



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA  
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/551/01062  
Proc. 0702/073/12711

## MARSHALL CALC

### **Aplicação computacional de processamento de dados do ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas**

Estudo e aplicação realizados por solicitação do Departamento de Transportes do LNEC

Lisboa • Janeiro de 2011

**I&D** INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

**RELATÓRIO 32/2011 – NQM**



## **Marshall Calc – Aplicação Computacional de Processamento de Dados do Ensaio de Compressão Marshall de Misturas Betuminosas**

### **Resumo**

Este relatório contém uma descrição das etapas de concepção, desenvolvimento e concretização da aplicação computacional Marshall Calc aplicada no processamento de dados obtidos no ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas. Em particular, destacam-se a especificação de requisitos, a ferramenta computacional de suporte, os módulos e suas funcionalidades e a avaliação de qualidade suportada num processo de validação. Adicionalmente, inclui-se uma secção dedicada a manual de utilização, onde se mencionam os aspectos essenciais da sua operacionalidade e manutenção.

## **Marshall Calc – Data Processing Software for the Marshall Compression Test of Bituminous Mixtures**

### **Abstract**

This report contains a description of the design, development and implementation stages of the Marshall Calc data processing software applied in the Marshall compression test of bituminous mixtures, namely, requirements specifications, supporting computational tool, software modules and functionalities, and quality evaluation based on validation process. Additionally, it includes a user manual's containing the main operational and maintenance items.

## **Marshall Calc – Application Computationnelle de Processement de Données de l'Essai de Compression Marshall des Mélanges Bitumineux**

### **Résumé**

Ce rapport contient une description des étapes de conception, développement et implémentation de l'application computationnelle Marshall Calc de processement de données de l'essai de compression Marshall des mélanges bitumineux, à savoir, la spécification des exigences, le logiciel de soutien, les modules et fonctionnalités de cette application et sa évaluation de qualité basée sur le processus de validation. Aditionnellement, il présente un manuel d'utilisation qui mentionne les principaux aspects de son fonctionnement et manutention.

# Índice de matérias

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REQUISITOS DE CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL .....	4
2.1 Requisitos funcionais.....	4
2.2 Requisitos de segurança.....	5
2.3 Requisitos de integridade.....	6
2.4 Requisitos de fiabilidade .....	6
2.5 Requisitos de usabilidade.....	6
2.6 Requisitos de eficiência .....	7
2.7 Requisitos de manutenção .....	7
2.8 Requisitos de portabilidade .....	8
3. FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE SUPORTE .....	9
4. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO .....	10
5. CONCRETIZAÇÃO COMPUTACIONAL .....	15
5.1 Folha de cálculo <i>Menu de Entrada</i> .....	15
5.2 Folha de cálculo <i>Manutenção</i> .....	16
5.3 Folha de cálculo <i>Dados para Verificação</i> .....	19
5.4 Folha de cálculo <i>Tabela Geral</i> .....	21
5.5 Folhas de cálculo <i>Importação e Formatação de Dados</i> .....	23
5.6 Folhas de cálculo <i>Tabelas de Incertezas de Medição</i> .....	26
5.7 Folha de cálculo <i>Validação de Resultados</i> .....	29
5.8 Folha de cálculo <i>Representações Gráficas</i> .....	31
5.9 Folha de cálculo <i>Boletim de Ensaio</i> .....	33

<b>6. AVALIAÇÃO DE QUALIDADE .....</b>	<b>36</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>44</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO.....</b>	<b>47</b>
<b>A.1 Requisitos do sistema computacional .....</b>	<b>48</b>
<b>A.2 Configuração local.....</b>	<b>48</b>
<b>A.3 Procedimento simplificado de utilização .....</b>	<b>50</b>
<b>A.4 Manutenção.....</b>	<b>56</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No actual contexto da actividade experimental desenvolvida pelos laboratórios de ensaio e calibração do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), verifica-se uma tendência crescente para a incorporação de aplicações computacionais nos sistemas de medição tendo em vista, entre outros objectivos, integrar a aquisição e o processamento automático dos dados obtidos pelas diversas cadeias de medição num só produto.

Pretende-se, deste modo, reduzir significativamente a necessidade de intervenção humana na realização de actividades com carácter repetitivo – fonte usual de erros – promovendo-se, simultaneamente, um acréscimo de confiança nos resultados obtidos.

Na vertente de gestão laboratorial, a automatização das tarefas de aquisição e processamento de dados experimentais traduz-se numa redução de custos resultante da diminuição dos tempos de ocupação dos técnicos e de execução do ensaio justificando por si só, em determinados cenários, o investimento efectuado na aquisição de sistemas de medição com aplicações computacionais embebidas.

Recentemente, a Metrologia, enquanto Ciência da Medição, tem procurado dar resposta à crescente preocupação associada à qualidade das medições obtidas com recurso a este tipo de equipamentos de ensaio. Na actualidade, a complexidade dos desafios associados a esta preocupação definem, no seio da comunidade metrológica internacional, um campo de investigação específico – a Metrologia Computacional – dedicado ao estudo desta matéria. No contexto da actividade de I&DT realizada no LNEC, esta temática constitui uma das vertentes de investigação prosseguida no Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) do Centro de Instrumentação Científica (CIC) [1, 2].

A incorporação, nos sistemas de medição, de aplicações computacionais que promovem a aquisição e o processamento numérico de dados experimentais traduz-se, inevitavelmente, na introdução de novas componentes de incerteza que influenciam os resultados obtidos, determinando a necessidade de se proceder a estudos visando quantificar a sua contribuição para a incerteza de medição associada às grandezas de saída (resultados da medição).

O conhecimento decorrente da realização destes estudos é particularmente relevante para os laboratórios de ensaio e calibração inseridos em Sistemas de Gestão da Qualidade com enquadramento normativo definido pela NP EN ISO/IEC 17025 [3], onde a expressão da qualidade dos resultados das medições (mediante a determinação das respectivas incertezas de medição) e a validação das aplicações computacionais dos equipamentos de ensaio

constituem requisitos primordiais que importa cumprir tendo em vista o seu correcto desempenho na concretização de actividades experimentais.

Este é o caso do Laboratório de Ensaios de Materiais para Pavimentação (LNEC/PAVMAT), cuja competência para a realização de ensaios de caracterização de materiais de pavimentação de infra-estruturas rodoviárias e aeroportuárias é periodicamente avaliada pelo Instituto Português da Acreditação (IPAC). No âmbito do seu processo de melhoria contínua na realização do ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas [4], o LNEC/PAVMAT solicitou ao NQM a realização de um estudo de avaliação de incertezas de medição das grandezas de interesse no referido ensaio.

No LNEC/PAVMAT, a aquisição e processamento dos dados experimentais registados nesse ensaio tem vindo a ser assegurada por aplicações computacionais que integram o equipamento de ensaio utilizado (máquina de compressão uniaxial). Porém, a inexistência de informação descritiva da abordagem adoptada (modelos matemáticos e a sua concretização computacional) por parte do fabricante do equipamento, constitui um impedimento para a avaliação da qualidade das medições.

