

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Bruno Henrique Oliveira Lima

**REESTRUTURAÇÃO E APRIMORAMENTO DO
PROGRAMA FLAPS (FINITE LAYER ANALYSIS
PAVEMENT STRUCTURES)**

Trabalho de Graduação

2009

Engenharia Civil-Aeronáutica

BRUNO HENRIQUE OLIVEIRA LIMA

**REESTRUTURAÇÃO E APRIMORAMENTO DO PROGRAMA
FLAPS (FINITE LAYER ANALYSIS PAVEMENT
STRUCTURES)**

Trabalho de Graduação

Divisão de Engenharia Civil-Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
COMANDO-GERAL DE TECNOLOGIA AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão de Informação e Documentação**

Lima, Bruno Henrique Oliveira

Reestruturação e aprimoramento do programa FLAPS (Finite Layer Analysis Pavement Structures) /

Bruno Henrique Oliveira Lima

São José dos Campos, 2009.

84f.

Trabalho de Graduação. – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil, 2009.
Orientador: Prof. Régis Martins Rodrigues.

1. Programas de aplicação (computadores). 2. Pavimentos. 3. Manutenção. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, Bruno Henrique Oliveira. **Reestruturação e aprimoramento do programa FLAPS (Finite Layer Analysis Pavement Structures)**, 2009. Trabalho de Graduação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bruno Henrique Oliveira Lima

TÍTULO DO TRABALHO: reestruturação e aprimoramento do programa FLAPS (Finite Layer Analysis Pavement Structures)

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Graduação / 2009

É concedido ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de curso e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Bruno Henrique Oliveira Lima
R. Major Antônio Domingues, 133, apt 122, Centro
São José dos Campos – SP
CEP 12.245-750

**REESTRUTURAÇÃO E APRIMORAMENTO DO PROGRAMA
FLAPS (FINITE LAYER ANALYSIS PAVEMENT
STRUCTURES)**

Essa publicação foi aceita como Trabalho de graduação

Bruno Henrique Oliveira Lima

Autor

Prof. Régis Martins Rodrigues

Orientador

Prof. Eliseu Lucena Neto

Coordenador

São José dos Campos, 18 de novembro de 2009

RESUMO

A literatura corrente fornece diversos métodos empíricos para o dimensionamento de pavimentos, assim como modelos mecanístico-empíricos para o estudo destes após a construção. O objetivo principal é estimar com maior precisão o tempo de vida do pavimento e eventuais necessidades de reparos, além de possibilitar o estudo prévio do efeito destes reparos e seu efeito na vida útil. Com esta finalidade, foi desenvolvido no ano de 1994 o programa denominado FLAPS, pelo professor Régis Martins Rodrigues. Este programa, concebido inicialmente para o SO MS-DOS, aplica a teoria de análise de elementos finitos na previsão de funcionamento de pavimentos.

Contudo, o FLAPS está limitado à capacidade de processamento dos computadores à época, apresentando uma interface restrita com o usuário, limitações na capacidade de processamento e pouca tolerância a erros de utilização. Com o avanço da informática, surgiu a possibilidade de melhorar o software, tornando sua utilização mais simples, menos suscetível a erros do usuário e até mesmo ampliar sua capacidade de processamento.

Assim surgiu o WFLAPS (Finite Layer Analysis Pavement Structures para Windows), corrigindo os defeitos da versão anterior e fornecendo novas opções como gráfico da tensão de cisalhamento na borda da roda e a possibilidade de reutilizar dados previamente salvos.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

FLAPS Finite Layer Analysis Pavement Structures

MEF Método dos Elementos Finitos

ITA Instituto Tecnológico de Aeronáutica

SO Sistema Operacional

SUMÁRIO

1. Introdução	7
1.1. Motivação	7
1.1.1. Dificuldade de utilização	7
1.1.2. Capacidade Limitada de Processamento	8
1.2. Objetivos.....	8
1.2.1. Soluções de interface	8
1.2.2. Soluções para Capacidade Limitada de Processamento	10
1.2.3. Posicionamento do Apoio Rígido.....	10
2. Fundamentação Teórica.....	12
2.1. Método dos Elementos Finitos	12
2.2. Delphi e a Linguagem Pascal	13
2.3. FLAPS	13
3. O WFLAPS	16
3.1. Interface	16
3.2. Capacidade de Processamento.....	22
3.3. Posicionamento do apoio rígido	31
3.4. Código Fonte	33
5. Conclusões e sugestões para trabalhos posteriores.....	82
REFERÊNCIAS.....	83

1. Introdução

O presente trabalho visa descrever o processo de aprimoramento do programa FLAPS, desenvolvido em 1988 por Régis Martins Rodrigues que, concebido inicialmente para o SO MS-DOS, aplica a teoria de análise de elementos finitos na previsão de funcionamento de pavimentos. Para tanto, foi utilizado o compilador Borland Delphi 6. Serão sanados problemas abaixo relacionados:

- Limitada capacidade de processamento dos computadores à época: O número de variáveis utilizadas pelo programa é limitado, impossibilitando a análise simultânea de um número maior de pontos. Além disso, as variáveis precisavam ter limitações relativas ao número de casas decimais.
- Interface com o usuário: Os dados precisavam ser inseridos pelo usuário em uma sequência predefinida e com poucas possibilidades de correção.
- Tolerância a erros de utilização: Caso fossem fornecidos valores incoerentes ou com a vírgula como separador decimal o programa trava e os dados são perdidos.

1.1. Motivação

Durante o curso de pavimentos do ITA, foi necessário utilizar o FLAPS na análise de uma estrutura de pavimento dimensionada durante o projeto a ser realizado durante este curso. Constatou-se a partir de experiências do próprio autor e de outros usuários que o programa apresentava problemas que poderiam comprometer seu bom funcionamento.

Trata-se de um conjunto de fatores interconectados, porém mais facilmente analisados quando divididos em dois grupos: dificuldade de utilização e capacidade limitada de processamento.

1.1.1. Dificuldade de utilização

Neste tópico serão abordados os aspectos visíveis ao engenheiro que vise fazer uso do programa, sem aprofundar-se muito na estrutura. O primeiro ponto a ser observado é a interface com o usuário. Dotada de recursos limitados, o usuário deveria preencher uma série de dados em uma sequência preestabelecida, sendo o programa incapaz de lidar com os dados fornecidos em ordem incorreta. Porém a ordem de fornecimento dos dados não é restrita pelo programa. Com isso, o usuário que inadvertidamente desejasse alterar um dado anteriormente

fornecido corre o risco de travar o programa e perder todos os dados até então inseridos. O mesmo acontece caso alguns dados incoerentes sejam inseridos.

Menos importante, mas ainda assim um defeito a ser corrigido, é o aspecto gráfico da interface do programa. Podendo ser manipulada apenas através do teclado, acaba gerando dificuldade ainda maior para alterar dados anteriormente fornecidos e propiciando a ocorrência dos erros supracitados.

1.1.2. Capacidade Limitada de Processamento

Aqui entram os aspectos relacionados à estrutura do programa, não visualizados pelo usuário, mas que ainda assim interferem com seus resultados. O FLAPS foi originalmente programado para funcionar no SO DOS, o qual era o mais comumente utilizado na época de seu desenvolvimento. Este apresentava limitações associadas à capacidade dos computadores para o qual foi desenvolvido, tais como um número definido de variáveis que podem ser processadas simultaneamente, tamanho destas variáveis em bytes e até mesmo restrições quanto ao separador decimal a ser utilizado. Por este motivo também tinha uma interface gráfica precária, com poucos recursos, o que gera os problemas citados em [1.1.1].

1.2. Objetivos

1.2.1. Soluções de interface

Conforme explicitado em [1.1.1], grande parte dos problemas apresentados pelo FLAPS são decorrentes de sua interface. A solução lógica, portanto, é construir uma interface gráfica mais adequada para receber os dados do usuário e então transmiti-los ao programa de cálculo. Para tanto, foi utilizada a ferramenta Borland Delphi 6, detalhada em [2.2].

O primeiro passo é substituir a antiga janela do DOS por uma janela Windows, SO mais utilizado no mundo atualmente. Com o mesmo código fonte pode-se compilar arquivos executáveis em qualquer SO disponível no mercado, bastando executá-lo em um compilador da linguagem de programação Pascal voltado para o SO em questão. Nesta janela devem ser inseridos os componentes responsáveis por permitir a inserção dos dados pelo usuário e instruções.

Para a inserção dos dados, dois objetos do compilador foram utilizadas: *Edit* e *ComboBox*. O objeto *Edit* é basicamente uma caixa de texto com apenas uma linha, onde o

usuário deve inserir o valor. Por outro lado, o objeto *ComboBox* é composto por uma caixa que exibe um conjunto de opções a serem escolhidas pelo usuário. Foram usados *ComboBox* onde o número de opções do usuário era limitada (como as situações de escolha do método de cálculo) e onde era necessária a inserção de valores inteiros (por exemplo, o número de camadas do pavimento). Para os demais dados, foi usado o objeto *Edit*.

Os dados foram divididos em quatro subconjuntos, de acordo com a dependência uns dos outros. Cada uma das etapas é composta por um objeto *Panel*, um painel onde estão todos os demais objetos. A alternância entre as etapas corresponde à alternância entre *Panels*.

Na primeira etapa, o usuário deve inserir o número de camadas do pavimento, carga e tipo de eixo, pressão de inflação dos pneus (com estes três últimos calcula-se a área de contato pneu-pavimento) e, quando pertinente (de acordo com o tipo de eixo), as distâncias centro a centro entre rodas do mesmo eixo. O programa sempre calcula as tensões para um eixo vertical que passa pelo centro de cada roda, contudo o usuário tem a opção de estudar mais pontos. Caso deseje é também na primeira etapa que fará esta opção. Um objeto *Button* faz a passagem para a próxima etapa.

A segunda etapa corresponde aos dados relativos às camadas de pavimento. São requeridos dados relativos à espessura da camada, tipo de material que a compõe, peso específico, coeficiente de Poisson, c e f (extraídos do envoltório de Mohr-Coulomb). Também nesta etapa é requerido o número de subdivisões da camada a ser usado no método de elementos finitos e o método de cálculo do módulo de resiliência a ser considerado (descrito em [2.3]), bem como os dados pertinentes para este método. A passagem desta etapa para a próxima também é feita através de um *Button*, porém esta etapa conta com um *Button* extra. Ele permite retornar à etapa anterior e modificar os dados desta, sem perder os dados fornecidos para as camadas.

No terceiro passo são fornecidas as coordenadas dos pontos extras a serem analisados, novamente permitindo retornar a etapas anteriores sem perder os dados já inseridos. Após a inserção de todos os pontos ou caso o usuário não deseje analisar nenhum ponto além dos padronizados, aparecerá a quarta e última etapa. Nesta, o usuário insere os nomes com os quais deseja designar o arquivo com os dados e o arquivo de resultados. A nova interface construída é apresentada em [3].

1.2.2. Soluções para Capacidade Limitada de Processamento

Para este problema chegou-se a um impasse. Antes de procurar soluções relativas à limitação da capacidade de processamento é recomendável avaliar se estas limitações influem significativamente nos resultados. Para isso, contudo, é necessário aumentar a capacidade de cada uma das variáveis do programa para então realizar uma série de testes buscando verificar a influência da precisão variando o número de subdivisões em cada camada. A solução encontrada foi aumentar a capacidade de processamento temporariamente alterando o código-fonte original em FORTRAN (vetores onde ficam armazenadas as variáveis foram extrapolados) e, se verificado o benefício, manter as alterações. Caso contrário, retorna-se ao código fonte original, poupando recursos computacionais.

Foram analisados todos os parâmetros analisados pelo programa para camadas subdivididas 1, 5, 10 (máximo anteriormente permitido pelo programa), 15 e 20 vezes em um pavimento com três camadas constituídas do mesmo material, um solo de módulo de elasticidade 1000 kgf/cm², coesão 1 kgf/cm², ângulo de atrito 30°, massa específica 1,8 g/cm³ e coeficiente de Poisson 0,4. A primeira e segunda camadas possuem 50 cm de espessura, enquanto a terceira camada terá 1000 cm. A razão da escolha destes valores encontra-se em [3.3].

Foi utilizada a carga de um eixo simples de roda simples, com área de contato de 30 cm de lado e carga 4.200 kgf, considerada distribuída uniformemente pela área.

1.2.3. Posicionamento do Apoio Rígido

Conforme mencionado na descrição do programa, em [2.3], é considerado que o subleito está apoiado em uma base rígida como, por exemplo, um leito rochoso. Uma vez que na maioria dos casos isto não corresponde à realidade, é necessário analisar a que profundidade do subleito os esforços são tão pequenos que possam ser considerados desprezíveis quando comparados à resistência do próprio subleito. Desta maneira, os resultados não sofreriam influência do posicionamento do apoio.

Para isso foi considerado novamente um pavimento com três camadas constituídas do mesmo material, um solo de módulo de elasticidade 1000 kgf/cm², coesão 1 kgf/cm², ângulo de atrito 30°, massa específica 1,8 g/cm³ e coeficiente de Poisson 0,4. Para este foram efetuadas análises com o WFLAPS variando a espessura do subleito e verificando a influência nos resultados obtidos. A primeira e segunda camadas possuem 50 cm de espessura, ao passo

que a terceira camada será testada com 300 cm, 700 cm, 1000 cm e 1200 cm. Todas as camadas foram subdivididas 20 vezes para a análise.

A mesma carga de um eixo simples de roda simples, com área de contato de 30 cm de lado, carga 4.200 kgf e considerada distribuída uniformemente pela área adotada em [1.2.2] foi novamente o valor considerado para este teste.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Método dos Elementos Finitos

Segundo (Azevedo, 2003), a análise das tensões e deformações em materiais a princípio era feita através da resolução direta dos sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenômeno, considerando condições fronteira presentes. Com o objetivo de facilitar a aplicação desta técnica a problemas não elementares, era comum recorrer a séries de Fourier, as quais, devido à sua complexidade, só eram aplicáveis a materiais homogêneos e de geometria simples. Na tentativa de vencer algumas destas limitações, era frequente a substituição de derivadas exatas por derivadas aproximadas. O método das diferenças finitas é o resultado da aplicação desta técnica.

A formulação do MEF pode ser baseada no método dos deslocamentos, em modelos de equilíbrio, ou em métodos mistos, sendo o método dos deslocamentos o mais simples e versátil. Associado a este estão muitos conceitos da mecânica dos materiais, como noções de grau de liberdade, deslocamento generalizado, força generalizada, equilíbrio, matriz de rigidez, sollicitação, condições de apoio, entre outros. Neste trabalho só serão definidos aqueles que apresentarem diferença significativa da forma como são apresentados no estudo tradicional de mecânica das estruturas.

A primeira questão ao aplicar o MEF a uma estrutura é a geometria, material constituinte e ações atuantes. As simplificações adotadas em cada problema também são de extrema importância. As mais comuns são relativas a se análise é dinâmica ou estática (ações sobre as estruturas geralmente são dinâmicas, sendo comum considerar que as ações são aplicadas de um modo tão lento que podem ser consideradas estáticas), se a análise é feita considerando ou não a influência da modificação da geometria da estrutura na distribuição dos esforços e o tipo de estrutura (linear, plana ou tridimensional).

A formulação do MEF baseia-se na substituição de uma equação integral em um domínio complexo (de volume V) por um somatório de integrais em subdomínios deste, com geometria mais simples (de volume V_1, V_2, \dots, V_i), onde cada subdomínio V_i corresponde a um elemento finito.

2.2. Delphi e a Linguagem Pascal

Delphi, também conhecido como Borland Delphi, é um compilador, uma IDE e uma linguagem de programação, produzido antigamente pela Borland Software Corporation e atualmente produzido pela Embarcadero. O Delphi era originalmente direcionado para a plataforma Windows, mas atualmente há um projeto chamado Lazarus que possui uma interface muito semelhante ao Delphi e a característica de ser multiplataforma, ou seja, roda tanto no Windows quanto no Linux. O nome Delphi é inspirado na cidade de Delfos, o único local na Grécia antiga em que era possível consultar o Oráculo de Delfos. O nome deve-se ao fato de que os desenvolvedores do compilador buscavam uma ferramenta capaz de acessar o banco de dados Oracle, originando o trocadilho: "a única maneira de acessar o oráculo é usando Delphi".

