retroanalisar todas as bacias; e o segundo aciona a rotina que irá retroanalisar apenas as bacias que ainda não foram analisadas. A Figura 14 ilustra o processo descrito.

ESTRUTURA >>		RETROANALISAR			RETROANALISAR TODAS >>	
CAMADA	MATERIAL	ESPESURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON		
1	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30		Todas as bacias
2	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO	Bacias não calculadas
3	Subleito	0	150	0,45	-	NÃO ADERIDO

BACIA	ESTACA	FADA	TRILHA	Estaca: 10 + 0m	Feixa:	0		Trilha:	0		15/12/2024
1	Estaca: 1 + 0m	0	0								
2	Estaca: 2 + 0m	0	0								
3	Estaca: 3 + 0m	0	0								
4	Estaca: 4 + 0m	0	0								
5	Estaca: 5 + 0m	0	0								
6	Estaca: 6 + 0m	0	0								
7	Estaca: 7 + 0m	0	0								
8	Estaca: 8 + 0m	0	0								
9	Estaca: 9 + 0m	0	0								
10	Estaca: 10 + 0m	0	0								

CARGA (kgf):	4100,00	Feixa:	0		Trilha:	0		T AR:	25	°C
RAIO (cm):	15							T PAV:	25	°C
SENSORES:	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
DISTÂNCIA (cm):	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
DEFLEXÕES (μm):	433	331	302	247	165	96	65	50	42	
CALCULADAS (μm):	423	353	299	226	169	98	65	50	41	
DIFERENÇAS (μm):	10	-22	3	21	-4	-2	-0	0	1	
ERRO (%):	4,0%									

Figura 14 – Processo de retroanálise de todas as bacias no BackMeDiNa

14 CONGELANDO UMA CAMADA

O projetista precisa sinalizar para o programa BackMeDiNa qual a camada que ele deseja congelar o Módulo, a fim de agilizar o processo de retroanálise. A coluna denominada CAMADA da estrutura apresenta a numeração das camadas. Para marcar a camada para ter seu módulo com valor fixo, basta o projetista clicar duas vezes sobre o número da camada.

Ao ser marcada, aparecerá a marca <_> no número, indicando que a camada não irá variar o Módulo no Processo de Retroanálise, conforme mostrado na Figura 15.

ESTRUTURA >>						RETROANALISAR	RETROANALISAR TODAS >>
CAMADA	MATERIAL	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF POISSON	ADERÊNCIA		
< 1 >	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
2	Camadas Asfálticas	10,0	5000	0,30	NÃO ADERIDO		
3	Camadas Granulares	20,0	400	0,40	NÃO ADERIDO		
4	Subleito	0	150	0,45	-		

Figura 15 – Congelando uma camada no BackMeDiNa

15 ERRO DE RETROANÁLISE

O erro da retroanálise é calculado pelo método da raiz do valor quadrático médio ou RMSE (Root Mean Square Error). O RMSE é calculado a partir das diferenças encontradas entre as deflexões calculadas e as deflexões medidas. A Equação 3 descreve como é calculado o RMSE.

$$(RMSE) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{calc} - d_{medido}}{d_{medido}} \right)^2} \quad (3)$$

Quando o erro for inferior a 5 %, o programa marca a seção com a cor verde no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise conseguiu uma boa correlação.

Quando o erro for inferior a 10 %, mas superior a 5 %, o programa marca a seção com a cor amarela no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise conseguiu uma correlação razoável.

Quando o erro for superior a 10 %, o programa marca a seção com a cor vermelha no quadro de listagem das seções, indicando que a retroanálise não conseguiu uma correlação satisfatória.

16 REMOÇÃO DE BACIA

Para excluir uma bacia da lista de pontos a serem retroanalisados, o projetista deve selecionar na lista a bacia com o clique do mouse. Após selecionada a bacia, deve-se clicar com o botão direito do mouse que irá abrir um menu *pop-up* com a opção destinada a Remover a bacia. Após clicar em Remover, o programa emitirá uma mensagem de alerta que, após a confirmação da exclusão, irá retirar da lista, a bacia selecionada. A Figura 16 ilustra todo o processo.

É recomendável o projetista ter a certeza da exclusão da bacia antes de realizar o comando, pois uma vez excluída a bacia da listagem do arquivo, ela não poderá mais ser carregada.

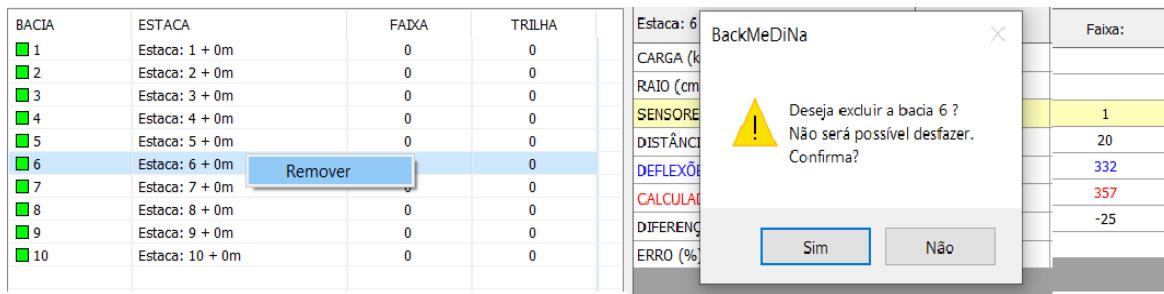


Figura 16 – Processo de exclusão de uma bacia no BackMeDiNa