A ultrapassagem desse impedimento apontou para a necessidade de se proceder ao desenvolvimento de uma aplicação autónoma do equipamento de ensaio utilizado, que assegure o processamento numérico dos dados experimentais registados pelas cadeias de medição (estimativas das grandezas de entrada) tendo em vista a determinação das estimativas e incertezas de medição das grandezas de saída envolvidas. Tratando-se de uma aplicação computacional do tipo *custom*, isto é, concebida e desenvolvida especificamente para o LNEC/PAVMAT, torna-se possível ultrapassar os elementos referidos anteriormente que impediam a avaliação de incertezas de medição no ensaio de compressão Marshall. A motivação deste relatório encontra-se, portanto, associada à resposta para uma necessidade de índole metrológica que originou o desenvolvimento da aplicação computacional que é objecto de descrição.

A solução proposta pelo NQM à solicitação do LNEC/PAVMAT compõe-se, assim, de duas partes: de um estudo dedicado à “*Avaliação de Incertezas de Medição no Laboratório de Ensaios de Materiais para Pavimentação (LNEC/PAVMAT): Ensaio Marshall*”<sup>1</sup> [4]; do desenvolvimento da aplicação computacional

---

<sup>1</sup> Este relatório contém, para além da descrição sumária do ensaio e do conjunto de relações funcionais aplicadas nesse contexto, as fontes de incerteza da medição das grandezas de entrada sendo, também, apresentado o cálculo de propagação de incertezas de medição suportado na aplicação do método GUM [5].



Marshall Calc, cuja descrição se encontra no presente relatório, que concretiza o método de cálculo de incertezas descrito e a formulação probabilística mencionada no estudo [4].

No Capítulo 2 são apresentados os requisitos associados à aplicação computacional desenvolvida. O Capítulo 3 é dedicado à ferramenta computacional (Microsoft® Office Excel 2003®) utilizada na definição da estrutura e conteúdo da aplicação Marshall Calc. Por sua vez, o Capítulo 4 descreve o processo de concepção e desenvolvimento da aplicação tendo em conta as definições estabelecidas nos Capítulos anteriores sendo apresentada, no Capítulo 5, a respectiva concretização computacional. A avaliação de qualidade da aplicação Marshall Calc é exposta no Capítulo 6, em particular, os processos de verificação e validação adoptados, respectivamente, na evidenciação da funcionalidade, segurança e integridade da aplicação e na confirmação dos requisitos estabelecidos previamente. Por último, no Capítulo 7, são apresentadas as considerações finais. O Anexo A constitui o manual de utilização da aplicação tendo por objectivo facilitar a sua operacionalidade e a manutenção por parte dos seus operadores.

## 2. REQUISITOS DE CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO COMPUTACIONAL

O presente Capítulo apresenta requisitos da qualidade a serem satisfeitos no âmbito do desenvolvimento da aplicação Marshall Calc. Cada uma das secções seguintes corresponde a uma área de interesse – funcionalidade, segurança, integridade, fiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenção e portabilidade – onde se encontram agrupados os respectivos requisitos de natureza idêntica.

### 2.1 Requisitos funcionais

O conjunto de requisitos funcionais expostos em seguida traduzem as operações de introdução e formatação de dados, cálculo e expressão das grandezas que constituem os resultados de medição, de acordo com o procedimento de ensaio.

- 2.1.1. Constituir o suporte documental da realização do ensaio de compressão Marshall no LNEC/PAVMAT de acordo com a norma de referência EN 12697-34 [6], permitindo efectuar o registo electrónico dos seguintes elementos: número do processo do cliente; data de ensaio; identificação da amostra; identificação dos provetes de ensaio; observações; dados experimentais de entrada relativos a cada provete de ensaio (baridade, volume, estabilidade, deformação e tempo de ensaio);
- 2.1.2. Importar e formatar os dados experimentais de estabilidade, deformação e tempo de ensaio contidos no ficheiro de registo (do tipo *Generic Graph File*, com extensão .GRF) criado pela aplicação computacional que integra a máquina de compressão uniaxial (marca PROETI, modelo S-0373/A, n.º de série 02M2459) do LNEC/PAVMAT;
- 2.1.3. Calcular estimativas e incertezas de medição das mensurandas de interesse (parametrização da tangente, deformação ponto *a*, deformação ponto *b*, deformação ponto *m'*, estabilidade máxima, factor de correcção, estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall dos provetes de ensaio) do ensaio de compressão Marshall, de acordo com os modelos, métodos e expressões matemáticas expostos em [4];

- 2.1.4. Representar graficamente as curvas de estabilidade *versus* deformação, incluindo a representação da tangente à curva e do valor máximo de estabilidade, para cada um dos provetes de ensaio;
- 2.1.5. Validar de forma automática os resultados finais obtidos para a amostra ensaiada, em conformidade com os critérios definidos na norma de referência EN 12697-34 [6];
- 2.1.6. Preencher automaticamente o boletim de ensaio com a seguinte informação: número do processo do cliente; data de ensaio; identificação da amostra; tabela de resultados finais do ensaio (estimativa, incerteza de medição expandida e factor de expansão para as grandezas baridade, estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall); equipamento utilizado; observações.

## **2.2 Requisitos de segurança**

A aplicação computacional deve dispor de dois níveis de acesso visando a manutenção da integridade da informação relevante e da rastreabilidade dos dados. O nível de operação deve possuir um conjunto de campos protegidos de modo a evitar a modificação, voluntária ou involuntária, de informação crítica. O nível de gestão e manutenção da aplicação deve permitir o acesso completo ao código, campos e formulações. Com efeito, a aplicação deve:

- 2.2.1. Condicionar o acesso no nível de operação ao preenchimento dos seguintes campos: número do processo do cliente; data de ensaio; identificação da amostra; identificação dos provetes de ensaio; observações; dados experimentais de entrada relativos à baridade e volume de cada um dos provetes de ensaio;
- 2.2.2. Assegurar a integridade da informação associada à manutenção de alguns campos cujo preenchimento deverá ser realizado pelo operador do ensaio. Os campos em causa são, entre outros, a data de actualização, a identificação da máquina de compressão uniaxial (marca, modelo e número de série), dados da cadeia de medição de estabilidade e deformação (identificação do transdutor, certificado de calibração, rastreabilidade, gama de medição, componentes de incerteza de medição associadas à calibração e correcção de desvios sistemáticos);
- 2.2.3. Garantir o acesso reservado ao nível de gestão, permitindo o acesso completo aos campos de configuração da aplicação;

- 2.2.4. Alertar o operador no caso de se verificar que a coerência ou a integridade da aplicação esteja em causa, impedindo o acesso aos restantes campos e rotinas de preenchimento de dados até à sua correcção.

### **2.3 Requisitos de integridade**

A verificação da integridade de uma aplicação computacional após a sua inicialização constitui um procedimento de garantia de qualidade. Assim, esta deve:

- 2.3.1. Testar a integridade da aplicação no início de cada utilização com base num conjunto de dados de referência arquivados em memória, para o qual existe um conjunto de resultados expectáveis;
- 2.3.2. Inicializar a aplicação mediante a limpeza do conteúdo de memória de todos os campos de preenchimento de dados; esta operação sucede à de verificação da manutenção da integridade da aplicação.

### **2.4 Requisitos de fiabilidade**

O bom desempenho da aplicação depende de se garantir a coerência da informação introduzida e do seu arquivo o que se enquadra, neste contexto, na fiabilidade da aplicação. Para o efeito a aplicação deve:

- 2.4.1. Validar os dados experimentais relativos à baridade e volume dos provetes de ensaio que são introduzidos pelo operador nos campos existentes para esse efeito na aplicação;
- 2.4.2. Assegurar que o acesso visando a importação de dados apenas é permitido para a área reservada que contém os ficheiros de registo da aplicação;
- 2.4.3. Promover o arquivo da informação contida na aplicação, de forma automática, em intervalos de tempo de cinco minutos.