Muito utilizado no desenvolvimento de aplicações desktop, aplicações multicamadas e cliente/servidor, o Delphi é compatível com os bancos de dados mais conhecidos do mercado. Pode ser utilizado para diversos tipos de desenvolvimento de projeto, abrangendo desde Serviços a Aplicações Web e CTI. A versão escolhida foi o Delphi 6, lançado em 2001. Trata-se de um ambiente de desenvolvimento de softwares com as seguintes particularidades:

- Visual: A definição da interface e até mesmo de parte da estrutura de um aplicativo Delphi pode ser realizada com o auxílio de ferramentas visuais. Por exemplo, uma tela é criada com um simples clique e um botão, selecionando esta imagem em uma barra de ferramentas e clicando sobre a tela onde ele deve aparecer;
- Orientada a Objeto: Os conceitos de classe, herança e polimorfismo são abarcados pela linguagem de programação do Delphi, o Object Pascal. Esta não é, no entanto, uma linguagem puramente orientada a objeto como Smalltalk e Eiffel;
- Orientada a Eventos: Cada elemento de uma interface de aplicativo é capaz de capturar e associar ações a uma série de eventos;
- Compilada: A geração de código em linguagem de máquina acelera a execução dos aplicativos.

2.3. FLAPS

FLAPS é um programa de utilização rotineira simples e que concilia recursos de aplicação de cargas múltiplas em camadas compostas por materiais não lineares, desenvolvido

inicialmente na década de 1980. Ao longo dos anos foram feitas novas versões deste mesmo programa e até mesmo novos programas que utilizavam suas subrotinas, contudo todas apresentavam interfaces pouco amigáveis ou limitadas, conforme citado em [1].

Neste *software* cada camada é dividida em subcamadas horizontalmente infinitas, no centro das quais se calcula um estado de tensões médio, utilizado no cálculo do módulo de resiliência correspondente a cada profundidade.

Este módulo inclui as parcelas de deformação elástica e viscoelástica sob pulsos de carga com 0,1 segundo de duração. Esta é uma definição operacional, contudo corresponde a um parâmetro bastante útil na previsão de tensões e deformações produzidas no pavimento pela movimentação das cargas de tráfego. O cálculo pode ser realizado pelo programa de seis maneiras diferentes:

- **Granular:** O cálculo do módulo de resiliência para materiais granulares não coesivos, como brita graduada, é consideravelmente complexo, contudo existem métodos simplificados para este cálculo. Um deles é utilizado nesta opção, através da equação

$$M_R = K_1 * (\Theta)^{K_2} \quad (\text{eq. 1.1})$$

onde o parâmetro Θ é determinado de acordo com a tensão confinante e as constantes K_1 e K_2 são tabeladas para diversas classes de materiais. Não é um método adequado para determinação do estado de tensões na camada granular, mas é aplicável quando interessam somente os resultados para as camadas subjacentes.

- **Coesivo:** Em solos finos coesivos o módulo de resiliência varia essencialmente com a tensão desvio, de acordo com o modelo a seguir.

$$M_R = K_1 * (\sigma_d)^{K_2} \quad (\text{eq. 1.2})$$

Esta diferença do método granular deve-se ao fato das tensões de sucção nos solos parcialmente saturados serem consideravelmente maiores que as tensões confinantes usuais.

- **Linear:** O comportamento do material da camada é considerado como o de um material elástico linear, de tal forma que vale a equação (1.3).

$$M_R = E \quad (\text{eq. 1.3})$$

- **$E = f(\text{deformação})$:** a camada é considerada composta por material elástico não linear, com módulo de resiliência variando com a deformação de acordo com a equação (1.4).

$$M_R = E_d * 1,3 * e^{(0,0486 * E_v / 10^4)} \quad (\text{eq. 1.4})$$

- **Modo 5:** Este método, sem nome específico, é baseado na correlação empírica entre os métodos Granular e $E = f(\text{deformação})$. O módulo de resiliência é calculado através da equação combinada exibida a seguir.

$$M_R = K_1 * (\Theta)^{K_2} * \varepsilon_{\sigma}^{K_3} \quad (\text{eq. 1.5})$$

- **Modo 6:** Também sem nome específico, calcula o módulo de resiliência através da equação (1.6), construída a partir de uma correlação entre os métodos Granular e Coesivo.

$$M_R = K_1 * \left(\frac{\Theta}{\sigma_d} \right)^{K_2} \quad (\text{eq. 1.6})$$

3. O WFLAPS

3.1. Interface

Efetuada todas as modificações de interface necessárias, obteve-se um programa executável de utilização muito mais simples que o anterior, sem perder sua funcionalidade e precisão, uma vez que o programa de cálculo não foi alterado nesta etapa. As imagens apresentadas a seguir nas Figuras 3.1 a 3.7 são *screenshots* do programa em funcionamento.

Na Figura 3.1 visualiza-se a primeira tela que aparece ao usuário, onde este recebe instruções básicas sobre o programa e pode definir o separador decimal de sua preferência. Neste ponto também é definido se será criado um novo projeto ou se serão feitas modificações em um projeto anterior.

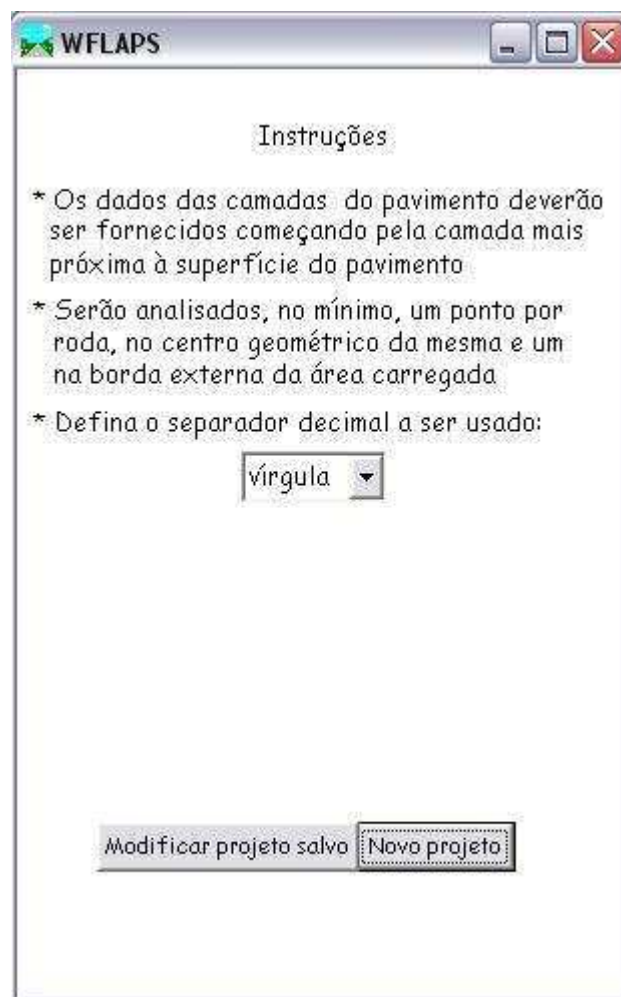


Figura 3.1 – Instruções iniciais

Caso o usuário tenha optado por modificar um projeto anteriormente salvo será exibida a janela apresentada na Figura 3.2, onde deverá ser inserido nome do arquivo a ser aberto. Este deve estar na mesma pasta onde está localizado o programa e, caso não exista, será emitida uma mensagem de erro como a apresentada na Figura 3.3 e o usuário terá a opção de corrigir o nome ou retornar para começar um novo projeto.

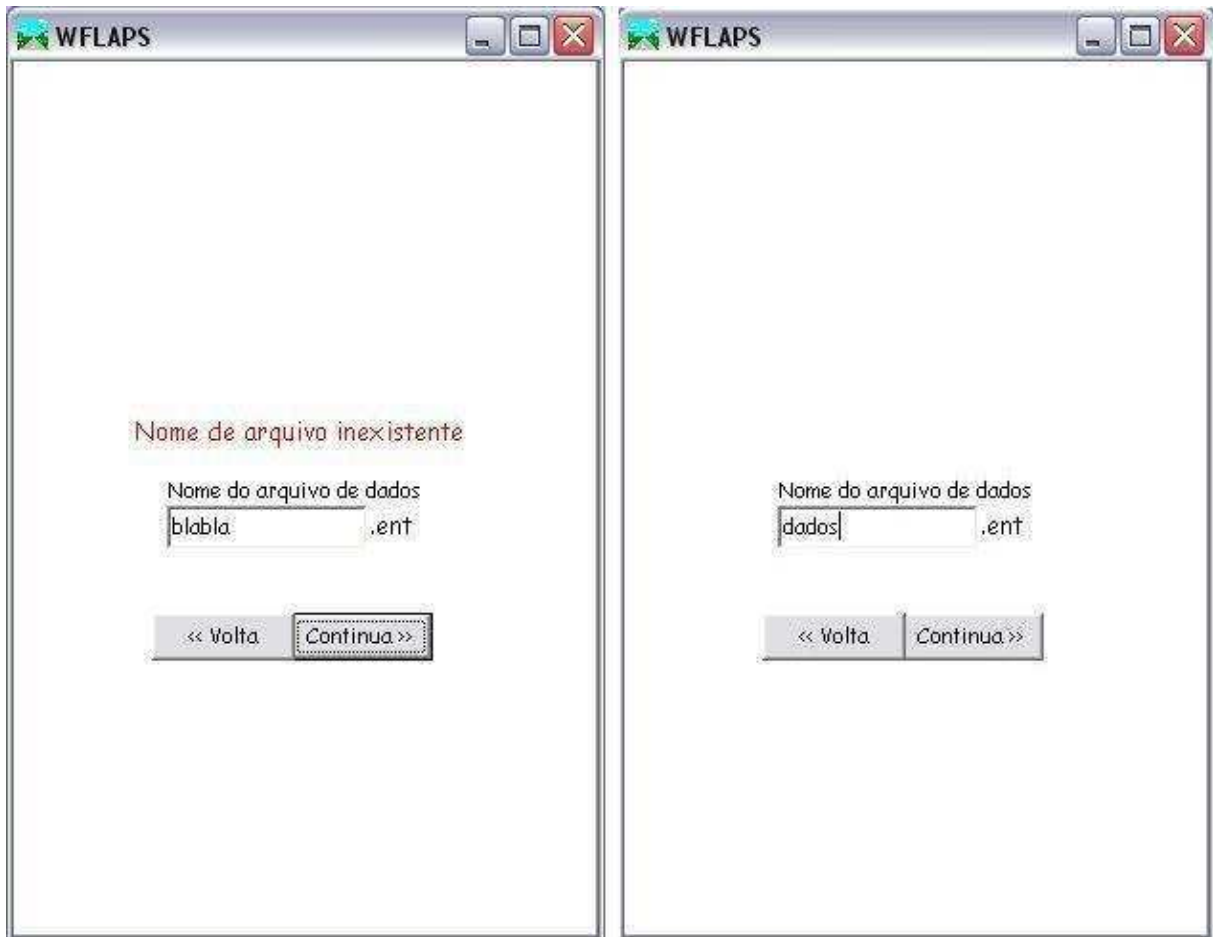


Figura 3.2 – Tela de carregamento de dados

Quando inserido um nome de arquivo válido ou optado por inserir novos dados surgirá a tela onde deverão ser fornecidos os primeiros dados relativos ao pavimento. Nesta etapa encontram-se os dados gerais do problema e aqueles necessários a etapas posteriores, conforme descrito em [1.2.1]. A imagem desta etapa pode ser vista na Figura 3.3.

Cada dado a ser fornecido é claramente identificado com nome completo ou legenda explicativa. O usuário também pode fornecer os dados em outras unidades de medida, bastando selecioná-la no *ComboBox* adjacente. Também através de um *ComboBox* pode-se definir o tipo de eixo e a figura mudará de acordo com a opção adotada.

The image shows a software window titled "WFLAPS" with several input fields and a diagram. The fields are:

- Número de camadas de pavimento: 2
- Número de pontos extras a serem analisados: 0
- Carga de eixo: 8,2 tf
- Pressão de inflação dos pneus: 5,6 kgf/cm²
- Tipo de Eixo: Eixo Simples Roda Dupla
- Dt: 30 cm

Below the "Dt" field, there is a diagram showing two rectangular boxes connected by a horizontal line labeled "Dt".

At the bottom of the window is a button labeled "Continua >>".

Figura 3.3 – Primeiros dados

No passo seguinte deverão ser fornecidos os dados específicos de cada um das camadas, como espessura, resistência e o método de cálculo a ser adotado. Novamente os dados necessários são descritos claramente e com *ComboBox* delimitando as opções possíveis quando pertinente. Como a mudança do modo de cálculo implica na necessidade de fornecimento de variáveis diferentes, as mudanças no *ComboBox* relativo a esta opção automaticamente alteram a tela de fornecimento de dados. Após a última camada surgirá uma tela relativa aos dados do subleito nos mesmos moldes das anteriores. Estas diversas possibilidades encontram-se na Figura 3.4.

1ª camada

Tipo de material:

Espessura da camada: cm

Coefficiente de Poisson (ν):

Ângulo de atrito φ (graus):

Coesão (c):

Número de divisões da camada:

Peso específico (γ): kgf/cm³

Método de cálculo do módulo de resiliência:

Módulo de Young (E): kgf/cm²

$M_R = E$

<< Volta Continua >>

1ª camada

Tipo de material:

Espessura da camada: cm

Coefficiente de Poisson (ν):

Ângulo de atrito φ (graus):

Coesão (c):

Número de divisões da camada:

Peso específico (γ): kgf/cm³

Método de cálculo do módulo de resiliência:

K1:

K2:

Tensão desvio crítica (σ_{dcrit}): kgf/cm²

$M_R = K1 * (\sigma_d)^{K2}$

<< Volta Continua >>

2ª camada

Tipo de material:

Espessura da camada: cm

Coefficiente de Poisson (ν):

Ângulo de atrito φ (graus):

Coesão (c):

Número de divisões da camada:

Peso específico (γ): kgf/cm³

Método de cálculo do módulo de resiliência:

$M_R = K1 * \left(\frac{\sigma}{\sigma_d}\right)^{K2}$

K1:

K2:

Tensão horizontal residual (σ_{hres}): kgf/cm²

Tensão desvio crítica (σ_{dcrit}): kgf/cm²

<< Volta Continua >>

Subleito

Tipo de material:

Espessura da camada: cm

Coefficiente de Poisson (ν):

Ângulo de atrito φ (graus):

Coesão (c):

Peso específico (γ): kgf/cm³

Método de cálculo do módulo de resiliência:

$M_R = E_d * 1,3 * e^{(0,0486 * E_n / 10^4)}$

E_d : kgf/cm²

<< Volta Continua >>

Figura 3.4 – Dados das camadas e do subleito

Como último conjunto de dados diretamente relativo à análise estrutural, o usuário deverá inserir pontos extras para análise caso tenha feito esta opção na primeira etapa de fornecimento de informações. O sistema de coordenadas está explicitado em uma figura representativa do tipo de eixo adotado, conforme pode ser visto na Figura 3.5.

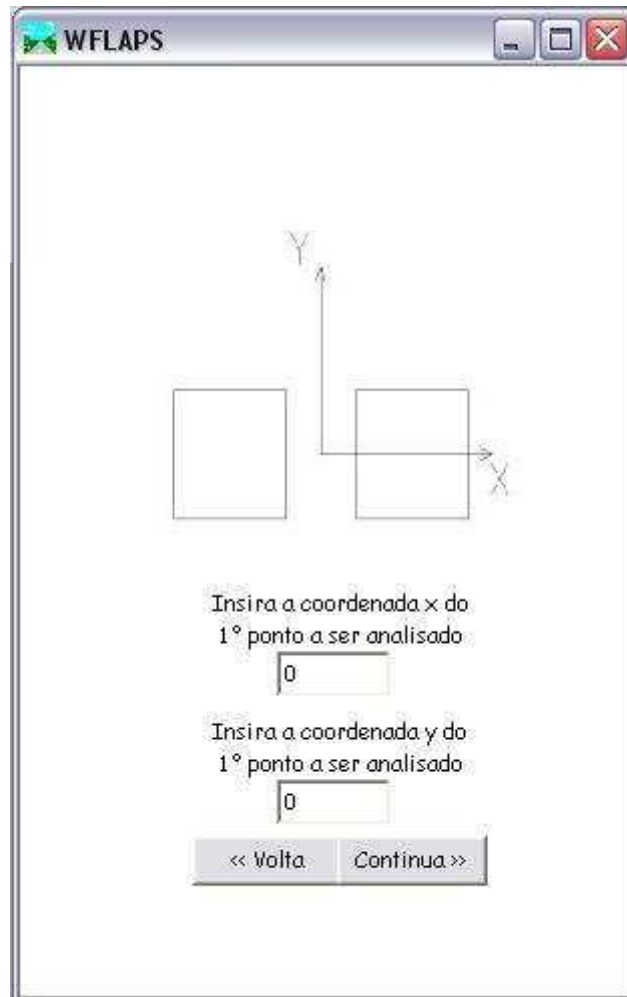


Figura 3.5 – Pontos a serem analisados

Por fim, o usuário deve inserir o nome do arquivo de dados e o que deve ser dado ao arquivo de resultados. Caso tenha sido feita a escolha por cálculo não linear em alguma das camadas aparecerá também a opção pelo número de incrementos de carga. Estes são mostrados na Figura 3.6.

A partir daí o programa calculará os resultados e fornecerá um gráfico da tensão de cisalhamento na borda da área carregada (Figura 3.7). Os resultados serão exibidos em um arquivo de texto que será aberto automaticamente utilizando o Notepad do Windows. Para

uma melhor visualização destes passos, recomenda-se a execução do programa em si, anexo a este relatório.

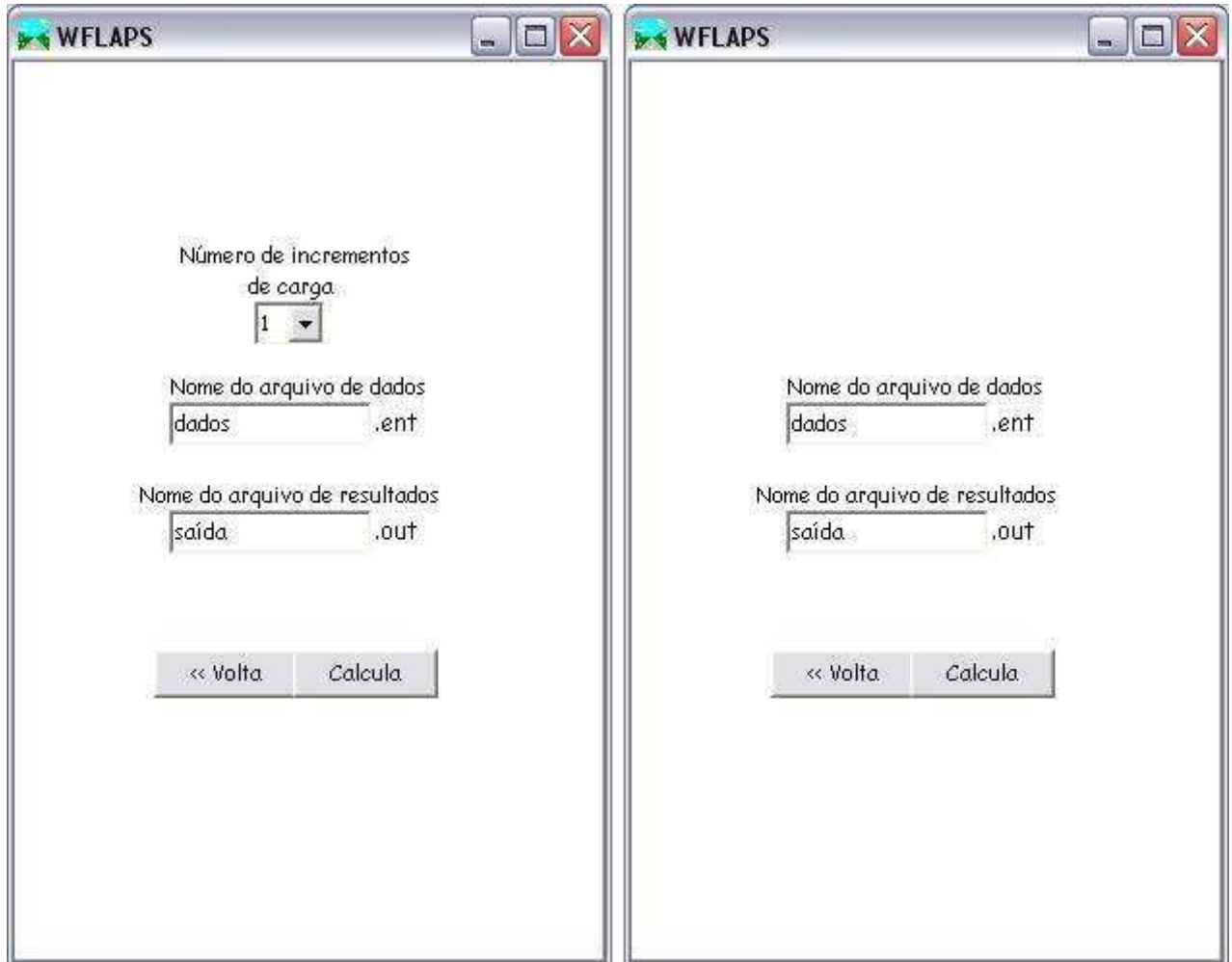


Figura 3.6 – Últimos dados

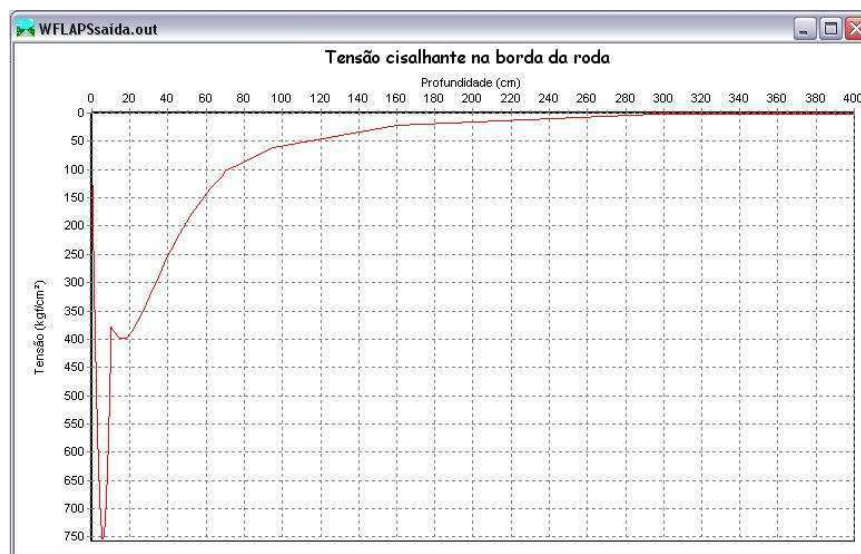


Figura 3.7 – Gráfico da Tensão Cisalhante

Concluindo a parte gráfica, nota-se que claramente o aprimoramento deste aspecto do programa teve papel predominante no desenvolvimento do projeto e foi concluída com êxito. A nova interface atendeu o idealizado no início do trabalho, sendo amigável com o usuário e com maior facilidade de utilização.

Contudo a utilização de um programa de acesso não somente melhorou a acessibilidade como também trouxe acréscimos à funcionalidade do FLAPS. A interface construída utilizando o compilador Borland Delphi é mais robusta, acabando com os antigos problemas de travamento do programa quando inseridos dados incoerentes. Agora, quando o usuário comete um erro, é advertido pelo programa e tem a oportunidade de continuar a partir de onde parou sem perder os dados anteriormente inseridos.

Outro acréscimo na funcionalidade é a opção de inserir dados em outras unidades, poupando o trabalho do usuário de converter manualmente e acabando com dúvidas acerca da unidade a ser inserida.

3.2. Capacidade de Processamento

A análise da capacidade de processamento revelou uma série de resultados para os quais foi difícil estabelecer comparações, uma vez que o maior número de subdivisões implica em dados de saída para um número maior de profundidades, além de não haver muitos pontos coincidentes. Por esta razão optou-se por comparar apenas os valores obtidos para a superfície e as intersecções entre camadas. Assim sendo, os valores obtidos nos testes computacionais estão apresentados nas tabelas 3.1 a 3.5 e a comparação percentual encontra-se na Tabela 3.6.

Os gráficos também sofreram significativa mudança com o aumento da precisão, conforme pode ser visualizado nas figuras 3.8 a 3.12.