### **2.5 Requisitos de usabilidade**

A adequação da aplicação ao uso pretendido, atendendo à presença de interfaces de entrada e saída de dados constitui, também, uma preocupação traduzida num conjunto de requisitos da qualidade. A aplicação deve:

- 2.5.1. Garantir a existência de rotinas de acesso automático a áreas funcionais e de manutenção;
- 2.5.2. Realizar, de forma automática, a importação e formatação de dados experimentais de estabilidade, deformação e tempo de ensaio contidos nos ficheiros de registo de ensaio localizados em área dedicada;
- 2.5.3. Executar automaticamente um teste de avaliação de integridade da aplicação;
- 2.5.4. Efectuar a limpeza dos campos de preenchimento de dados na fase de inicialização da aplicação de modo a eliminar registos anteriores mantidos em memória;
- 2.5.5. Identificar os campos de preenchimento por parte do operador, a informação expectável e os respectivos formatos (se aplicável);
- 2.5.6. Garantir o arquivo da informação contida na aplicação em ficheiro exclusivo;
- 2.5.7. Conter referências a documentos de interesse relativos à aplicação em uso.

## **2.6 Requisitos de eficiência**

Sendo dispensável dispor de dados processados em tempo real, a aplicação deve:

- 2.6.1. Permitir efectuar o processamento de dados experimentais em tempo não-real.

## **2.7 Requisitos de manutenção**

A aplicação deve estar concebida por forma a permitir efectuar actividades de manutenção da mesma identificando sempre a versão em uso. Assim a aplicação deve:

- 2.7.1. Permitir a actualização dos seguintes elementos de manutenção: data de actualização; identificação da máquina de compressão uniaxial (marca, modelo e número de série); dados da cadeia de medição de estabilidade e deformação (identificação do transdutor, certificado de calibração, rastreabilidade, gama de medição, componentes de incerteza de medição associadas à calibração e correcção de desvios sistemáticos);
- 2.7.2. Indicar a data da actualização mais recente efectuada pelo operador.

## **2.8 Requisitos de portabilidade**

A fim de facilitar a sua portabilidade, a aplicação deve apresentar:

- 2.8.1. Compatibilidade com o sistema operativo e programa de execução da aplicação no computador associado à máquina de compressão uniaxial do LNEC/PAVMAT;
- 2.8.2. Compatibilidade com o endereço da área local dedicada ao arquivo dos ficheiros de registo do ensaio localizada no computador associado à máquina de compressão uniaxial do LNEC/PAVMAT;
- 2.8.3. Compatibilidade com a designação dos ficheiros de registo obtidos com a realização do ensaio.

### 3. FERRAMENTA COMPUTACIONAL DE SUPORTE

A aplicação Marshall Calc foi desenvolvida tendo como suporte de base o Microsoft<sup>®</sup> Office Excel 2003<sup>®</sup>. A opção por esta via decorreu do conhecimento e experiência do NQM no desenvolvimento de aplicações computacionais de cariz metrológico com um grau de exigência equivalente, permitindo antever o cumprimento dos requisitos especificados no Capítulo anterior.

Das suas características principais podem-se destacar algumas, em particular, que foram consideradas relevantes para o desenvolvimento da aplicação computacional em causa. Estas são as seguintes:

- permitir a criação de folhas de cálculo do tipo tabela multidimensional, com células interdependentes onde é possível proceder a operações de entrada, processamento e saída de informação textual e numérica;
- apresentar a possibilidade de automatização de operações de processamento e cálculo mediante o desenvolvimento de rotinas (macros) suportadas na linguagem de programação Visual Basic;
- possuir um conjunto de rotinas pré-definidas que facilitam, por exemplo: a importação e a formatação de dados provenientes de fontes externas; a protecção de folhas de cálculo; a representação gráfica de variáveis; a introdução de informação em ficheiro do tipo modelo-padrão (Microsoft<sup>®</sup> Office Excel Template) e o consequente gravação em ficheiro de registo dedicado (Microsoft<sup>®</sup> Office Excel Workbook);
- corresponder a uma ferramenta computacional de utilização frequente em contexto laboratorial.

#### 4. CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Tendo em conta os requisitos expostos no Capítulo 2 e o ambiente de desenvolvimento computacional adoptado (Capítulo 3), o presente Capítulo descreve as etapas que conduziram à criação da aplicação Marshall Calc.

A **primeira etapa** de desenvolvimento consistiu na especificação dos dados de entrada e de saída da aplicação pretendida. Com efeito, o conjunto de dados de entrada é formado pelos seguintes elementos:

- estimativas e incertezas de medição da grandeza baridade associada aos provetes de ensaio da amostra de mistura betuminosa ensaiada;
- estimativas e incertezas de medição da grandeza volume associada aos provetes de ensaio da amostra de mistura betuminosa ensaiada;
- registos temporais das estimativas das grandezas estabilidade e deformação de cada um dos provetes de ensaio;
- componentes de incerteza de medição das grandezas estabilidade e deformação, conforme exposto em [4].

Por sua vez, o conjunto de dados de saída da aplicação é composto pelas estimativas, factores de expansão e incertezas de medição expandidas associadas às seguintes grandezas que caracterizam a amostra de mistura betuminosa ensaiada:

- baridade;
- estabilidade máxima corrigida;
- deformação;
- quociente Marshall;
- deformação tangencial.

A **segunda etapa** de desenvolvimento da aplicação Marshall Calc consistiu na estruturação do algoritmo computacional que define o conjunto de acções a executar tendo em vista o cumprimento dos requisitos apresentados anteriormente. No algoritmo utilizado podem-se identificar duas fases: a fase de inicialização e a fase de processamento e cálculo.

A **fase de inicialização** (*vide* Figura 1) é composta pelo seguinte conjunto de acções que deverá ser realizada pela ordem sequencial apresentada em seguida:



1. execução da aplicação apresentando ao operador as opções de manutenção ou de execução de teste da aplicação;
2. no caso da selecção da opção de manutenção, permite-se ao operador a edição dos campos relativos à data de actualização, identificação do equipamento de ensaio e cadeias de medição de estabilidade e deformação; concluído este conjunto de operações, poder-se-á efectuar o retorno ao ponto anterior;
3. no caso da selecção da opção de execução de teste da aplicação, é executada uma rotina de apresentação ao operador seguida da opção de confirmação ou de retorno ao ponto 1.;
4. confirmação da execução do teste da aplicação conduzindo à execução de rotina de validação da sua integridade, suportada num conjunto de dados de referência para os quais se conhecem os respectivos dados de saída; a rotina de validação efectua o preenchimento dos campos relativos aos dados de entrada e compara os dados de saída produzidos pela aplicação com os dados de saída de referência de modo a indicar a aceitação do seu estado de funcionamento;
5. caso os dados de saída produzidos não sejam equivalentes aos dados de saída de referência, informa o operador que a integridade da aplicação está comprometida e retorna ao ponto 1.;
6. caso os dados de saída produzidos coincidam com os dados de saída de referência, é executada a rotina de inicialização da aplicação;
7. execução da rotina de inicialização, que consiste na limpeza de todos os campos de preenchimento de dados de entrada na aplicação; concluída esta operação, o operador é informado que o teste de integridade foi realizado com sucesso e que a aplicação está pronta para utilização.