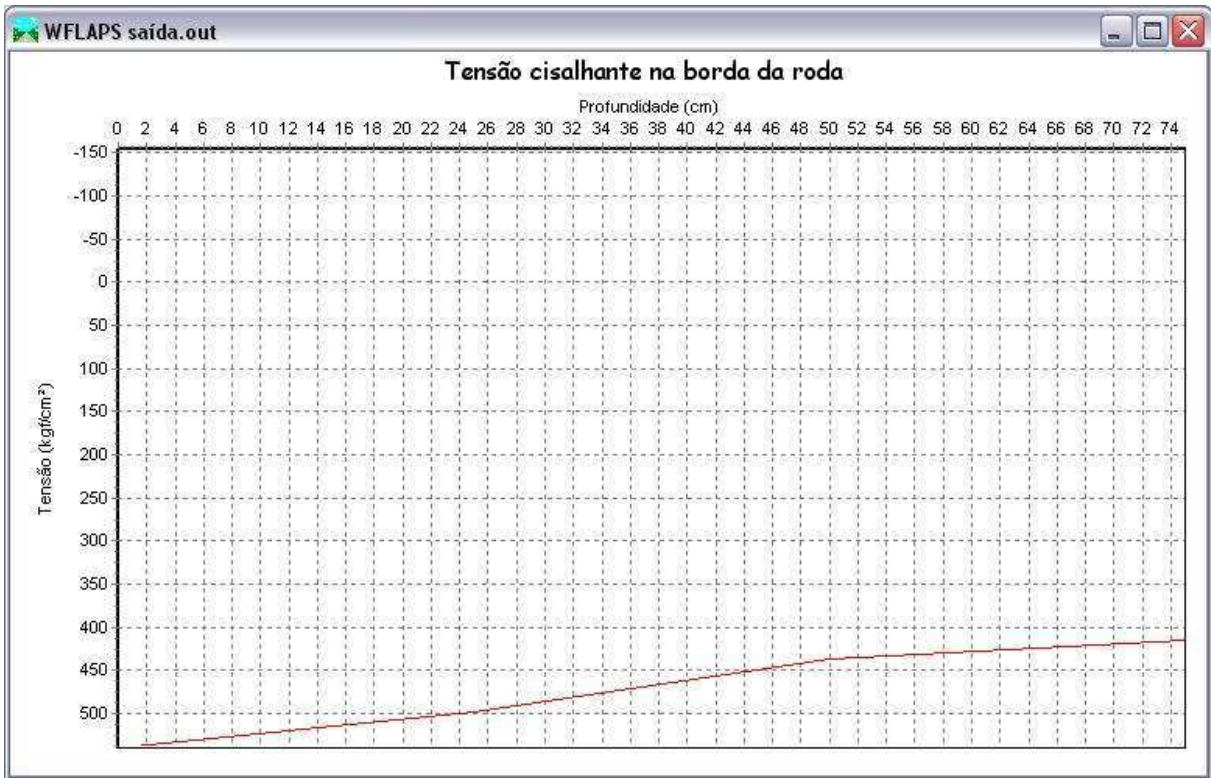


Figura 3.8 – Gráfico para uma subdivisão por camada

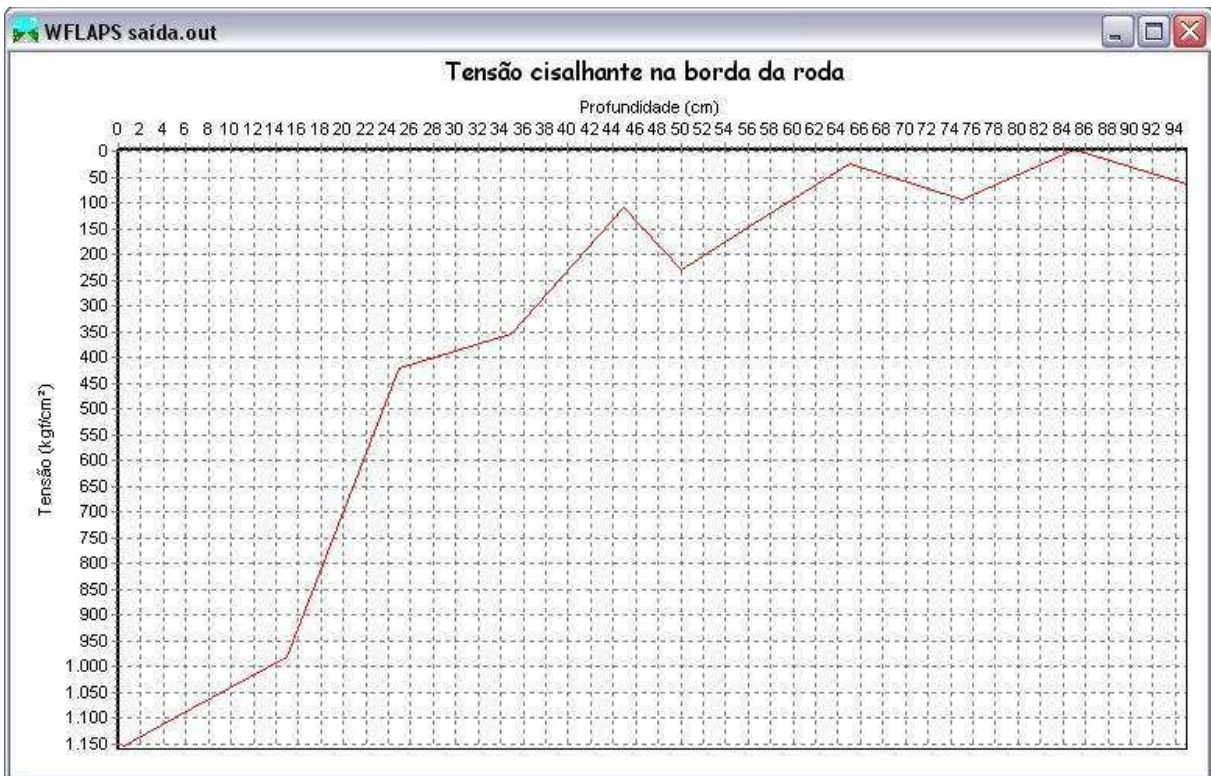


Figura 3.9 – Gráfico para cinco subdivisões por camada

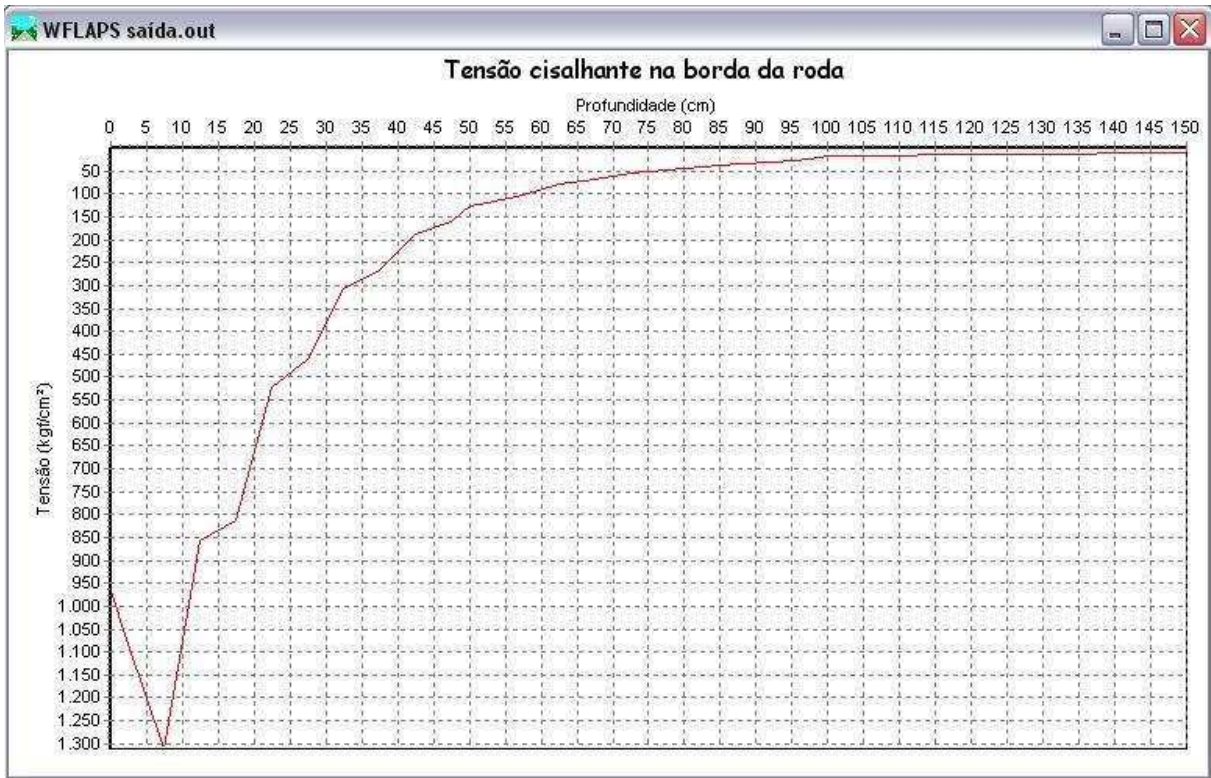


Figura 3.10 – Gráfico para dez subdivisões por camada

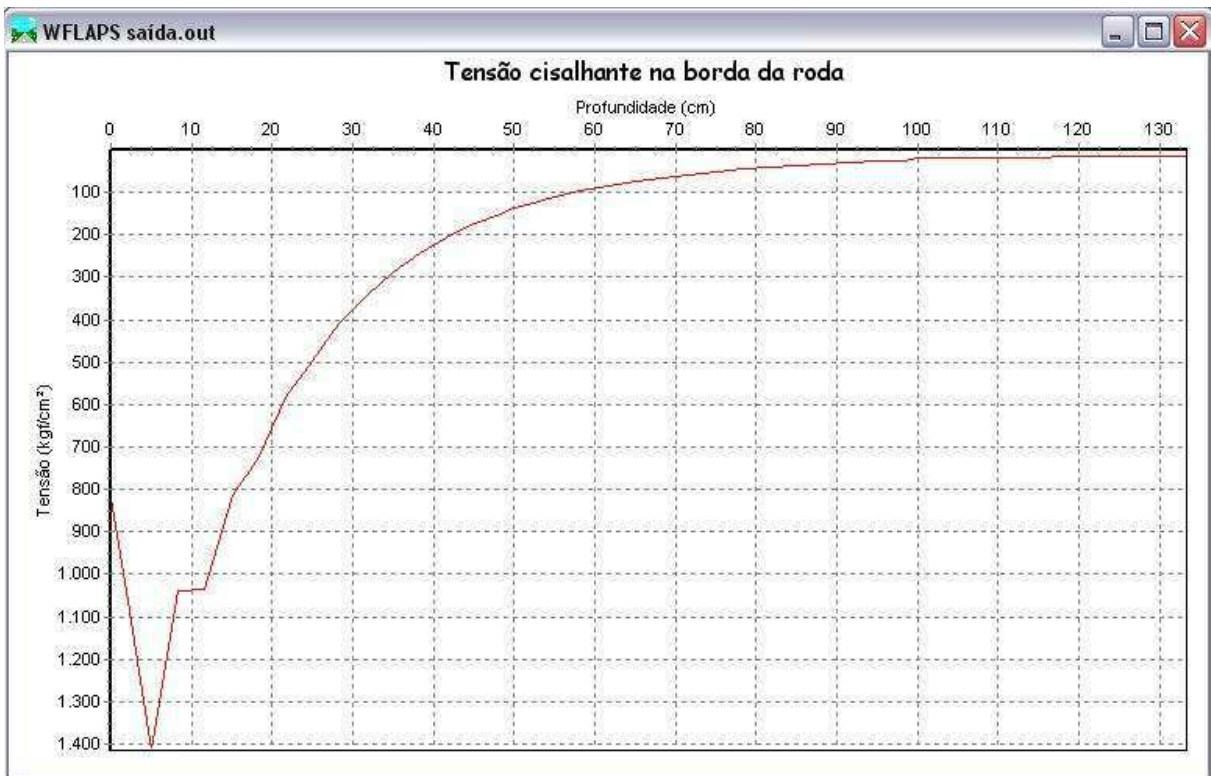


Figura 3.11 – Gráfico para quinze subdivisões por camada

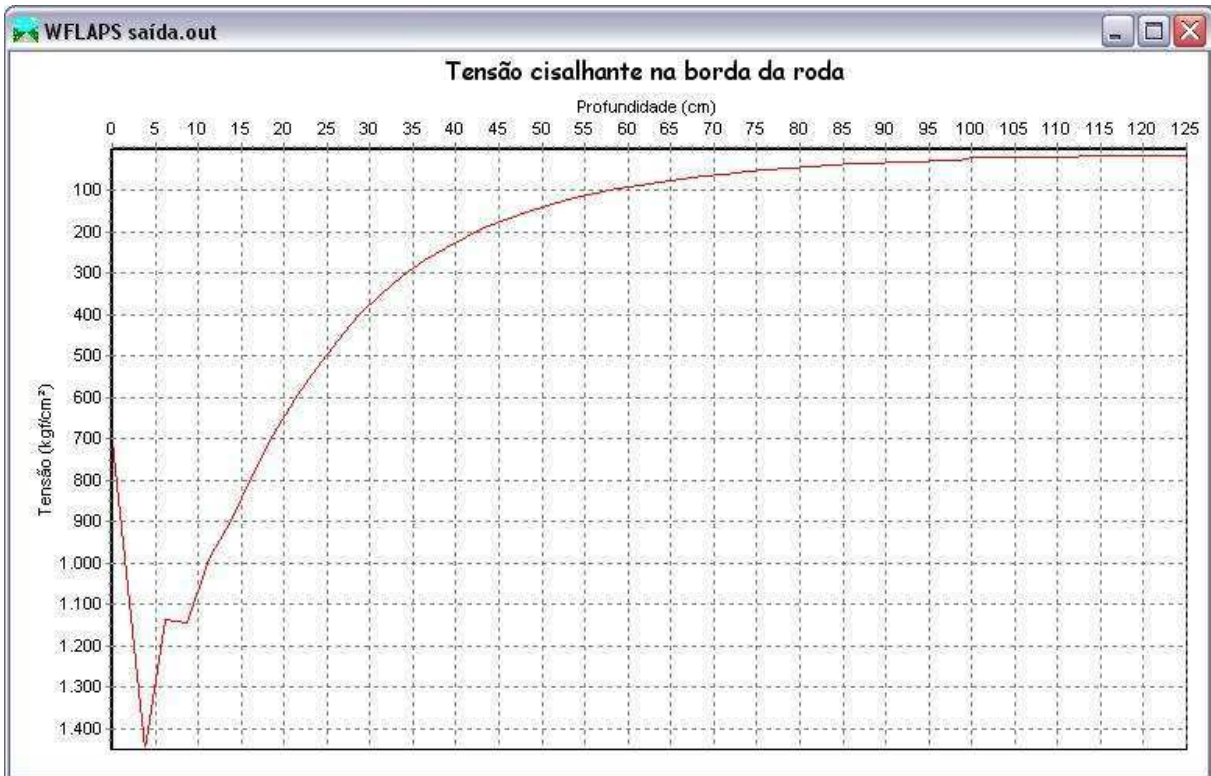


Figura 3.12 – Gráfico para vinte subdivisões por camada

Tabela 3.1 – Resultados para uma subdivisão por camada

Deslocamentos					
X	Y	Z	Ux	Uy	Uz
15	0	0	-5,257E+02	0,000E+00	7,926E+01
15	0	50	7,979E+02	0,000E+00	2,789E+01
15	0	100	-5,765E+02	0,000E+00	1,026E+01
15	0	1100	6,147E+02	0,000E+00	-8,211E-04
Densidade de Energia de Distorção					
X	Y	Z	Ud		
15	0	0	9,731E+02		
15	0	50	1,505E+03		
15	0	100	9,036E+01		
15	0	1100	0,000E+00		
Tensões Normais					
X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
15	0	0	1,033E+03	7,687E+02	2,086E+03
15	0	50	1,268E+03	9,134E+02	2,927E+03
15	0	100	-5,636E+02	-4,792E+02	-4,019E+02
15	0	1100	1,563E+02	1,591E+02	-1,896E+02

Tensões Cisalhantes					
X	Y	Z	Txy	Tzx	Tzy
15	0	0	0,000E+00	5,401E+02	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	9,970E+02	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	3,739E+02	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-4,413E+02	0,000E+00
Deformações Normais					
X	Y	Z	Ex	Ey	Ez
15	0	0	-1,083E-01	-4,789E-01	1,365E+00
15	0	50	-2,680E-01	-7,648E-01	2,055E+00
15	0	100	-2,112E-01	-9,300E-02	1,521E-02
15	0	1100	1,685E-01	1,724E-01	-3,158E-01
Deformações Cisalhantes					
X	Y	Z	Exy	Ezx	Ezy
15	0	0	0,000E+00	1,512E+00	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	2,792E+00	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	1,047E+00	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-1,236E+00	0,000E+00

Tabela 3.2 – Resultados para cinco subdivisões por camada

Deslocamentos					
X	Y	Z	Ux	Uy	Uz
15	0	0	-1,647E+02	0,000E+00	7,994E+01
15	0	50	1,171E+02	0,000E+00	3,150E+01
15	0	100	6,720E+01	0,000E+00	1,673E+01
15	0	1100	1,160E+01	0,000E+00	-5,576E-05
Densidade de Energia de Distorção					
X	Y	Z	Ud		
15	0	0	1,828E+03		
15	0	50	3,128E+01		
15	0	100	2,068E+01		
15	0	1100	9,611E-03		
Tensões Normais					
X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
15	0	0	1,709E+03	1,762E+03	2,152E+03
15	0	50	8,747E+00	-1,205E+01	4,838E+02
15	0	100	-1,272E+00	-4,084E+00	1,610E+02
15	0	1100	-1,955E-01	-2,671E-01	3,745E+00

Tensões Cisalhantes					
X	Y	Z	Txy	Tzx	Tzy
15	0	0	0,000E+00	1,160E+03	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	-1,465E+01	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	9,832E+01	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-2,742E+00	0,000E+00
Deformações Normais					
X	Y	Z	Ex	Ey	Ez
15	0	0	1,432E-01	2,178E-01	7,635E-01
15	0	50	-1,799E-01	-2,091E-01	4,851E-01
15	0	100	-6,405E-02	-6,798E-02	1,632E-01
15	0	1100	-1,587E-03	-1,687E-03	3,930E-03
Deformações Cisalhantes					
X	Y	Z	Exy	Ezx	Ezy
15	0	0	0,000E+00	3,249E+00	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	-4,102E-02	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	2,753E-01	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-7,678E-03	0,000E+00

Tabela 3.3 – Resultados para dez subdivisões por camada

Deslocamentos					
X	Y	Z	Ux	Uy	Uz
15	0	0	-1,646E+02	0,000E+00	7,994E+01
15	0	50	1,164E+02	0,000E+00	3,166E+01
15	0	100	6,766E+01	0,000E+00	1,678E+01
15	0	1100	1,185E+01	0,000E+00	3,211E-06
Densidade de Energia de Distorção					
X	Y	Z	Ud		
15	0	0	1,181E+03		
15	0	50	1,478E+02		
15	0	100	1,371E+01		
15	0	1100	3,480E-03		
Tensões Normais					
X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
15	0	0	1,773E+03	1,912E+03	2,092E+03
15	0	50	2,755E+01	-3,582E+00	5,197E+02
15	0	100	-1,639E+00	-4,789E+00	1,639E+02
15	0	1100	-2,522E-01	-2,518E-01	2,482E+00

Tensões Cisalhantes					
X	Y	Z	Txy	Tzx	Tzy
15	0	0	0,000E+00	9,662E+02	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	1,480E+02	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	2,381E+01	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	7,979E-03	0,000E+00
Deformações Normais					
X	Y	Z	Ex	Ey	Ez
15	0	0	1,714E-01	3,662E-01	6,178E-01
15	0	50	-1,789E-01	-2,225E-01	5,101E-01
15	0	100	-6,529E-02	-6,970E-02	1,665E-01
15	0	1100	-1,144E-03	-1,144E-03	2,684E-03
Deformações Cisalhantes					
X	Y	Z	Exy	Ezx	Ezy
15	0	0	0,000E+00	2,705E+00	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	4,143E-01	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	6,666E-02	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	2,234E-05	0,000E+00

Tabela 3.4 – Resultados para quinze subdivisões por camada

Deslocamentos					
X	Y	Z	Ux	Uy	Uz
15	0	0	-1,646E+02	0,000E+00	7,994E+01
15	0	50	1,165E+02	0,000E+00	3,168E+01
15	0	100	6,769E+01	0,000E+00	1,679E+01
15	0	1100	1,187E+01	0,000E+00	2,752E-06
Densidade de Energia de Distorção					
X	Y	Z	Ud		
15	0	0	7,300E+02		
15	0	50	1,480E+02		
15	0	100	1,389E+01		
15	0	1100	3,618E-03		
Tensões Normais					
X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
15	0	0	1,781E+03	1,942E+03	2,068E+03
15	0	50	2,845E+01	-4,776E+00	5,254E+02
15	0	100	-1,607E+00	-4,834E+00	1,646E+02
15	0	1100	-2,535E-01	-2,540E-01	2,531E+00

Tensões Cisalhantes					
X	Y	Z	Txy	Tzx	Tzy
15	0	0	0,000E+00	8,177E+02	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	1,369E+02	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	2,372E+01	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-1,204E-04	0,000E+00
Deformações Normais					
X	Y	Z	Ex	Ey	Ez
15	0	0	1,766E-01	4,026E-01	5,790E-01
15	0	50	-1,798E-01	-2,263E-01	5,159E-01
15	0	100	-6,552E-02	-7,004E-02	1,672E-01
15	0	1100	-1,164E-03	-1,165E-03	2,734E-03
Deformações Cisalhantes					
X	Y	Z	Exy	Ezx	Ezy
15	0	0	0,000E+00	2,289E+00	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	3,834E-01	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	6,640E-02	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-3,372E-07	0,000E+00

Tabela 3.5 – Resultados para vinte subdivisões por camada

Deslocamentos					
X	Y	Z	Ux	Uy	Uz
15	0	0	-1,646E+02	0,000E+00	7,994E+01
15	0	50	1,165E+02	0,000E+00	3,169E+01
15	0	100	6,770E+01	0,000E+00	1,679E+01
15	0	1100	1,188E+01	0,000E+00	2,761E-06
Densidade de Energia de Distorção					
X	Y	Z	Ud		
15	0	0	4,139E+02		
15	0	50	1,497E+02		
15	0	100	1,395E+01		
15	0	1100	3,663E-03		
Tensões Normais					
X	Y	Z	Sx	Sy	Sz
15	0	0	1,780E+03	1,949E+03	2,057E+03
15	0	50	2,917E+01	-4,485E+00	5,268E+02
15	0	100	-1,587E+00	-4,835E+00	1,648E+02
15	0	1100	-2,544E-01	-2,549E-01	2,547E+00

Tensões Cisalhantes					
X	Y	Z	Txy	Tzx	Tzy
15	0	0	0,000E+00	7,032E+02	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	1,380E+02	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	2,379E+01	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-5,669E-05	0,000E+00
Deformações Normais					
X	Y	Z	Ex	Ey	Ez
15	0	0	1,780E-01	4,147E-01	5,646E-01
15	0	50	-1,798E-01	-2,269E-01	5,170E-01
15	0	100	-6,559E-02	-7,014E-02	1,674E-01
15	0	1100	-1,171E-03	-1,172E-03	2,751E-03
Deformações Cisalhantes					
X	Y	Z	Exy	Ezx	Ezy
15	0	0	0,000E+00	1,969E+00	0,000E+00
15	0	50	0,000E+00	3,865E-01	0,000E+00
15	0	100	0,000E+00	6,662E-02	0,000E+00
15	0	1100	0,000E+00	-1,587E-07	0,000E+00

Tabela 3.6 – Resultados comparativos para todas as camadas

Subdivisões	Variável	Diferença
1/5	Deslocamento	31,68%
	Densidade de Energia de Distorção	7,27%
	Tensão Normal	60,63%
	Tensão Cisalhante	13,31%
	Deformação Normal	2,54%
	Deformação Cisalhante	13,31%
5/10	Deslocamento	8,56%
	Densidade de Energia de Distorção	-19,98%
	Tensão Normal	-16,59%
	Tensão Cisalhante	108,58%
	Deformação Normal	0,46%
	Deformação Cisalhante	108,57%
10/15	Deslocamento	1,16%
	Densidade de Energia de Distorção	2,73%
	Tensão Normal	-3,45%
	Tensão Cisalhante	10,40%
	Deformação Normal	-1,40%
	Deformação Cisalhante	10,39%

15/20	Deslocamento	-0,04%
	Densidade de Energia de Distorção	3,37%
	Tensão Normal	0,27%
	Tensão Cisalhante	5,48%
	Deformação Normal	-0,33%
	Deformação Cisalhante	5,48%

A observação da Tabela 3.6 mostra claramente que o acréscimo de subdivisões às camadas aumenta a precisão do resultado. Resultados ainda melhores são esperados para um número ainda maior de subdivisões, de tal maneira que a capacidade aumentada de processamento não somente foi mantida com ampliada ainda mais.

Se fossem considerados somente os valores para camadas acima do subleito, os resultados são ainda melhores. Isto se deve ao fato da espessura de cada subdivisão nas camadas superiores ser comparativamente menor que as subdivisões no subleito. Assim, conclui-se que, caso resultados ainda melhores sejam exigidos, podem ser obtidos tomando o subleito como mais de uma camada constituída de um único material. Todavia, dificilmente isto será exigido, pois os valores dos esforços no subleito costumam ser baixos e consideravelmente irrelevantes no cômputo geral.