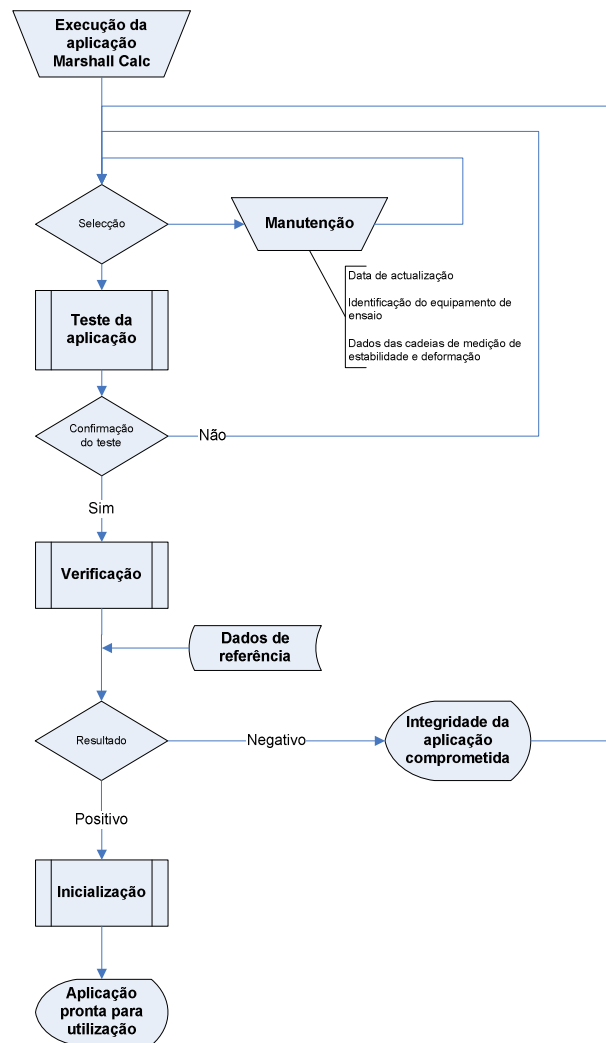


Figura 1 – Fase de inicialização do algoritmo utilizado.

Por sua vez, a **fase de processamento e cálculo**, cuja representação esquemática consta na Figura 2, é composta pelo seguinte conjunto de acções que devem ser realizadas pela ordem sequencial que é apresentada de seguida:

1. preenchimento de campos relativos aos dados gerais de entrada do ensaio (número do processo, data de ensaio, identificação da amostra e observações) e aos dados dos provetes de ensaio (identificação e respectivas estimativas de baridade e volume);
2. aceitação das estimativas de baridade e volume dos provetes de ensaio tendo por base intervalos predefinidos de valores aceitáveis e tipicamente obtidos com a realização do ensaio de compressão Marshall (estimativas de baridade

compreendidas entre  $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $3000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  e estimativas de volume compreendidas entre 450 ml e 550 ml);

3. caso algum dos dados de entrada relativos às estimativas de baridade e volume dos provetes de ensaio não cumpra o respectivo critério de aceitação especificado no ponto anterior, informa o operador que os dados de entrada não são válidos e impede a apresentação, no boletim de ensaio, dos dados de saída produzidos pela aplicação;
4. execução da rotina dedicada à importação e formatação dos registos temporais das estimativas das grandezas estabilidade e deformação de cada um dos provetes de ensaio contidos nos respectivos ficheiros produzidos pela aplicação computacional que integra a máquina de compressão uniaxial do LNEC/PAVMAT;
5. identificação dos quatro pontos do registo temporal das estimativas de estabilidade e deformação de cada provete de ensaio localizados em torno do ponto de inflexão da curva de ensaio;
6. identificação dos dois pontos do registo temporal das estimativas de estabilidade e deformação de cada provete de ensaio localizados em torno do ponto de estabilidade máxima da curva de ensaio;
7. cálculo das estimativas e incertezas de medição das grandezas intermédias e de saída com base nos métodos e expressões apresentadas em [4];
8. representação gráfica das curvas de ensaio, do valor de estabilidade máxima e da tangente à curva;
9. validação dos resultados obtidos para as grandezas estabilidade máxima corrigida e deformação;
10. caso o processo de validação apresente um resultado negativo, o operador é informado que o ensaio realizado é inválido, sendo impedida a apresentação, no boletim de ensaio, dos dados de saída produzidos pela aplicação;
11. caso o processo de validação apresente um resultado positivo, o operador é informado que o ensaio realizado é válido, sendo apresentados, no boletim de ensaio, os dados de saída produzidos pela aplicação;
12. execução, no boletim de ensaio, da rotina de impressão.

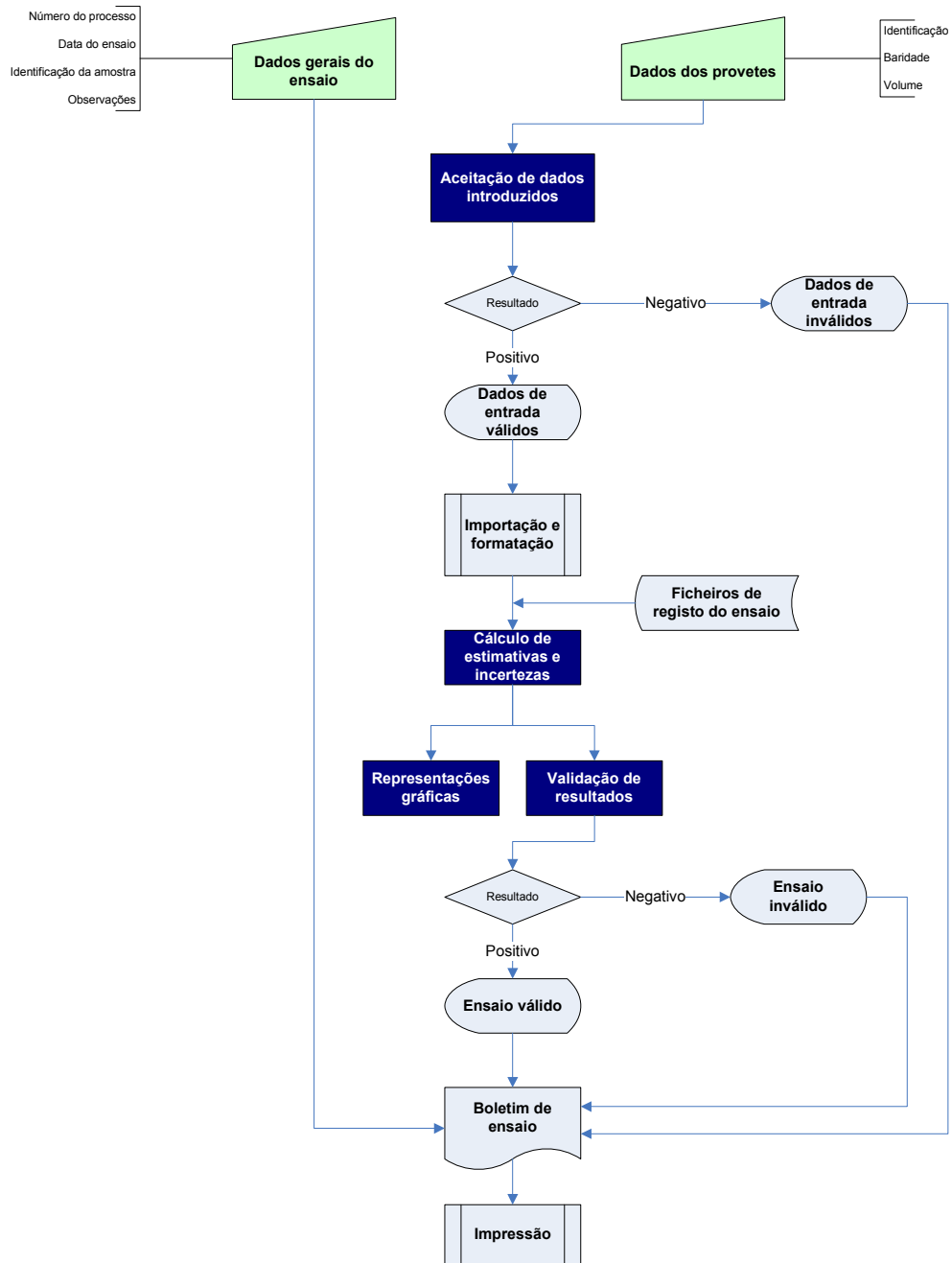


Figura 2 – Fase de processamento e cálculo do algoritmo utilizado.

## 5. CONCRETIZAÇÃO COMPUTACIONAL

A concretização do algoritmo computacional exposto no Capítulo anterior é suportada na criação de um conjunto de nove folhas de cálculo em ambiente Microsoft® Office Excel 2003®, cuja caracterização é efectuada nas secções seguintes.

### 5.1 Folha de cálculo Menu de Entrada

#### 5.1.1. Conteúdo

A folha de cálculo *Menu de Entrada* define a interface inicial entre o operador e a aplicação Marshall Calc, após abertura com recurso ao programa Microsoft® Office Excel 2003®, conforme ilustrado na Figura 3.

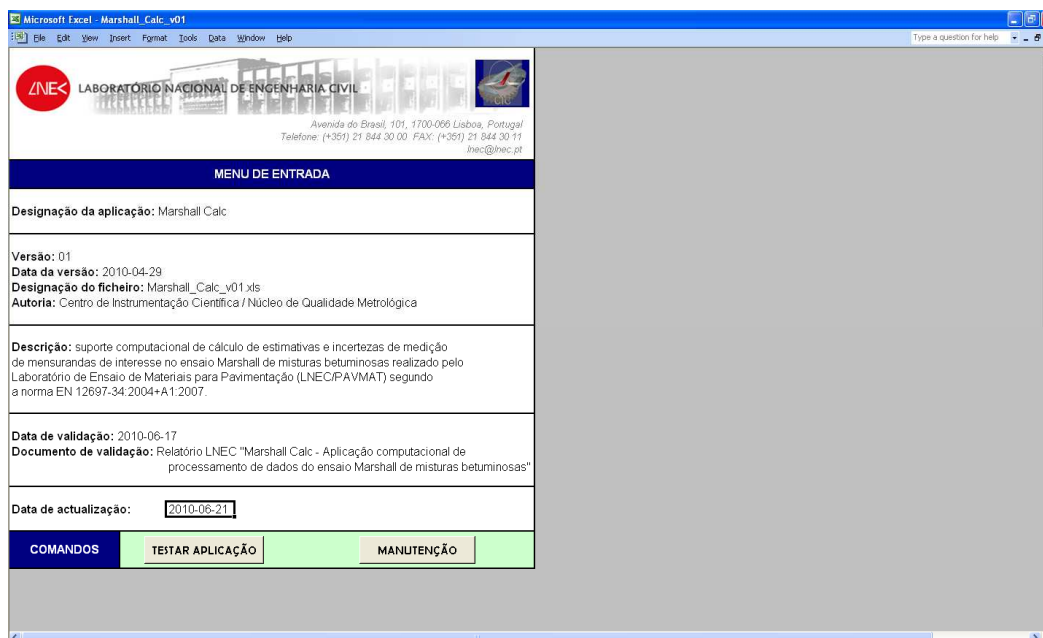


Figura 3 – Folha de cálculo Menu de Entrada.

Esta folha contém os elementos essenciais à caracterização da aplicação desenvolvida, nomeadamente:

- designação da aplicação e do respectivo ficheiro electrónico;
- versão e data;
- identificação, logótipos e contactos da entidade responsável pela concepção e desenvolvimento da aplicação;
- descrição sumária de enquadramento e utilização;

- data e documento de validação;
- data de actualização.

Importa referir que, esta folha de cálculo tem um carácter informativo de base, com campos cujo conteúdo é essencialmente dedicado a informação relativa à concepção e desenvolvimento da aplicação, de acordo com os requisitos normativos habituais associados aos sistemas de gestão (da qualidade). Salienta-se a inexistência de células com conteúdo invisível ao operador ou células dedicadas ao cálculo de variáveis.

#### 5.1.2. Comandos

Na folha de cálculo *Menu de Entrada* é possível proceder à execução de duas rotinas distintas através dos comandos **TESTAR APLICAÇÃO** e **MANUTENÇÃO**. A primeira concretiza o teste de avaliação de integridade da aplicação desde a última utilização e efectua a sua inicialização assegurando, caso o teste seja bem sucedido, o acesso à folha de cálculo *Tabela Geral*. A segunda rotina assegura o acesso à folha de cálculo *Manutenção*, na qual o operador pode proceder à actualização de elementos relativos à manutenção da aplicação.

#### 5.1.3. Protecção

Todas as células da folha de cálculo *Menu de Entrada* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas ao nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

#### 5.1.4. Fluxo de informação

Na presente folha de cálculo verifica-se uma entrada de informação relativa à célula “Data de actualização” proveniente da folha de cálculo *Manutenção*.

## **5.2 Folha de cálculo Manutenção**

### 5.2.1 Conteúdo

A folha de cálculo *Manutenção*, apresentada na Figura 4, contém um conjunto de elementos que asseguram a manutenção da aplicação computacional no que respeita ao

equipamento de ensaio e cadeias de medição de estabilidade e deformação associadas e, ainda, dados relativos às medições de baridade dos provetes de ensaio. Deste modo, permite que o operador da aplicação (gestão laboratorial) actualize a seguinte informação relativa a:

- data de actualização;
- identificação da máquina de compressão uniaxial:
  - marca;
  - modelo;
  - número de série.
- dados da cadeia de medição de estabilidade:
  - identificação do transdutor de força;
  - certificado de calibração;
  - rastreabilidade;
  - gama de medição;
  - componentes de incerteza de medição padrão:
    - calibração do transdutor de força;
    - limite de variação dos desvios de calibração.
- dados da cadeia de medição de deformação:
  - identificação do transdutor de deslocamento;
  - certificado de calibração;
  - rastreabilidade;
  - gama de medição;
  - componentes de incerteza de medição padrão:
    - calibração do transdutor de deslocamento;
    - limite de variação dos desvios de calibração.
- dados da medição de baridade:
  - incerteza de medição padrão;

- o graus de liberdade efectivos.

Salienta-se que, nesta folha de cálculo, não existem células com conteúdo invisível ao operador nem células dedicadas ao cálculo de variáveis.