Mas a maior influência do aumento na precisão está no gráfico obtido, conforme demonstrado nas figuras 3.8 a 3.12. No início, a própria forma do gráfico é mal elaborada. Contudo, ao aumentarmos a precisão, o gráfico altera-se e sucessivamente forma uma curva melhor definida até chegar a uma forma aceitável próximo a 20 subdivisões por camada.

3.3. Posicionamento do apoio rígido

Utilizando os dados mencionados em [1.2.3] obteve-se como resultados uma série de valores para diversas profundidades. Por conta disso, o resultado é uma tabela muito extensa, cujos valores não representam acréscimo a este trabalho. O real interesse encontra-se na comparação entre eles, verificando se há variação de resultados à medida que se aumenta a profundidade da estrutura de pavimento. Realizou-se uma média das diferenças percentuais entre os valores obtidos para cada uma das estruturas estudadas e os dados obtidos estão apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Diferenças médias considerando as três camadas

Profundidades	Variável	Diferença
300/700	Deslocamento	-7,59%
	Densidade de Energia de Distorção	-31,83%
	Tensão Normal	-40,82%
	Tensão Cisalhante	-4,74%
	Deformação Normal	-24,27%
	Deformação Cisalhante	-4,74%
700/1000	Deslocamento	-4,90%
	Densidade de Energia de Distorção	-23,81%
	Tensão Normal	-20,22%
	Tensão Cisalhante	-3,42%
	Deformação Normal	-15,21%
	Deformação Cisalhante	-3,43%
1000/1200	Deslocamento	-2,91%
	Densidade de Energia de Distorção	-16,02%
	Tensão Normal	-10,09%
	Tensão Cisalhante	-2,24%
	Deformação Normal	-9,21%
	Deformação Cisalhante	-2,24%

Tabela 3.8 – Diferenças médias considerando apenas a primeira e segunda camadas

Profundidades	Variável	Diferença
300/700	Deslocamento	0,46%
	Densidade de Energia de Distorção	-0,30%
	Tensão Normal	-61,36%
	Tensão Cisalhante	0,02%
	Deformação Normal	-0,73%
	Deformação Cisalhante	0,02%
700/1000	Deslocamento	-0,08%
	Densidade de Energia de Distorção	-0,05%
	Tensão Normal	-13,63%
	Tensão Cisalhante	0,00%
	Deformação Normal	-0,13%
	Deformação Cisalhante	0,00%
1000/1200	Deslocamento	-0,06%
	Densidade de Energia de Distorção	-0,02%
	Tensão Normal	-1,42%
	Tensão Cisalhante	0,00%
	Deformação Normal	-0,04%
	Deformação Cisalhante	0,00%

Como é possível observar, o aumento da espessura da terceira camada implica em mudanças constantes nos valores obtidos sem convergir a um único resultado. Contudo, uma análise apenas das duas camadas superiores revela que os valores convergem, estando suficientemente próximos para uma espessura acima de 1000 cm na terceira camada (Tabela 3.8).

As informações parecem contraditórias a princípio, contudo dois fatores justificam esta diferença. Em primeiro lugar, o aumento na espessura da terceira camada não é acompanhado por um aumento no número de subcamadas. Desta forma, as subcamadas são proporcionalmente maiores, acarretando perda de precisão no resultado. O outro fator são os baixos valores obtidos à medida que se aumenta a distância da carga, fazendo com que mesmo variações numericamente pequenas correspondam a variações percentuais expressivas.

Desta forma conclui-se que a consideração de uma espessura de subleito acima de 1000 cm representa um ganho muito pequeno de precisão nos dados relativos às camadas de pavimento, sendo este número recomendado como um valor padrão de espessura de subleito quando não for conhecida sua real dimensão.

3.4. Código Fonte

Conforme preconizado para trabalhos de graduação envolvendo software, abaixo está reproduzido o código fonte do programa WFLAPS.

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, jpeg, ExtCtrls, ShellApi, Math, DB, TeEngine, Series,
  TeeProcs, Chart;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Panel3: TPanel;
    Image5: TImage;
    Image4: TImage;
    Image3: TImage;
    Image2: TImage;
    Button4: TButton;
    Button5: TButton;
    Label72: TLabel;
```

Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Label75: TLabel;
Label76: TLabel;
Label77: TLabel;
Edit54: TEdit;
Edit55: TEdit;
Panel2: TPanel;
Label15: TLabel;
Label16: TLabel;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
ComboBox10: TComboBox;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Edit4: TEdit;
Edit6: TEdit;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
Label21: TLabel;
Label7: TLabel;
Panel1: TPanel;
Label4: TLabel;
ComboBox2: TComboBox;
Label1: TLabel;
Label2: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
Label46: TLabel;
Image1: TImage;
Label47: TLabel;
Label48: TLabel;
Label3: TLabel;
Label20: TLabel;
ComboBox1: TComboBox;
Button1: TButton;
ComboBox7: TComboBox;
Edit2: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit1: TEdit;
ComboBox3: TComboBox;
Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label26: TLabel;
Panelpre: TPanel;
Label27: TLabel;

Label28: TLabel;
Button6: TButton;
ComboBox4: TComboBox;
ComboBox5: TComboBox;
Image6: TImage;
Image7: TImage;
Image8: TImage;
Label30: TLabel;
Label33: TLabel;
Label34: TLabel;
Label35: TLabel;
Label6: TLabel;
Label37: TLabel;
Panel23: TPanel;
Edit3: TEdit;
Label8: TLabel;
Image9: TImage;
Panel22: TPanel;
Label38: TLabel;
Image10: TImage;
Edit13: TEdit;
Edit18: TEdit;
Label39: TLabel;
Edit11: TEdit;
Label14: TLabel;
Panel21: TPanel;
Label40: TLabel;
Image11: TImage;
Label41: TLabel;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Edit21: TEdit;
Panel24: TPanel;
Image12: TImage;
Label43: TLabel;
Label44: TLabel;
Label49: TLabel;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Panel25: TPanel;
Label42: TLabel;
Image13: TImage;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;
Label58: TLabel;
Edit22: TEdit;

Edit23: TEdit;
Edit24: TEdit;
Label59: TLabel;
Edit25: TEdit;
Panel26: TPanel;
Label60: TLabel;
Image14: TImage;
Label61: TLabel;
Label62: TLabel;
Label63: TLabel;
Label64: TLabel;
Label65: TLabel;
Edit26: TEdit;
Edit27: TEdit;
Edit28: TEdit;
Edit29: TEdit;
Label66: TLabel;
Label67: TLabel;
Label68: TLabel;
Label69: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
Label13: TLabel;
Image15: TImage;
Image16: TImage;
Image17: TImage;
Image18: TImage;
Image19: TImage;
Image20: TImage;
Label5: TLabel;
Label31: TLabel;
Edit5: TEdit;
Label32: TLabel;
ComboBox8: TComboBox;
ComboBox9: TComboBox;
ComboBox12: TComboBox;
Label45: TLabel;
ComboBox11: TComboBox;
ComboBox13: TComboBox;
ComboBox14: TComboBox;
ComboBox15: TComboBox;
ComboBox16: TComboBox;
ComboBox17: TComboBox;
Label36: TLabel;
Label71: TLabel;
ComboBox18: TComboBox;
ComboBox19: TComboBox;
ComboBox20: TComboBox;
ComboBox21: TComboBox;
Panel4: TPanel;

```

Label70: TLabel;
Label19: TLabel;
ComboBox6: TComboBox;
Button7: TButton;
Button8: TButton;
Edit7: TEdit;
Label78: TLabel;
Label79: TLabel;
Edit8: TEdit;
Label80: TLabel;
Label81: TLabel;
Label84: TLabel;
Button9: TButton;
Panelload: TPanel;
Edit10: TEdit;
Label82: TLabel;
Label83: TLabel;
Button10: TButton;
Button11: TButton;
Label85: TLabel;
Chart1: TChart;
Series1: TFastLineSeries;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Change(Sender: TObject);
procedure ComboBox4Change(Sender: TObject);
procedure ComboBox3Change(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;
  //Variaveis da primeira etapa
  Ncamadas,Nre,TipoEixo,Npa: Byte;
  L,Dl,Dt,Carga,Pressao: Extended;
  //variaveis da segunda etapa
  Tipo,CodeM,unith,unitdens,unitSd,unitSh,unitE: array [1..16] of ShortString;

```

```

E,V,H,K1,K2,K3,Sd,c,fi,densidade,Sh: array [1..16] of Extended;
Ndiv: array [1..16] of Byte;
aux: Byte;
//variaveis da terceira etapa
i,j,k,Nic: byte;
pontos: array [1..14,1..2] of Extended;
//variáveis da quarta etapa
ent,saida : ShortString;
arq: Text;
cod,Ng: Integer;
padrao: array [1..6,1..2] of Extended;
//variáveis da criação do gráfico
grafico: array [1..10,1..10] of Extended;
Z,Tcis: array [1..50,1..50] of Extended;
lixo: Extended;

```

implementation

```
{ $R *.dfm }
```

```

Procedure ExecuteProgram(Nome,Parametros:String);
Var
Comando : Array[0..1024] of Char;
Parms : Array[0..1024] of Char;
begin
  StrPCopy(Comando,Nome);
  StrPCopy(Parms,Parametros);
  ShellExecute(0,nil,Comando,Parms,nil,SW_NORMAL);
end;

```

```

procedure ExecAndWait (const Filename, Parms: String; var ExitCode: Integer);
var
  CmdLine: String;
  StartupInfo: TStartupInfo;
  ProcessInfo: TProcessInformation;
  Msg: TMsg;
  function AddQuotes (const S: String): String;
  begin
    Result := Trim(S);
    if (AnsiPos(' ', Result) <> 0) and
      ((Result[1] <> '"') or (AnsiLastChar(Result)^ <> '"')) then
      Result := '"' + Result + '"';
  end;
begin
  CmdLine := AddQuotes(Filename) + ' ' + Parms;

  FillChar (StartupInfo, SizeOf(StartupInfo), 0);
  StartupInfo.cb := SizeOf(StartupInfo);
  if not CreateProcess(nil, PChar(CmdLine), nil, nil, False, 0, nil, nil,

```

```

StartupInfo, ProcessInfo) then
raise Exception.Create('Ocorreu um erro inesperado e não foi possível concluir a ação.');
```

```

with ProcessInfo do begin
CloseHandle (hThread);
repeat
while PeekMessage(Msg, 0, 0, 0, PM_REMOVE) do begin
TranslateMessage (Msg);
DispatchMessage (Msg);
end;
until MsgWaitForMultipleObjects(1, hProcess, False, INFINITE,
QS_ALLINPUT) <> WAIT_OBJECT_0+1;
GetExitCodeProcess (hProcess, DWORD(ExitCode));
CloseHandle (hProcess);
end;
end;
```

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
//definindo número de gráficos
Ng := 1;

//ajeitando a cor dos edits
Edit1.Color := clWhite;
Edit2.Color := clWhite;
Edit9.Color := clWhite;
Edit12.Color := clWhite;
Label23.Visible := False;

//Guardando os dados
Ncamadas := StrToInt(ComboBox1.Text)+1;
Npa := StrToInt(ComboBox7.Text);
if Edit2.Text = " " then Edit2.Text := '0';
Carga := StrToFloat(Edit2.Text);
if ComboBox8.Text = 'tf' then Carga := Carga*1000;
if ComboBox8.Text = 'N' then Carga := Carga*0.1019716213;
if ComboBox8.Text = 'lbf' then Carga := Carga*0.45359;
if Edit1.Text = " " then Edit1.Text := '0';
Pressao := StrToFloat(Edit1.Text);
if ComboBox9.Text = 'Pa' then Pressao := Pressao*0.0000101972;
if ComboBox9.Text = 'psi' then Pressao := Pressao*0.0703069616;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Simples Roda Simples' then
begin
TipoEixo := 1;
Dl := 0;
Dt := 0;
Nre := 1;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Simples Roda Dupla' then
begin
```



```

    TipoEixo := 2;
    if Edit12.Text = " then Edit12.Text :='0';
    Dt := StrToFloat(Edit12.Text);
    Dl := 0;
    Nre := 2;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Misto' then
begin
    TipoEixo := 3;
    if Edit9.Text = " then Edit9.Text :='0';
    Dl := StrToFloat(Edit9.Text);
    if Edit12.Text = " then Edit12.Text :='0';
    Dt := StrToFloat(Edit12.Text);
    Nre := 3;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Roda Simples' then
begin
    TipoEixo := 4;
    if Edit9.Text = " then Edit9.Text :='0';
    Dl := StrToFloat(Edit9.Text);
    Dt := 0;
    Nre := 2;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Roda Dupla' then
begin
    TipoEixo := 5;
    if Edit9.Text = " then Edit9.Text :='0';
    Dl := StrToFloat(Edit9.Text);
    if Edit12.Text = " then Edit12.Text :='0';
    Dt := StrToFloat(Edit12.Text);
    Nre := 4;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Triplo Roda Simples' then
begin
    TipoEixo := 6;
    if Edit9.Text = " then Edit9.Text :='0';
    Dl := StrToFloat(Edit9.Text);
    Dt := 0;
    Nre := 3;
end;
if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Triplo Roda Dupla' then
begin
    TipoEixo := 7;
    if Edit9.Text = " then Edit9.Text :='0';
    Dl := StrToFloat(Edit9.Text);
    if Edit12.Text = " then Edit12.Text :='0';
    Dt := StrToFloat(Edit12.Text);
    Nre := 6;
end;
end;

```

```

if ComboBox13.Text = 'in' then Dl := Dl*2.54;
if ComboBox14.Text = 'in' then Dt := Dt*2.54;

//passando para a próxima etapa
if Pressao > 0 then
begin
  if Carga > 0 then
  begin
    //calculando L
    L := Carga/(Nre*Pressao);
    L := Power(L,0.5);

    if TipoEixo = 1 then
    begin
      //apaga etapa 1
      Panel1.Visible := False;

      //exibe etapa 2

      j := 1;
      Label7.Caption := IntToStr(j);
      Panel2.Visible := True;
    end;

    if TipoEixo = 2 then
    begin
      if Dt >= L then
      begin
        //apaga etapa 1
        Panel1.Visible := False;

        //exibe etapa 2

        j := 1;
        Label7.Caption := IntToStr(j);
        Panel2.Visible := True;
      end
    else
    begin
      Label23.Caption := 'Valor de Dt muito baixo';
      Label23.Visible := True;
      Edit12.Color := clRed;
    end;
  end;

  if TipoEixo = 3 then
  begin
    if Dt >= L then
    begin
      if Dl >= L then

```

```

begin
  //apaga etapa 1
  Panel1.Visible := False;

  //exibe etapa 2

  j := 1;
  Label7.Caption := IntToStr(j);
  Panel2.Visible := True;
end
else
begin
  Label23.Caption := 'Valor de Dl muito baixo';
  Label23.Visible := True;
  Edit9.Color := clRed;
end;
end
else
begin
  Label23.Caption := 'Valor de Dt muito baixo';
  Label23.Visible := True;
  Edit12.Color := clRed;
end;
end;

if TipoEixo = 4 then
begin
  if Dl >= L then
  begin
    //apaga etapa 1
    Panel1.Visible := False;

    //exibe etapa 2

    j := 1;
    Label7.Caption := IntToStr(j);
    Panel2.Visible := True;
  end
  else
  begin
    Label23.Caption := 'Valor de Dl muito baixo';
    Label23.Visible := True;
    Edit9.Color := clRed;
  end;
end;

if TipoEixo = 5 then
begin
  if Dt >= L then
  begin

```

```

if DI >= L then
begin
  //apaga etapa 1
  Panel1.Visible := False;

  //exibe etapa 2

  j := 1;
  Label7.Caption := IntToStr(j);
  Panel2.Visible := True;
end
else
begin
  Label23.Caption := 'Valor de DI muito baixo';
  Label23.Visible := True;
  Edit9.Color := clRed;
end;
end
else
begin
  Label23.Caption := 'Valor de Dt muito baixo';
  Label23.Visible := True;
  Edit12.Color := clRed;
end;
end;

if TipoEixo = 6 then
begin
  if DI >= L then
  begin
    //apaga etapa 1
    Panel1.Visible := False;

    //exibe etapa 2

    j := 1;
    Label7.Caption := IntToStr(j);
    Panel2.Visible := True;
  end
  else
  begin
    Label23.Caption := 'Valor de DI muito baixo';
    Label23.Visible := True;
    Edit9.Color := clRed;
  end;
end;

if TipoEixo = 7 then
begin
  if Dt >= L then