MANUTENÇÃO	
Data de actualização	2010-06-21
Identificação da máquina de compressão uniaxial	
Marca	PROJETI
Modelo	S-03731A
N.º de série	02M2459
Dados da cadeia de medição de estabilidade	
Identificação do transdutor de força	EQ22.3
Certificado de calibração	8309
Rastreabilidade	LMP/LNEC - HBM - DHD
Gama de medição	0 kN a 50 kN
Componentes de incerteza de medição padrão	
Calibração do transdutor de força (% do valor lido)	0,00275
Limite de variação das correcções (kN)	0,06
Dados da cadeia de medição de deformação	
Identificação do transdutor de deslocamento	EQ22.4
Certificado de calibração	487/2008
Rastreabilidade	LCAM/LNEC - IPQ
Gama de medição	0 mm a 250 mm
Componentes de incerteza de medição padrão	
Calibração do transdutor de deslocamento (mm)	0,003
Limite de variação das correcções (mm)	0,02
Dados das medições de baridade dos provetes de ensaio	
Incerteza de medição padrão (kg/m³)	10,5
Graus de liberdade efectivos	39

Figura 4 – Folha de cálculo *Manutenção*.

## 5.2.2 Comandos

A folha de cálculo *Manutenção* dispõe de comando **MENU DE ENTRADA** para execução de rotina de acesso à respectiva folha de cálculo.

## 5.2.3 Protecção

As células que constituem a folha de cálculo *Manutenção* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

## 5.2.4 Fluxo de informação

No que respeita ao fluxo de informação estabelecido com outras folhas de cálculo constituintes da aplicação, existem processos para a transferência dos seguintes dados:



- data de actualização, para a folha de cálculo *Menu de Entrada*;
- marca, modelo e número de série do equipamento de ensaio, identificação, rastreabilidade, gama de medição e certificado de calibração das cadeias de estabilidade e deformação para a folha de cálculo *Boletim de Ensaio*;
- incertezas de medição padrão de calibração dos transdutores de força e deslocamento para as folhas de cálculo *Tabelas de Incertezas de Medição* associadas a cada um dos quatro provetes de ensaio;
- limites de variação dos desvios de calibração dos transdutores de força e deslocamento para as folhas de cálculo *Tabelas de Incertezas de Medição* associadas a cada um dos quatro provetes de ensaio;
- incerteza de medição padrão da grandeza baridade e respectivos graus de liberdade efectivos para a folha de cálculo *Validação de Resultados*.

### **5.3 Folha de cálculo Dados para Verificação**

#### 5.3.1 Conteúdo

A folha de cálculo *Dados para Verificação*, apresentada na Figura 5, contém o conjunto de dados de entrada e de saída de referência que são utilizados no âmbito da operação de verificação da integridade da aplicação, efectuada por activação do comando **TESTAR APLICAÇÃO** presente na folha de cálculo *Menu de Entrada*.

O conjunto de dados de entrada relativos aos quatro provetes de ensaio é composto pelas estimativas de referência das grandezas baridade, volume, estabilidade, deformação e tempo de ensaio. Por sua vez, o conjunto de dados de saída é composto pelas correspondentes estimativas, factores de expansão e incertezas de medição expandidas de referência de deformação tangencial e quociente Marshall.

Este conjunto de dados é comparado com o conjunto de dados de saída de referência mencionado anteriormente (*vide* Figura 6). A identidade entre ambos determina a conclusão de que a integridade da aplicação se mantém.

Salienta-se, nesta folha de cálculo, a inexistência de células com conteúdo invisível ao operador. Note-se a existência de uma célula dedicada ao cálculo de uma variável lógica relativa à comparação entre os dados de saída calculados e os dados de saída de referência.

Microsoft Excel - Marshall Calc\_v01

Marshall Calc

Versão: 01

Data de versão: 2010-04-29

Autoria: LNEOCICANQM

**DADOS PARA VERIFICAÇÃO**

Volume (m³)				Barrida (g/m³)			
Proveito 1	Proveito 2	Proveito 3	Proveito 4	Proveito 1	Proveito 2	Proveito 3	Proveito 4
483,1	490,7	490,4	490,5	2449	2451	2452	2452

Proveito 1		Proveito 2		Proveito 3		Proveito 4					
S	t	S	t	S	t	S	t				
95,353	480	744	98,032	454	457	93,585	476	794	106,347	486	410
52,925	1117	47,255	891,908	1183	20770	379,025	1204	37684	1716,466	1812	23027
136,1980	1817	11610	2067,451	1938	8054	793928	1877	9792	3923233	3028	7613
2976,467	2715	14522	391,3639	2005	10227	1907887	2698	12218	6817465	4149	9752
62257,35	3689	8965	8005,205	3539	8795	3617070	3634	7631	3951095	5359	7615
10107,590	5000	9240	8299421	4186	6917	6442902	4663	6206	13359190	5873	8324
14882140	6067	8886	12677220	5034	8917	9113334	5504	7910	16517090	6640	8760
21110030	7102	9670	17651110	5918	7559	117135010	6187	8284	24632140	7854	9715
28905450	8248	10479	22749300	6838	8388	15248710	6946	8829	31474740	8914	10763
36987850	9342	11586	28153850	7490	9012	19944500	7811	9675	37057140	9752	11654
43777840	10341	12469	32377610	8088	9629	25726200	8803	10712	42812530	10604	12589
49298900	10961	13236	38419240	8809	10355	31469200	9746	11742	49025200	11530	13649
55057600	11730	14094	44777720	9772	11499	36849910	10618	12713	55516150	12519	14786
61626440	12695	15149	52119410	10794	12645	41507440	11364	13568	62010880	13568	15999
68471630	13861	16301	61451660	11540	13609	46934660	12012	14281	67912570	14578	17171
75717390	14834	17563	62870470	12341	14431	48951260	12574	14834	74247860	15746	18530
82123050	15938	18929	68486230	13224	15449	52486240	13163	15612	79678910	16845	19810
88869720	17116	20301	73867830	14137	16489	56401950	13844	16394	85243340	17859	21186
95430800	18108	21457	79564490	15160	17576	60480640	14590	17236	90304410	18900	22419
97967180	19104	22616	84304810	16088	18741	64237840	15283	18039	95246840	20287	23811
1,02E+08	20070	23739	89236200	17116	19926	67396220	15990	18787	99784950	21447	25158
1,08E+08	21037	24658	93844950	18084	21038	70114340	16456	19584	1,05E+08	22389	26256
1,08E+08	21992	25662	97652220	18996	22079	73401960	17147	20179	1,08E+08	23131	27115
1,12E+08	22896	26989	1,01E+08	19910	23129	76624440	17874	21011	1,08E+08	23905	28018
1,15E+08	23786	28037	1,04E+08	20695	24036	79934600	18649	21901	1,11E+08	24632	28931
1,17E+08	24725	29112	1,07E+08	21538	25019	82731590	19399	22693	1,14E+08	25629	30024
1,2E+08	25759	30388	1,11E+08	22500	26125	85408190	20021	23471	1,16E+08	26542	31067
1,22E+08	26847	31667	1,14E+08	23513	27285	87937950	20662	24223	1,19E+08	27469	32168
1,24E+08	27940	33032	1,16E+08	24449	28373	90007590	21236	24856	1,21E+08	28346	33077
1,27E+08	29186	34266	1,19E+08	25289	29338	92263250	21863	25572	1,23E+08	29119	34097
1,29E+08	30388	35676	1,21E+08	26137	30311	94761070	22606	26426	1,25E+08	29922	35043
1,31E+08	31760	37069	1,23E+08	27119	31430	97486590	23457	27440	1,27E+08	31008	36110
1,33E+08	32976	38680	1,26E+08	28182	32653	1E+08	24472	28568	1,28E+08	31988	37453

Def. Tangencial		Quociente Marshall			
Estimativa	k	U <sub>g</sub> %	Estimativa	k	U <sub>g</sub> %
2,2	2,00	0,31	3,1	2,16	0,22

Def. Tangencial		Quociente Marshall			
Estimativa	k	U <sub>g</sub> %	Estimativa	k	U <sub>g</sub> %
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Variável lógica de verificação:

Figura 5 – Folha de cálculo Dados para Verificação.