```

```

begin
  if Dl >= L then
    begin
      //apaga etapa 1
      Panel1.Visible := False;

      //exibe etapa 2

      j := 1;
      Label7.Caption := IntToStr(j);
      Panel2.Visible := True;
    end
  else
    begin
      Label23.Caption := 'Valor de Dl muito baixo';
      Label23.Visible := True;
      Edit9.Color := clRed;
    end;
  end
  else
    begin
      Label23.Caption := 'Valor de Dt muito baixo';
      Label23.Visible := True;
      Edit12.Color := clRed;
    end;
  end;
end;

end
else
begin
  Label23.Caption := 'A carga deve ser maior que zero';
  Label23.Visible := True;
  Edit2.Color := clRed;
end;
end
else
begin
  Label23.Caption := 'A pressão deve ser maior que zero';
  Label23.Visible := True;
  Edit1.Color := clRed;
end;
end;

if CodeM[1] = 'Granular' then
begin
  Panel21.Visible := True;
  Edit19.Text := FloatToStr(K1[1]);
  Edit20.Text := FloatToStr(K2[1]);
  Edit21.Text := FloatToStr(Sd[1]);
end;
end;
if CodeM[1] = 'Coesivo' then

```

```

begin
  Panel22.Visible := True;
  Edit13.Text := FloatToStr(K1[1]);
  Edit18.Text := FloatToStr(K2[1]);
  Edit11.Text := FloatToStr(Sd[1]);
end;
if CodeM[1] = 'Linear' then
begin
  Panel23.Visible := True;
  Edit3.Text := FloatToStr(E[1]);
end;
if CodeM[1] = 'E = f(deformação)' then
begin
  Panel24.Visible := True;
  Edit5.Text := FloatToStr(E[1]);
end;
if CodeM[1] = 'Modo 5' then
begin
  Panel25.Visible := True;
  Edit22.Text := FloatToStr(K1[1]);
  Edit23.Text := FloatToStr(K2[1]);
  Edit24.Text := FloatToStr(K3[1]);
  Edit25.Text := FloatToStr(Sh[1]);
end;
if CodeM[1] = 'Modo 6' then
begin
  Panel26.Visible := True;
  Edit26.Text := FloatToStr(K1[1]);
  Edit27.Text := FloatToStr(K2[1]);
  Edit28.Text := FloatToStr(Sh[1]);
  Edit29.Text := FloatToStr(Sd[1]);
end;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  //retornando os edits à cor original
  Edit6.Color := clWhite;
  Edit4.Color := clWhite;
  Edit15.Color := clWhite;
  Edit14.Color := clWhite;
  Edit16.Color := clWhite;
  Edit19.Color := clWhite;
  Edit20.Color := clWhite;
  Edit21.Color := clWhite;
  Edit11.Color := clWhite;
  Edit13.Color := clWhite;
  Edit18.Color := clWhite;
  Edit3.Color := clWhite;

```

```

Edit5.Color := clWhite;
Edit22.Color := clWhite;
Edit23.Color := clWhite;
Edit24.Color := clWhite;
Edit25.Color := clWhite;
Edit26.Color := clWhite;
Edit27.Color := clWhite;
Edit28.Color := clWhite;
Edit29.Color := clWhite;
Label22.Visible := False;
k := 1;

if Ncamadas >= j then
begin

    //identificando o subleito
    if j = Ncamadas-1 then
    begin
        Label21.Caption := 'Subleito';
        Label7.Visible := False;
    end;

    //evitando edits vazios
    if Edit6.Text = " then Edit6.Text := '0';
    if Edit4.Text = " then Edit4.Text := '0';
    if Edit5.Text = " then Edit5.Text := '0';
    if Edit15.Text = " then Edit15.Text := '0';
    if Edit14.Text = " then Edit14.Text := '0';
    if Edit16.Text = " then Edit16.Text := '0';
    if Edit19.Text = " then Edit19.Text := '0';
    if Edit20.Text = " then Edit20.Text := '0';
    if Edit21.Text = " then Edit21.Text := '0';
    if Edit11.Text = " then Edit11.Text := '0';
    if Edit13.Text = " then Edit13.Text := '0';
    if Edit18.Text = " then Edit18.Text := '0';
    if Edit3.Text = " then Edit3.Text := '0';
    if Edit22.Text = " then Edit22.Text := '0';
    if Edit23.Text = " then Edit23.Text := '0';
    if Edit24.Text = " then Edit24.Text := '0';
    if Edit25.Text = " then Edit25.Text := '0';
    if Edit26.Text = " then Edit26.Text := '0';
    if Edit27.Text = " then Edit27.Text := '0';
    if Edit28.Text = " then Edit28.Text := '0';
    if Edit29.Text = " then Edit29.Text := '0';

    //recebendo os dados
    CodeM[j] := Combobox4.text;

    if CodeM[j] = 'Granular' then
    begin

```



```

        end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit16.Color := clRed;
    end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit14.Color := clRed;
    end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit15.Color := clRed;
    end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit6.Color := clRed;
    end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit4.Color := clRed;
    end;
    end
end
else
begin
    if CodeM[j] = 'Coesivo' then
    begin
        if StrToFloat(Edit4.Text) > 0 then
        begin
            if StrToFloat(Edit6.Text) > 0 then
            begin
                if StrToFloat(Edit15.Text) > 0 then
                begin
                    if StrToFloat(Edit14.Text) >= 0 then
                    begin
                        if StrToFloat(Edit16.Text) > 0 then
                        begin
                            if StrToFloat(Edit13.Text) > 0 then
                            begin
                                if StrToFloat(Edit18.Text) < 0 then

```

```

begin
  if StrToFloat(Edit11.Text) > 0 then
    begin
      Tipo[j]:= ComboBox2.Text;
      Tipo[j] := ComboBox2.Text;
      V[j] := StrToFloat(Edit4.Text);
      c[j] := StrToFloat(Edit14.Text);
      densidade[j] := StrToFloat(Edit16.Text);
      h[j] := StrToFloat(Edit6.Text);
      fi[j] := StrToFloat(Edit15.Text);
      Ndiv[j] := StrToInt(ComboBox10.Text);
      K1[j] := StrToFloat(Edit13.Text);
      K2[j] := StrToFloat(Edit18.Text);
      Sd[j] := StrToFloat(Edit11.Text);
      unith[j] := ComboBox12.Text;
      unitdens[j] := ComboBox11.Text;
      unitSd[j] := ComboBox16.Text;
      Sh[j] := 0;
      K3[j] := 0;
      j := j+1;
    end
  else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit11.Color := clRed;
    end;
  end
  else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit18.Color := clRed;
    end;
  end
  else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit13.Color := clRed;
    end;
  end
  end
  else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit16.Color := clRed;
    end;
  end
  end
  else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit14.Color := clRed;
    end;
  end;
end;

```



```

        K1[j] := 0;
        K2[j] := 0;
        K3[j] := 0;
        j := j+1;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit3.Color := clRed;
    end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit16.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit14.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit15.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit6.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit4.Color := clRed;
end;
end
end
begin
if CodeM[j] = 'E = f(deformação)' then
begin
    if StrToFloat(Edit4.Text) > 0 then
    begin
        if StrToFloat(Edit6.Text) > 0 then
        begin

```

```

if StrToFloat(Edit15.Text) > 0 then
begin
  if StrToFloat(Edit14.Text) >= 0 then
  begin
    if StrToFloat(Edit16.Text) > 0 then
    begin
      Tipo[j]:= ComboBox2.Text;
      if StrToFloat(Edit5.Text) > 0 then
      begin
        Tipo[j] := ComboBox2.Text;
        V[j] := StrToFloat(Edit4.Text);
        c[j] := StrToFloat(Edit14.Text);
        densidade[j] := StrToFloat(Edit16.Text);
        h[j] := StrToFloat(Edit6.Text);
        fi[j] := StrToFloat(Edit15.Text);
        Ndiv[j] := StrToInt(ComboBox10.Text);
        E[j] := StrToFloat(Edit5.Text);
        unith[j] := ComboBox12.Text;
        unitdens[j] := ComboBox11.Text;
        ComboBox18.Text := unitE[j];
        Sd[j] := 0;
        Sh[j] := 0;
        K1[j] := 0;
        K2[j] := 0;
        K3[j] := 0;
        j := j+1;
      end
    else
    begin
      Label22.Visible := True;
      Edit5.Color := clRed;
    end;
  end
  else
  begin
    Label22.Visible := True;
    Edit16.Color := clRed;
  end;
end
else
begin
  Label22.Visible := True;
  Edit14.Color := clRed;
end;
end
else
begin
  Label22.Visible := True;
  Edit15.Color := clRed;
end;
end;

```

```

end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit6.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit4.Color := clRed;
end;
end
else
begin
if CodeM[j] = 'Modo 5' then
begin
    if StrToFloat(Edit4.Text) > 0 then
    begin
        if StrToFloat(Edit6.Text) > 0 then
        begin
            if StrToFloat(Edit15.Text) > 0 then
            begin
                if StrToFloat(Edit14.Text) >= 0 then
                begin
                    if StrToFloat(Edit16.Text) > 0 then
                    begin
                        if StrToFloat(Edit22.Text) > 0 then
                        begin
                            if StrToFloat(Edit23.Text) > 0 then
                            begin
                                if StrToFloat(Edit24.Text) > 0 then
                                begin
                                    if StrToFloat(Edit25.Text) > 0 then
                                    begin
Tipo[j]:= ComboBox2.Text;
                    Tipo[j] := ComboBox2.Text;
                    V[j] := StrToFloat(Edit4.Text);
                    c[j] := StrToFloat(Edit14.Text);
                    densidade[j] := StrToFloat(Edit16.Text);
                    h[j] := StrToFloat(Edit6.Text);
                    fi[j] := StrToFloat(Edit15.Text);
                    Ndiv[j] := StrToInt(ComboBox10.Text);
                    K1[j] := StrToFloat(Edit22.Text);
                    K2[j] := StrToFloat(Edit23.Text);
                    K3[j] := StrToFloat(Edit24.Text);
                    Sh[j] := StrToFloat(Edit25.Text);
                    unith[j] := ComboBox12.Text;
                    unitdens[j] := ComboBox11.Text;

```

```

        unitSh[j] := ComboBox19.Text;
        E[j] := 0;
        Sd[j] := 0;
        j := j+1;
    end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit25.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit24.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit23.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit22.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit16.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit14.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit15.Color := clRed;
end;
end
begin
    Label22.Visible := True;

```

```

        Edit6.Color := clRed;
    end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit4.Color := clRed;
end;
end
else
begin

if CodeM[j] = 'Modo 6' then
begin
    if StrToFloat(Edit4.Text) > 0 then
    begin
        if StrToFloat(Edit6.Text) > 0 then
        begin
            if StrToFloat(Edit15.Text) > 0 then
            begin
                if StrToFloat(Edit14.Text) >= 0 then
                begin
                    if StrToFloat(Edit16.Text) > 0 then
                    begin
                        if StrToFloat(Edit26.Text) > 0 then
                        begin
                            if StrToFloat(Edit27.Text) > 0 then
                            begin
                                if StrToFloat(Edit28.Text) > 0 then
                                begin
                                    if StrToFloat(Edit29.Text) > 0 then
                                    begin
Tipo[j]:= ComboBox2.Text;
                    Tipo[j] := ComboBox2.Text;
                    V[j] := StrToFloat(Edit4.Text);
                    c[j] := StrToFloat(Edit14.Text);
                    densidade[j] := StrToFloat(Edit16.Text);
                    unitdens[j] := ComboBox11.Text;
                    h[j] := StrToFloat(Edit6.Text);
                    unith[j] := ComboBox12.Text;
                    fi[j] := StrToFloat(Edit15.Text);
                    Ndiv[j] := StrToInt(ComboBox10.Text);
                    K1[j] := StrToFloat(Edit26.Text);
                    K2[j] := StrToFloat(Edit27.Text);
                    Sh[j] := StrToFloat(Edit28.Text);
                    Sd[j] := StrToFloat(Edit29.Text);
                    unith[j] := ComboBox12.Text;
                    unitdens[j] := ComboBox11.Text;
                    ComboBox20.Text := unitSh[j];
                    ComboBox21.Text := unitSd[j];

```



```
        E[j] := 0;
        K3[j] := 0;
        j := j+1;
    end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit29.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit28.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit27.Color := clRed;
end;
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit26.Color := clRed;
end;
end
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit16.Color := clRed;
end;
end
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit14.Color := clRed;
end;
end
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit15.Color := clRed;
end;
end
end
else
begin
    Label22.Visible := True;
    Edit6.Color := clRed;
```

```

        end;
    end
    else
    begin
        Label22.Visible := True;
        Edit4.Color := clRed;
    end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

Label7.Caption := IntToStr(j);

//atribuindo valores aos próximos edits
if Label22.Visible = False then
begin
    Edit6.Text := FloatToStr(h[j]);
    ComboBox12.Text := unith[j];
    Edit4.Text := FloatToStr(V[j]);
    Edit15.Text := FloatToStr(fi[j]);
    Edit14.Text := FloatToStr(c[j]);
    Edit16.Text := FloatToStr(densidade[j]);
    ComboBox11.Text := unitdens[j];
    ComboBox2.Text := Tipo[j];
    ComboBox4.Text := CodeM[j];
    ComboBox10.Text := FloatToStr(Ndiv[j]);
    Panel21.Visible := False;
    Panel22.Visible := False;
    Panel23.Visible := False;
    Panel24.Visible := False;
    Panel25.Visible := False;
    Panel26.Visible := False;

    if CodeM[j] = 'Granular' then
    begin
        Panel21.Visible := True;
        Panel26.Visible := False;
        Edit19.Text := FloatToStr(K1[j]);
        Edit20.Text := FloatToStr(K2[j]);
        Edit21.Text := FloatToStr(Sd[j]);
        ComboBox15.Text := unitSd[j];
    end;

    if CodeM[j] = 'Coesivo' then
    begin
        Panel22.Visible := True;
        Edit11.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    end;
end;
end;

```

```

    Edit13.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit18.Text := FloatToStr(K2[j]);
    ComboBox16.Text := unitSd[j];
end;

if CodeM[j] = 'Linear' then
begin
    Panel23.Visible := True;
    Edit3.Text := FloatToStr(E[j]);
    ComboBox17.Text := unitE[j];
end;

if CodeM[j] = 'E = f(deformação)' then
begin
    Panel24.Visible := True;
    Edit5.Text := FloatToStr(E[j]);
    ComboBox18.Text := unitE[j];
end;

if CodeM[j] = 'Modo 5' then
begin
    Panel25.Visible := True;
    Edit22.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit23.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit24.Text := FloatToStr(K3[j]);
    Edit25.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    ComboBox19.Text := unitSh[j];
end;

if CodeM[j] = 'Modo 6' then
begin
    Panel26.Visible := True;
    Edit26.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit27.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit28.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    Edit29.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    ComboBox20.Text := unitSh[j];
    ComboBox21.Text := unitSd[j];
end;
end;

end;

//passando à etapa seguinte

if Ncamadas < j then
begin
    //apaga etapa 2
    Panel2.Visible := False;

```

```

if Npa > 0 then
begin
    //exibe etapa 3

    i := 1;
    Label73.Caption := IntToStr(i);
    Label76.Caption := IntToStr(i);
    Edit54.Text := FloatToStr(pontos[1,1]);
    Edit55.Text := FloatToStr(pontos[1,2]);
    Panel3.Visible := True;

    if TipoEixo = 1 then Image2.Visible := True;
    if TipoEixo = 2 then Image3.Visible := True;
    if TipoEixo = 3 then Image6.Visible := True;
    if TipoEixo = 4 then Image7.Visible := True;
    if TipoEixo = 5 then Image4.Visible := True;
    if TipoEixo = 6 then Image8.Visible := True;
    if TipoEixo = 7 then Image5.Visible := True;
end
else
begin
    //exibe etapa 4
    Panel4.Visible := True;

    for j := 1 to Ncamadas do
    begin
        if CodeM[j] = 'Linear' then
        begin
            end
        else
        begin
            Label70.Visible := True;
            Label19.Visible := True;
            ComboBox6.Visible := True;
        end;
    end;
    j:=1;
end;
end;

end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin

    Label22.Visible := False;

    if j <= 1 then
    begin
        //exibindo a etapa 1

```

```

Panel1.Visible := True;

//apaga a etapa 2

Panel2.Visible := False;

end;

if j > 1 then
begin

    //voltando para outros que não o subleito
    if j = Ncamadas then
    begin
        Label21.Caption := 'ª camada';
        Label7.Visible := True;
    end;

    j := j-1;
    Label7.Caption := IntToStr(j);

    //restituindo valores aos edits anteriores

    Edit6.Text := FloatToStr(h[j]);
    ComboBox12.Text := unith[j];
    Edit4.Text := FloatToStr(V[j]);
    Edit15.Text := FloatToStr(fi[j]);
    Edit14.Text := FloatToStr(c[j]);
    Edit16.Text := FloatToStr(densidade[j]);
    ComboBox11.Text := unitdens[j];
    ComboBox15.Text := unitSd[j];
    ComboBox2.Text := Tipo[j];
    ComboBox4.Text := CodeM[j];
    ComboBox10.Text := FloatToStr(Ndiv[j]);
    Panel21.Visible := False;
    Panel22.Visible := False;
    Panel23.Visible := False;
    Panel24.Visible := False;
    Panel25.Visible := False;
    Panel26.Visible := False;

    if CodeM[j] = 'Granular' then
    begin
        Panel21.Visible := True;
        Panel26.Visible := False;
        Edit19.Text := FloatToStr(K1[j]);
        Edit20.Text := FloatToStr(K2[j]);
        Edit21.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    end;
end;

```

```
    ComboBox15.Text := unitSd[j];
end;

if CodeM[j] = 'Coesivo' then
begin
    Panel22.Visible := True;
    Edit11.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    Edit13.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit18.Text := FloatToStr(K2[j]);
    ComboBox16.Text := unitSd[j];
end;

if CodeM[j] = 'Linear' then
begin
    Panel23.Visible := True;
    Edit3.Text := FloatToStr(E[j]);
    ComboBox17.Text := unitE[j];
end;

if CodeM[j] = 'E = f(deformação)' then
begin
    Panel24.Visible := True;
    Edit5.Text := FloatToStr(E[j]);
    ComboBox18.Text := unitE[j];
end;

if CodeM[j] = 'Modo 5' then
begin
    Panel25.Visible := True;
    Edit22.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit23.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit24.Text := FloatToStr(K3[j]);
    Edit25.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    ComboBox19.Text := unitSh[j];
end;

if CodeM[j] = 'Modo 6' then
begin
    Panel26.Visible := True;
    Edit26.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit27.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit28.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    Edit29.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    ComboBox20.Text := unitSh[j];
    ComboBox21.Text := unitSd[j];
end;

end;

end;
```

```

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
begin
  if i <= 1 then
  begin
    //apaga etapa 3

    Panel3.Visible := False;

    if TipoEixo = 1 then Image2.Visible := False;
    if TipoEixo = 2 then Image3.Visible := False;
    if TipoEixo = 3 then Image6.Visible := False;
    if TipoEixo = 4 then Image7.Visible := False;
    if TipoEixo = 5 then Image4.Visible := False;
    if TipoEixo = 6 then Image8.Visible := False;
    if TipoEixo = 7 then Image5.Visible := False;

    //exibe etapa 2

    j := Ncamadas;
    Label7.Caption := IntToStr(j);
    Panel2.Visible := True;

    //restituindo valores aos edits anteriores

    Edit6.Text := FloatToStr(h[j]);
    ComboBox12.Text := unith[j];
    Edit4.Text := FloatToStr(V[j]);
    Edit15.Text := FloatToStr(fi[j]);
    Edit14.Text := FloatToStr(c[j]);
    Edit16.Text := FloatToStr(densidade[j]);
    ComboBox11.Text := unitdens[j];
    ComboBox2.Text := Tipo[j];
    ComboBox4.Text := CodeM[j];
    ComboBox10.Text := FloatToStr(Ndiv[j]);
    Panel21.Visible := False;
    Panel22.Visible := False;
    Panel23.Visible := False;
    Panel24.Visible := False;
    Panel25.Visible := False;
    Panel26.Visible := False;

    if CodeM[j] = 'Granular' then
    begin
      Panel21.Visible := True;
      Panel26.Visible := False;
      Edit19.Text := FloatToStr(K1[j]);
      Edit20.Text := FloatToStr(K2[j]);
      Edit21.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    end
  end
end

```

```

end;

if CodeM[j] = 'Coesivo' then
begin
    Panel22.Visible := True;
    Edit11.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    Edit13.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit18.Text := FloatToStr(K2[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Linear' then
begin
    Panel23.Visible := True;
    Edit3.Text := FloatToStr(E[j]);
end;

if CodeM[j] = 'E = f(deformação)' then
begin
    Panel24.Visible := True;
    Edit5.Text := FloatToStr(E[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Modo 5' then
begin
    Panel25.Visible := True;
    Edit22.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit23.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit24.Text := FloatToStr(K3[j]);
    Edit25.Text := FloatToStr(Sh[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Modo 6' then
begin
    Panel26.Visible := True;
    Edit26.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit27.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit28.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    Edit29.Text := FloatToStr(Sd[j]);
end;

end;

if i > 1 then
begin
    i := i-1;
    Label73.Caption := IntToStr(i);
    Label76.Caption := IntToStr(i);
    Edit54.Text := FloatToStr(pontos[i,1]);
    Edit55.Text := FloatToStr(pontos[i,2]);
end;

```


end;

```
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  if i = Npa then
```

```
  begin
```

```
    //exibe etapa 4
```

```
    Panel4.Visible := True;
```

```
    for j := 1 to Ncamadas do
```

```
    begin
```

```
      if CodeM[j] = 'Linear' then
```

```
      begin
```

```
      end
```

```
      else
```

```
      begin
```

```
        Label70.Visible := True;
```

```
        Label19.Visible := True;
```

```
        ComboBox6.Visible := True;
```

```
      end;
```

```
    end;
```

```
    j:=1;
```

```
    //apaga etapa 3
```

```
    Panel3.Visible := False;
```

```
  end;
```

```
  if Edit54.Text = " then Edit54.Text :='0';
```

```
  if Edit55.Text = " then Edit55.Text :='0';
```

```
  pontos[i,1] := StrToFloat(Edit54.Text);
```

```
  pontos[i,2] := StrToFloat(Edit55.Text);
```

```
  i := i+1;
```

```
  Label73.Caption := IntToStr(i);
```

```
  Label76.Caption := IntToStr(i);
```

```
  Edit54.Text := FloatToStr(pontos[i,1]);
```

```
  Edit55.Text := FloatToStr(pontos[i,2]);
```

end;

```
procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  //apagando etapa preliminar
```

```
  Panelpre.Visible := False;
```

```
  //exibindo etapa 1
```

```
  Panel1.Visible := True;
```

```

//evitando lixo nas variáveis

if ComboBox5.Text = 'vírgula' then
begin
  DecimalSeparator := ',';
  for j := 1 to 16 do
  begin
    unitSd[j] := ComboBox15.Text;
    unitE[j] := ComboBox17.Text;
    unitSh[j] := ComboBox19.Text;
    unitdens[j] := ComboBox11.Text;
    unith[j] := ComboBox12.Text;
    CodeM[j] := ComboBox4.Text;
    Tipo[j] := ComboBox2.Text;
    E[j]:= StrToFloat(Edit3.Text);
    V[j]:= StrToFloat(Edit4.Text);
    h[j]:= StrToFloat(Edit6.Text);
    Ndiv[j]:= StrToInt(ComboBox10.Text);
    fi[j]:= StrToFloat(Edit15.Text);
    densidade[j]:= StrToFloat(Edit16.Text);
    c[j] := StrtoFloat(Edit14.Text);
  end;
end;

if ComboBox5.Text = 'ponto' then
begin
  DecimalSeparator := '.';
  for j := 1 to 16 do
  begin
    unitSd[j] := ComboBox15.Text;
    unitE[j] := ComboBox17.Text;
    unitSh[j] := ComboBox19.Text;
    unitdens[j] := ComboBox11.Text;
    unith[j] := ComboBox12.Text;
    CodeM[j] := ComboBox4.Text;
    Tipo[j] := ComboBox2.Text;
    E[j]:= StrToFloat(Edit3.Text);
    V[j]:= 0.35;
    h[j]:= StrToFloat(Edit6.Text);
    Ndiv[j]:= StrToInt(ComboBox10.Text);
    fi[j]:= StrToFloat(Edit15.Text);
    densidade[j]:= 0.0018;
    c[j] := StrtoFloat(Edit14.Text);
  end;
  Edit4.Text := FloatToStr(0.35);
  Edit16.Text := FloatToStr(0.0018);
end;

end;

```

```
procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin

    if ComboBox5.Text = 'vírgula' then
    begin
        if ComboBox2.Text = 'Asfáltico' then
        begin
            Edit4.Text := ',33';
            Edit14.Text := '35';
            Edit15.Text := '45';
        end;
        if ComboBox2.Text = 'Cimentado' then
        begin
            Edit4.Text := ',20';
            Edit14.Text := '35';
            Edit15.Text := '45';
        end;
        if ComboBox2.Text = 'Granular' then
        begin
            Edit4.Text := ',35';
            Edit14.Text := '0';
            Edit15.Text := '30';
        end;
        if ComboBox2.Text = 'Solo' then
        begin
            Edit4.Text := ',40';
            Edit14.Text := '1';
            Edit15.Text := '30';
        end;
    end;
end;

if ComboBox5.Text = 'ponto' then
begin
    if ComboBox2.Text = 'Asfáltico' then
    begin
        Edit4.Text := '.33';
        Edit14.Text := '35';
        Edit15.Text := '45';
    end;
    if ComboBox2.Text = 'Cimentado' then
    begin
        Edit4.Text := '.20';
        Edit14.Text := '35';
        Edit15.Text := '45';
    end;
    if ComboBox2.Text = 'Granular' then
    begin
        Edit4.Text := '.35';
        Edit14.Text := '0';
        Edit15.Text := '30';
    end;
end;
```

```
end;
if ComboBox2.Text = 'Solo' then
begin
    Edit4.Text := '.40';
    Edit14.Text := '1';
    Edit15.Text := '30';
end;
end;

end;

procedure TForm1.ComboBox4Change(Sender: TObject);
begin
    if ComboBox4.Text = 'Granular' then
    begin
        Panel21.Visible := True;
        Panel22.Visible := False;
        Panel23.Visible := False;
        Panel24.Visible := False;
        Panel25.Visible := False;
        Panel26.Visible := False;
    end;

    if ComboBox4.Text = 'Coesivo' then
    begin
        Panel21.Visible := False;
        Panel22.Visible := True;
        Panel23.Visible := False;
        Panel24.Visible := False;
        Panel25.Visible := False;
        Panel26.Visible := False;
    end;

    if ComboBox4.Text = 'Linear' then
    begin
        Panel21.Visible := False;
        Panel22.Visible := False;
        Panel23.Visible := True;
        Panel24.Visible := False;
        Panel25.Visible := False;
        Panel26.Visible := False;
    end;

    if ComboBox4.Text = 'E = f(deformação)' then
    begin
        Panel21.Visible := False;
        Panel22.Visible := False;
        Panel23.Visible := False;
        Panel24.Visible := True;
        Panel25.Visible := False;
    end;
end;
```

```
    Panel26.Visible := False;
end;

if ComboBox4.Text = 'Modo 5' then
begin
    Panel21.Visible := False;
    Panel22.Visible := False;
    Panel23.Visible := False;
    Panel24.Visible := False;
    Panel25.Visible := True;
    Panel26.Visible := False;
end;

if ComboBox4.Text = 'Modo 6' then
begin
    Panel21.Visible := False;
    Panel22.Visible := False;
    Panel23.Visible := False;
    Panel24.Visible := False;
    Panel25.Visible := False;
    Panel26.Visible := True;
end;
end;

procedure TForm1.ComboBox3Change(Sender: TObject);
begin
    if ComboBox3.Text = 'Eixo Simples Roda Simples' then
    begin
        Image17.Visible := True;
        Image16.Visible := False;
        Image1.Visible := False;
        Image15.Visible := False;
        Image18.Visible := False;
        Image19.Visible := False;
        Image20.Visible := False;
        Label47.Visible := False;
        Edit9.Visible := False;
        ComboBox13.Visible := False;
        Label48.Visible := False;
        Edit12.Visible := False;
        ComboBox14.Visible := False;
    end;

    if ComboBox3.Text = 'Eixo Simples Roda Dupla' then
    begin
        Image17.Visible := False;
        Image16.Visible := True;
        Image1.Visible := False;
        Image15.Visible := False;
```

```
Image18.Visible := False;
Image19.Visible := False;
Image20.Visible := False;
Label47.Visible := False;
Edit9.Visible := False;
ComboBox13.Visible := False;
Label48.Visible := True;
Edit12.Visible := True;
ComboBox14.Visible := True;
end;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Misto' then
begin
Image17.Visible := False;
Image16.Visible := False;
Image1.Visible := False;
Image15.Visible := True;
Image18.Visible := False;
Image19.Visible := False;
Image20.Visible := False;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
Label48.Visible := True;
Edit12.Visible := True;
ComboBox14.Visible := True;
end;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Roda Dupla' then
begin
Image17.Visible := False;
Image16.Visible := False;
Image1.Visible := True;
Image15.Visible := False;
Image18.Visible := False;
Image19.Visible := False;
Image20.Visible := False;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
Label48.Visible := True;
Edit12.Visible := True;
ComboBox14.Visible := True;
end;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Triplo Roda Simples' then
begin
Image17.Visible := False;
Image16.Visible := False;
Image1.Visible := False;
```

```
Image15.Visible := False;
Image18.Visible := False;
Image19.Visible := False;
Image20.Visible := True;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
Label48.Visible := False;
Edit12.Visible := False;
ComboBox14.Visible := False;
end;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Triplo Roda Dupla' then
begin
Image17.Visible := False;
Image16.Visible := False;
Image1.Visible := False;
Image15.Visible := False;
Image18.Visible := False;
Image19.Visible := True;
Image20.Visible := False;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
Label48.Visible := True;
Edit12.Visible := True;
ComboBox14.Visible := True;
end;

if ComboBox3.Text = 'Eixo Tandem Duplo Roda Simples' then
begin
Image17.Visible := False;
Image16.Visible := False;
Image1.Visible := False;
Image15.Visible := False;
Image18.Visible := True;
Image19.Visible := False;
Image20.Visible := False;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
Label48.Visible := False;
Edit12.Visible := False;
ComboBox14.Visible := False;
end;
end;

procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
begin
//apaga a etapa 4
```

```

Panel4.Visible := False;
Label70.Visible := False;
Label19.Visible := False;
comboBox6.Visible := False;

if Npa > 0 then
begin
  //exibe a etapa 3
  Panel3.Visible := True;
  i := Npa;
  Label76.Caption := IntToStr(Npa);
  Label73.Caption := IntToStr(Npa);
end
else
begin
  //exibe etapa 2

  j := Ncamadas;
  Label7.Caption := IntToStr(j);
  Panel2.Visible := True;

  //restituindo valores aos edits anteriores

  Edit6.Text := FloatToStr(h[j]);
  ComboBox12.Text := unith[j];
  Edit4.Text := FloatToStr(V[j]);
  Edit15.Text := FloatToStr(fi[j]);
  Edit14.Text := FloatToStr(c[j]);
  Edit16.Text := FloatToStr(densidade[j]);
  ComboBox11.Text := unitdens[j];
  ComboBox2.Text := Tipo[j];
  ComboBox4.Text := CodeM[j];
  ComboBox10.Text := FloatToStr(Ndiv[j]);
  Panel21.Visible := False;
  Panel22.Visible := False;
  Panel23.Visible := False;
  Panel24.Visible := False;
  Panel25.Visible := False;
  Panel26.Visible := False;

  if CodeM[j] = 'Granular' then
  begin
    Panel21.Visible := True;
    Panel26.Visible := False;
    Edit19.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit20.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit21.Text := FloatToStr(Sd[j]);
  end;
end;

```



```

if CodeM[j] = 'Coesivo' then
begin
    Panel22.Visible := True;
    Edit11.Text := FloatToStr(Sd[j]);
    Edit13.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit18.Text := FloatToStr(K2[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Linear' then
begin
    Panel23.Visible := True;
    Edit3.Text := FloatToStr(E[j]);
end;

if CodeM[j] = 'E = f(deformação)' then
begin
    Panel24.Visible := True;
    Edit5.Text := FloatToStr(E[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Modo 5' then
begin
    Panel25.Visible := True;
    Edit22.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit23.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit24.Text := FloatToStr(K3[j]);
    Edit25.Text := FloatToStr(Sh[j]);
end;

if CodeM[j] = 'Modo 6' then
begin
    Panel26.Visible := True;
    Edit26.Text := FloatToStr(K1[j]);
    Edit27.Text := FloatToStr(K2[j]);
    Edit28.Text := FloatToStr(Sh[j]);
    Edit29.Text := FloatToStr(Sd[j]);
end;

end;

end;

procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    //mudando o separador decimal

    if ComboBox6.Visible = True then Nic := StrToInt(ComboBox6.Text)
    else Nic := 1;
    DecimalSeparator:= '.';