Def. Tangencial		Quociente Marshall			
Estimativa	k	U <sub>g</sub> %	Estimativa	k	U <sub>g</sub> %
2,2	2,00	0,31	3,1	2,16	0,22

Def. Tangencial		Quociente Marshall			
Estimativa	k	U <sub>g</sub> %	Estimativa	k	U <sub>g</sub> %
#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!

Variável lógica de verificação:

Figura 6 – Pormenor da folha de cálculo Dados para Verificação.

### 5.3.2 Comandos

A folha de cálculo *Dados para Verificação* não possui comandos para execução de rotinas.

### 5.3.3 Protecção

Todas as células da folha de cálculo *Dados para Verificação* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

### 5.3.4 Fluxo de informação

O fluxo de saída de informação estabelecido com outras folhas de cálculo incorporadas na aplicação resulta da transferência dos seguintes conteúdos:

- estimativas de referência das grandezas baridade e volume de quatro provetes de ensaio para a folha de cálculo *Tabela Geral*;
- registo de estimativas de referência de estabilidade, deformação e tempo de ensaio de quatro provetes para as respectivas folhas de cálculo *Importação e Formatação de Dados*.

O fluxo de entrada de informação promove, de forma equivalente ao de saída, a transferência dos seguintes conteúdos:

- estimativa, factor de expansão e incerteza de medição padrão da deformação tangencial provenientes da folha de cálculo *Validação de Resultados*;
- estimativa, factor de expansão e incerteza de medição padrão do quociente Marshall provenientes da folha de cálculo *Validação de Resultados*.

## **5.4 Folha de cálculo *Tabela Geral***

### 5.4.1 Conteúdo

A folha de cálculo *Tabela Geral*, apresentada na Figura 7, visa a introdução de dados de entrada relevantes para a caracterização específica de cada ensaio de compressão Marshall, designadamente:

- número do processo do cliente;
- data de ensaio;
- identificação da amostra;
- identificação dos provetes e respectivas estimativas de baridade e volume;
- observações.

Esta folha apresenta, em particular, uma secção dedicada à validação dos dados relativos às estimativas da baridade e volume dos provetes de ensaio. Este processo é suportado no cálculo de variáveis lógicas onde se avalia se todas as estimativas introduzidas estão compreendidas em intervalos de valores aceitáveis para a grandeza em causa. Os limites superior e inferior dos referidos intervalos, bem como algumas variáveis lógicas auxiliares, encontram-se definidos em células com conteúdo invisível ao operador.

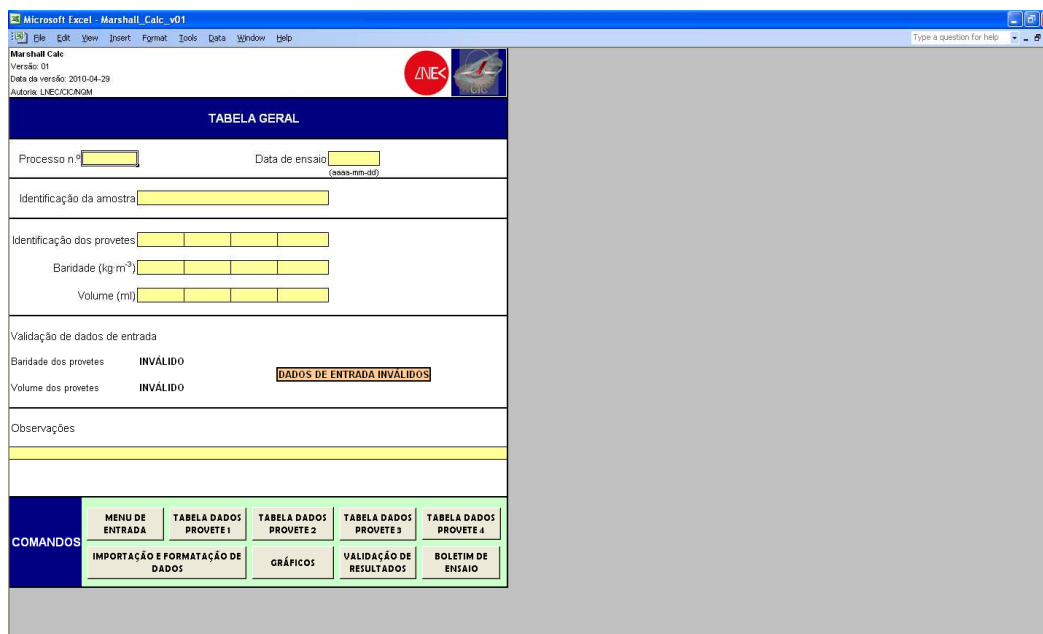


Figura 7 – Folha de cálculo Tabela Geral.

#### 5.4.2 Comandos

O acesso a outras folhas de cálculo é assegurado por um conjunto de comandos dedicados (**MENU DE ENTRADA, TABELA DADOS PROVETE 1, TABELA DE DADOS PROVETE 2, TABELA DE DADOS PROVETE 3, TABELA DE DADOS PROVETE 4, GRÁFICOS, VALIDAÇÃO DE RESULTADOS, BOLETIM DE ENSAIO**).

Um comando particularmente relevante que foi desenvolvido neste processo designa-se por **IMPORTAÇÃO E FORMATAÇÃO DE DADOS**. A sua importância particular decorre deste ser associado a uma função macro (crítica para a integridade dos dados) que concretiza a interface com o sistema de medição, garantindo a execução automática da operação de importação e formatação dos dados experimentais que se encontram em quatro ficheiros de registo provenientes do sistema de medição associado do ensaio de compressão Marshall.

#### 5.4.3 Protecção

Com excepção das células relativas à introdução de dados de entrada (explicitadas na secção 5.4.1), todas as restantes células que constituem a folha de cálculo *Tabela Geral* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

#### 5.4.4 Fluxo de informação

O fluxo de saída de informação estabelecido com outras folhas de cálculo agrupa três vertentes:

- transferência de informação para a folha de cálculo *Boletim de Ensaio* (n.º de processo, data de ensaio, identificação da amostra e observações, resultado do processo de validação de dados de entrada);
- transferência de informação para as quatro folhas de cálculo *Tabela de Incertezas de Medição* (identificação e estimativas de volume dos provetes de ensaio);
- transferência de informação para a folha de cálculo *Validação de Resultados* (estimativas de baridade dos provetes de ensaio).

### **5.5 Folhas de cálculo Importação e Formatação de Dados**

#### 5.5.1 Conteúdo

As folhas de cálculo *Importação e Formatação de Dados* apresentam um conjunto de células para importação dos registos de estabilidade, deformação e tempo obtidos com a realização do ensaio de compressão Marshall de um dado provete de ensaio (*vide* Figura 8). O preenchimento destas células é efectuado automaticamente por execução da rotina **IMPORTAÇÃO E FORMATAÇÃO DE DADOS**.