```

```

//fornecendo nomes ao FLAPS

AssignFile(arq,'ARQDAT.dat');
rewrite(arq);
ent := Edit7.Text+'.ent';
saida := Edit8.Text+'.out';
writeln(arq,ent);
writeln(arq,saida);
CloseFile(arq);

//abrindo o arquivo

AssignFile(arq,ent);
rewrite(arq);

//enganando o FLAPS
Ncamadas := Ncamadas+1;
Tipo[Ncamadas] := Tipo[Ncamadas-1];
h[Ncamadas] := 0.001;
V[Ncamadas] := V[Ncamadas-1];
fi[Ncamadas] := fi[Ncamadas-1];
c[Ncamadas] := c[Ncamadas-1];
Ndiv[Ncamadas] := Ndiv[Ncamadas-1];
densidade[Ncamadas] := densidade[Ncamadas-1];
K1[Ncamadas] := K1[Ncamadas-1];
K2[Ncamadas] := K2[Ncamadas-1];
K3[Ncamadas] := K3[Ncamadas-1];
E[Ncamadas] := E[Ncamadas-1];
Sh[Ncamadas] := Sh[Ncamadas-1];
Sd[Ncamadas] := Sd[Ncamadas-1];

//escrevendo no arquivo
write(arq,Ncamadas,',');
write(arq,Nre,',');
Npa := Npa + Nre + Ng;
write(arq,Npa,',');
Npa := Npa - Nre - Ng;
writeln(arq,Nic);
write(arq,L:15:4);
write(arq,L:15:4);
write(arq,Carga:15:4);
write(arq,Dt:15:4);
writeln(arq,Dl:15:4);

for k := 1 to Ncamadas do
begin
  if Tipo[k] = 'Asfáltico' then writeln(arq,"ASF");
  if Tipo[k] = 'Cimentado' then writeln(arq,"CIM");
  if Tipo[k] = 'Granular' then writeln(arq,"GRA");

```

```

if Tipo[k] = 'Solo' then writeln(arq,"SOL");

if CodeM[k] = 'Granular' then write(arq,' 1');
if CodeM[k] = 'Coesivo' then write(arq,' 2');
if CodeM[k] = 'Linear' then write(arq,' 3');
if CodeM[k] = 'E = f(deformação)' then write(arq,' 4');
if CodeM[k] = 'Modo 5' then write(arq,' 5');
if CodeM[k] = 'Modo 6' then write(arq,' 6');

if unitE[k] = 'N/m2' then E[j] := E[j]*0.0000101972;
if unitE[k] = 'lb/in2' then E[j] := E[j]*0.0703069616;
write(arq,E[k]:30:4);
write(arq,v[k]:18:4);
if unith[k] = 'in' then h[j] := h[j]*2.54;
write(arq,h[k]:18:4);
write(arq,K1[k]:18:4);
write(arq,K2[k]:18:4);
write(arq,K3[k]:18:4);
if unitSd[k] = 'N/m2' then Sd[j] := Sd[j]*0.0000101972;
if unitSd[k] = 'lb/in2' then Sd[j] := Sd[j]*0.0703069616;
writeln(arq,Sd[k]:18:4);
write(arq,Ndiv[k]:2);
write(arq,c[k]:30:4);
write(arq,fi[k]:18:4);
if unitdens[k] = 'gf/cm3' then densidade[j] := densidade[j]/1000;
if unitdens[k] = 'lb/in3' then densidade[j] := densidade[j]*0.02768;
write(arq,densidade[k]:18:4);
if unitSh[k] = 'N/m2' then Sh[j] := Sh[j]*0.0000101972;
if unitSh[k] = 'lb/in2' then Sh[j] := Sh[j]*0.0703069616;
writeln(arq,Sh[k]:18:4);
end;

if TipoEixo = 1 then
begin
grafico[1,1] := L/2;
grafico[1,2] := 0;
padrao[1,1] := 0;
padrao[1,2] := 0;
end;

if TipoEixo = 2 then
begin
grafico[1,1] := Dt/2;
grafico[1,2] := L/2;
padrao[1,1] := Dt/2;
padrao[1,2] := 0;
padrao[2,1] := -Dt/2;
padrao[2,2] := 0;
end;

```

```
if TipoEixo = 3 then
begin
  grafico[1,1] := Dt/2+L/2;
  grafico[1,2] := Dl/2;
  padrao[1,1] := -Dt/2;
  padrao[1,2] := -Dl/2;
  padrao[2,1] := Dt/2;
  padrao[2,2] := -Dl/2;
  padrao[3,1] := Dt/2;
  padrao[3,2] := Dl/2;
end;
```

```
if TipoEixo = 4 then
begin
  grafico[1,1] := L/2;
  grafico[1,2] := Dl/2;
  padrao[1,1] := 0;
  padrao[1,2] := Dl/2;
  padrao[2,1] := 0;
  padrao[2,2] := -Dl/2;
end;
```

```
if TipoEixo = 5 then
begin
  grafico[1,1] := Dt/2+L/2;
  grafico[1,2] := Dl/2;
  padrao[1,1] := -Dt/2;
  padrao[1,2] := -Dl/2;
  padrao[2,1] := Dt/2;
  padrao[2,2] := -Dl/2;
  padrao[3,1] := Dt/2;
  padrao[3,2] := Dl/2;
  padrao[4,1] := -Dt/2;
  padrao[4,2] := Dl/2;
end;
```

```
if TipoEixo = 6 then
begin
  grafico[1,1] := L/2;
  grafico[1,2] := Dl;
  padrao[1,1] := 0;
  padrao[1,2] := -Dl;
  padrao[2,1] := 0;
  padrao[2,2] := 0;
  padrao[3,1] := 0;
  padrao[3,2] := Dl;
end;
```

```
if TipoEixo = 7 then
begin
```

```

grafico[1,1] := Dt/2+L/2;
grafico[1,2] := Dl;
padrao[1,1] := -Dt/2;
padrao[1,2] := -Dl;
padrao[2,1] := Dt/2;
padrao[2,2] := -Dl;
padrao[3,1] := -Dt/2;
padrao[3,2] := 0;
padrao[4,1] := Dt/2;
padrao[4,2] := 0;
padrao[5,1] := Dt/2;
padrao[5,2] := Dl;
padrao[6,1] := -Dt/2;
padrao[6,2] := Dl;
end;

for i :=1 to Ng do
begin
  write(arq,grafico[i,1]:13:4);
  writeln(arq,grafico[i,2]:13:4);
end;

for i :=1 to Nre do
begin
  write(arq,padrao[i,1]:13:4);
  writeln(arq,padrao[i,2]:13:4);
end;

for i:=1 to Npa do
begin
  write(arq,pontos[i,1]:13:4);
  writeln(arq,pontos[i,2]:13:4);
end;

write(arq,TypoEixo);

//fechando o arquivo
CloseFile(arq);

//Abrindo o FLAPS

ExecAndWait('FLAPS.exe', '/teste', cod);

ExecuteProgram('notepad.exe',saida);

//montando o gráfico
Form1.Caption := 'WFLAPS '+saida;
Assignfile(arq,saida);

```

```

Reset(arq);
i := 0;
while i = 0 do
begin
  readln(arq,ent);
  if ent = ' * * * * * TENSÕES CISALHANTES * * * * * ' then
  begin
    i := 1;
    for j := 1 to 6 do readln(arq,ent);
    for j :=1 to Ncamadas-1 do
    begin
      readln(arq,ent);
      for k := 1 to Ndiv[j]+1 do
      begin
        readln(arq,grafico[1,1],grafico[1,2],Z[j,k],lixo,Tcis[j,k],lixo);
        Chart1.Series[0].AddXY(Z[j,k],Tcis[j,k], " , clTeeColor);
        if Tcis[j,k] > 10 then Chart1.TopAxis.Maximum := Z[j,k];

        end;
        readln(arq,ent);
      end;
    end;
  end;

end;

CloseFile(arq);
Chart1.Visible := True;
Panel4.Visible := False;
end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);
begin
  //apaga etapa pre
  Panelpre.Visible := False;

  //exibe etapa de carregamento
  Panelload.Visible := True;

  if ComboBox5.Text = 'ponto' then DecimalSeparator := '.';
  if ComboBox5.Text = 'vírgula' then DecimalSeparator := ',';

end;

procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);
begin
  //exibe etapa pre
  Panelpre.Visible := True;

  //apaga etapa de carregamento
  Panelload.Visible := False;

```

```

Label85.Visible := False;

end;

procedure TForm1.Button10Click(Sender: TObject);
begin
  Ng := 1;
  ent := Edit10.Text+'ent';
  Edit7.Text := Edit10.Text;
  if FileExists(ent) then
  begin
    //apaga etapa de carregamento
    Panellload.Visible := False;

    //exibe a etapa 1
    Panel1.Visible := True;

    //carrega os dados
    AssignFile(arq,ent);
    reset(arq);
    readln(arq,ent);
    Ncamadas := StrToInt(ent[1]);
    Nre := StrToInt(ent[3]);
    Npa := StrToInt(ent[5]);
    Npa := Npa-Nre - Ng;
    Nic := StrToInt(ent[7]);
    readln(arq,L,L,Carga,Dt,Dl);

    for i := 1 to Ncamadas do
    begin
      readln(arq,ent);
      ent := ent[2]+ent[3]+ent[4];
      if ent = 'ASF' then Tipo[i] := 'Asfáltico';
      if ent = 'CIM' then Tipo[i] := 'Cimentado';
      if ent = 'GRA' then Tipo[i] := 'Granular';
      if ent = 'SOL' then Tipo[i] := 'Solo';
      readln(arq,aux,E[i],V[i],h[i],K1[i],K2[i],K3[i],Sd[i]);
      if aux = 1 then CodeM[i] := 'Granular';
      if aux = 2 then CodeM[i] := 'Coesivo';
      if aux = 3 then CodeM[i] := 'Linear';
      if aux = 4 then CodeM[i] := 'E = f(deformação)';
      if aux = 5 then CodeM[i] := 'Modo 5';
      if aux = 6 then CodeM[i] := 'Modo 6';
      readln(arq,Ndiv[i],c[i],fi[i],densidade[i],Sh[i]);

    end;

    for i := 1 to Ng do readln(arq,grafico[i,1],grafico[i,2]);
    for i := 1 to Nre do readln(arq,padrao[i,1],padrao[i,2]);
    for i := 1 to Npa do readln(arq,pontos[i,1],pontos[i,2]);
  end;
end;

```

```

readln(arq,TipoEixo);

CloseFile(arq);

//atribui dados carregados
ComboBox1.Text := IntToStr(Ncamadas-2);
ComboBox7.Text := IntToStr(Npa);
ComboBox6.Text := IntToStr(Nic);
pressao := Carga/(Nre*L*L);
Carga := Carga/1000;
Edit2.Text := FloatToStr(Carga);
Edit1.Text := FloatToStr(pressao);
if TipoEixo = 1 then ComboBox3.Text := 'Eixo Simples Roda Simples';
if TipoEixo = 2 then
begin
    ComboBox3.Text := 'Eixo Simples Roda Dupla';
    Image17.Visible := False;
    Image16.Visible := True;
    Label48.Visible := True;
    Edit12.Visible := True;
    ComboBox14.Visible := True;

end;
if TipoEixo = 3 then
begin
    ComboBox3.Text := 'Eixo Tandem Duplo Misto';
    Image17.Visible := False;
    Image15.Visible := True;
    Label48.Visible := True;
    Edit12.Visible := True;
    ComboBox14.Visible := True;
    Label47.Visible := True;
    Edit9.Visible := True;
    ComboBox13.Visible := True;

end;
if TipoEixo = 4 then
begin
    ComboBox3.Text := 'Eixo Tandem Duplo Roda Simples';
    Image17.Visible := False;
    Image18.Visible := True;
    Label47.Visible := True;
    Edit9.Visible := True;
    ComboBox13.Visible := True;

end;
if TipoEixo = 5 then
begin
    ComboBox3.Text := 'Eixo Tandem Duplo Roda Dupla';
    Image17.Visible := False;
    Image1.Visible := True;

```



```

Label48.Visible := True;
Edit12.Visible := True;
ComboBox14.Visible := True;
Label47.Visible := True;
Edit9.Visible := True;
ComboBox13.Visible := True;
end;
if TipoEixo = 6 then
begin
  ComboBox3.Text := 'Eixo Tandem Triplo Roda Simples';
  Image17.Visible := False;
  Image20.Visible := True;
  Label47.Visible := True;
  Edit9.Visible := True;
  ComboBox13.Visible := True;
end;

if TipoEixo = 7 then
begin
  ComboBox3.Text := 'Eixo Tandem Triplo Roda Dupla';
  Image17.Visible := False;
  Image19.Visible := True;
  Label48.Visible := True;
  Edit12.Visible := True;
  ComboBox14.Visible := True;
  Label47.Visible := True;
  Edit9.Visible := True;
  ComboBox13.Visible := True;
end;
Edit9.Text := FloatToStr(Dl);
Edit12.Text := FloatToStr(Dt);
ComboBox2.Text := Tipo[1];
Edit4.Text := FloatToStr(V[1]);
Edit14.Text := FloatToStr(c[1]);
Edit16.Text := FloatToStr(densidade[1]);
Edit6.Text := FloatToStr(h[1]);
Edit15.Text := FloatToStr(fi[1]);
ComboBox10.Text := IntToStr(Ndiv[1]);
ComboBox4.Text := CodeM[1];

//completando o que não foi carregado
for j := 1 to 16 do
begin
  unitSd[j] := ComboBox15.Text;
  unitE[j] := ComboBox17.Text;
  unitSh[j] := ComboBox19.Text;
  unitdens[j] := ComboBox11.Text;
  unith[j] := ComboBox12.Text;
end;
for j := Ncamadas+1 to 16 do

```

```
begin
  CodeM[j] := ComboBox4.Text;
  Tipo[j] := ComboBox2.Text;
  E[j]:= StrToFloat(Edit3.Text);
  V[j]:= StrToFloat(Edit4.Text);
  h[j]:= StrToFloat(Edit6.Text);
  Ndiv[j]:= StrToInt(ComboBox10.Text);
  fi[j]:= StrToFloat(Edit15.Text);
  densidade[j]:= StrToFloat(Edit16.Text);
  c[j] := StrtoFloat(Edit14.Text);
end;

end
else
begin
  Label85.Visible := True;
end;
end;

end.
```

5. Conclusões e sugestões para trabalhos posteriores

O FLAPS, agora denominado WFLAPS, já era consideravelmente popular no meio acadêmico, sendo possível encontrar diversas referências a este em trabalhos acadêmicos. É agora um programa de análise estrutural de pavimentos mais completo e de fácil utilização. O novo nome também deve facilitar a difusão, uma vez que a busca na internet não gerará mais confusão com a peça aeronáutica de mesmo nome. Espera-se com isso que seu uso torne-se mais popular tanto no ITA como em outras faculdades de engenharia civil.

Apesar da grande quantidade de melhorias efetuadas no programa ainda há possibilidade de aprimoramento. A incorporação de um módulo gráfico ou a associação com um programa de dimensionamento baseado em métodos já consagrados como o do DNER ou ASHTO seria de grande valia. Apesar disto, considero os aprimoramentos aqui realizados suficientes, por enquanto.

REFERÊNCIAS

- [1] AZEVEDO, Álvaro F. M. **Método dos elementos finitos**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [2] COLDGEAR DELPHI. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/CodeGear_Delphi>. Acesso em: 27 ago. 2009.
- [3] RODRIGUES, Régis M. **Engenharia de pavimentos: projeto de pavimentos**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007. Parte 1.
- [4] CANTÙ, Marco. **Dominando o DELPHI**. São Paulo: Makron Books, 1996.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 05 de novembro de 2009	3. DOCUMENTO Nº CTA/ITA/TC-096/2009	4. Nº DE PÁGINAS 84
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Reestruturação e aprimoramento do programa FLAPS (Finite Layer Analysis Pavement Structures)			
6. AUTOR: Bruno Henrique Oliveira Lima			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: WFLAPS, FLAPS, pavimento, estrutura			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Programas de aplicação (computadores); Pavimentos; Manutenção; Método de elementos finitos; Análise estrutural; Ciclo de vida; Computação; Engenharia civil			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Régis Martins Rodrigues. Publicado em 2009.			
11. RESUMO: A literatura corrente fornece diversos métodos empíricos para o dimensionamento de pavimentos, assim como modelos mecanístico-empíricos para o estudo destes após a construção. O objetivo principal é estimar com maior precisão o tempo de vida do pavimento e eventuais necessidades de reparos, além de possibilitar o estudo prévio do efeito destes reparos e seu efeito na vida útil. Com esta finalidade, foi desenvolvido no ano de 1994 o programa denominado FLAPS, pelo professor Régis Martins Rodrigues. Este programa, concebido inicialmente para o SO MS-DOS, aplica a teoria de análise de elementos finitos na previsão de funcionamento de pavimentos. Contudo, o FLAPS está limitado à capacidade de processamento dos computadores à época, apresentando uma interface com o usuário simples, limitações na capacidade de processamento e pouca tolerância a erros de utilização. Com o avanço da informática, surgiu a possibilidade de melhorar o software, tornando sua utilização mais simples, menos suscetível a erros do usuário e até mesmo ampliar sua capacidade de processamento.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			