Estas folhas possuem, igualmente, um conjunto de células com conteúdo não disponibilizado ao operador que visam a determinação dos pontos experimentais (estabilidade, deformação) de interesse da curva de ensaio registada, nomeadamente, os quatro pontos em torno do ponto de inflexão e os dois pontos entre os quais se verifica a ocorrência do máximo, conforme ilustrado na Figura 9.

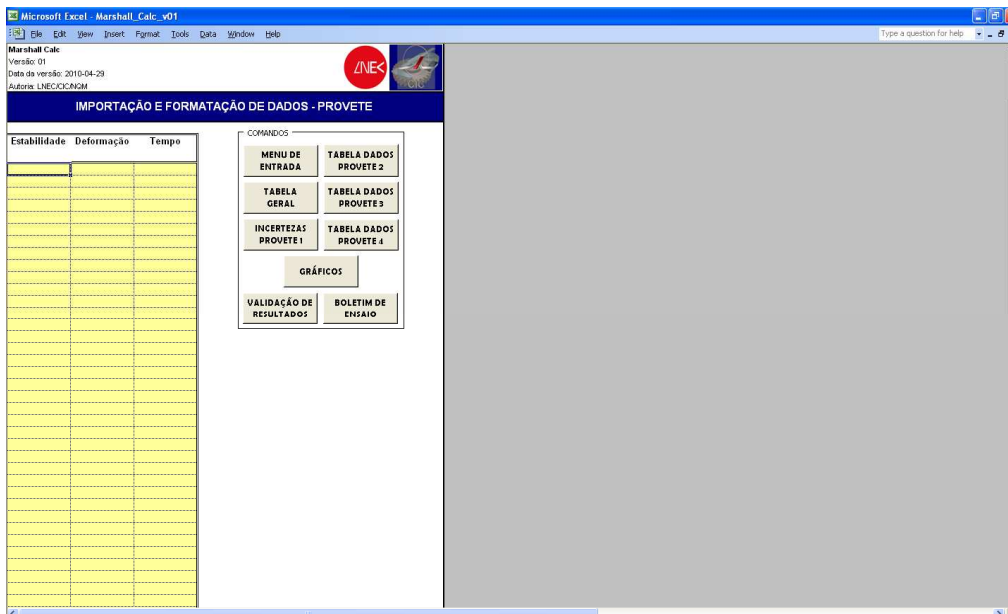


Figura 8 – Folha de cálculo Importação e Formatação de Dados.

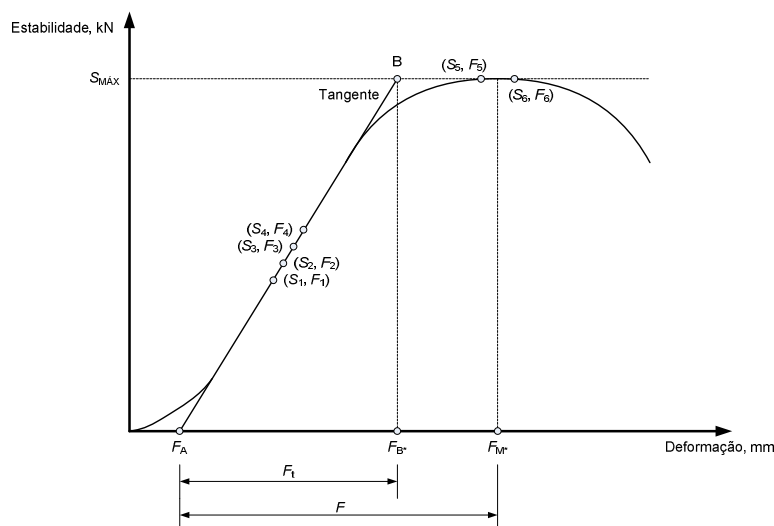


Figura 9 – Pontos experimentais de interesse da curva do ensaio de compressão Marshall.

Tendo em vista este objectivo, foram definidas as seguintes colunas de células:

- estabilidade, tempo e deformação – constituem cópias de trabalho das colunas de células originais de importação de dados, visando evitar a sua corrupção com a execução dos cálculos de identificação dos pontos experimentais de interesse;
- primeira derivada – é composta por células de cálculo da primeira derivada da estabilidade em ordem à deformação; o cálculo é suportado no rácio entre a

diferença de estimativas consecutivas de estabilidade e a diferença de estimativas consecutivas de deformação;

- eliminação de transiente – coluna constituída pelos valores da primeira derivada da estabilidade em ordem à deformação obtidos para tempos de ensaio superiores a 20 % do tempo total de ensaio;
- detecção de alteração do sinal da derivada – permite identificar os pontos da curva entre os quais se verifica a alteração de positivo para negativo da primeira derivada da curva;
- variável auxiliar – suporta a determinação do primeiro par de pontos experimentais detectado na coluna anterior (corresponde ao primeiro máximo local da curva); note-se que a zona da curva com valores máximos de estabilidade apresenta, frequentemente, instabilidades locais decorrentes do fenómeno de rotura do provete de que resultam diversos máximos locais; na aplicação desenvolvida considera-se o primeiro máximo local registado como representativo do valor máximo de estabilidade ao qual se dá a rotura do provete de ensaio;
- estabilidade e deformação – contém os valores das estimativas de estabilidade e deformação dos dois pontos experimentais entre os quais se situa o primeiro máximo local da curva;
- selecção de zona de interesse – coluna composta pelos valores da primeira derivada da estabilidade em ordem à deformação compreendidos no intervalo 5 kN/mm a 15 kN/mm (intervalo usual do declive da tangente à curva no ensaio Marshall);
- detecção de inflexão – permite identificar os pontos da curva entre os quais se verifica a alteração de positivo para negativo da segunda derivada da curva;
- variável auxiliar – suporta a determinação do último par de pontos experimentais detectado na coluna anterior (mais afastada da zona transiente);
- estabilidade e deformação – contém os valores das estimativas de estabilidade e deformação dos quatro pontos experimentais entre os quais se situa o ponto de inflexão.

### 5.5.2 Comandos

Os comandos existentes nas folhas de *Importação e Formatação de Dados* permitem apenas executar rotinas de acesso a outras folhas de cálculo (*Menu de Entrada, Tabela Geral, Importação e Formatação de Dados* dos restantes três provetes de ensaio, *Tabelas de Incerteza de Medição* do provete em questão, *Representações Gráficas, Validação de Resultados e Boletim de Ensaio*).

### 5.5.3 Protecção

Com excepção das células constituintes das colunas de estabilidade, deformação e tempo, preenchidas automaticamente por rotina dedicada, as restantes células encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

### 5.5.4 Fluxo de informação

Nas folhas de cálculo do tipo *Importação e Formatação de Dados*, o fluxo de entrada de informação é constituído pelas estimativas de estabilidade, deformação e tempo contidos nos ficheiros de registo obtidos no equipamento de ensaio.

O fluxo de saída de informação para as respectivas folhas de cálculo do tipo *Tabelas de Incerteza de Medição* é composto pelas estimativas de estabilidade e deformação dos pontos experimentais de interesse ilustrados na Figura 9.

## **5.6 Folhas de cálculo Tabelas de Incerteza de Medição**

### 5.6.1 Conteúdo

As folhas de cálculo do tipo *Tabelas de Incerteza de Medição* traduzem o balanço de incertezas de medição efectuado de acordo com o método convencional exposto no GUM [5], o qual é concretizado para as duas grandezas de saída do ensaio Marshall: a deformação tangencial e o quociente Marshall.

De modo a alcançar este objectivo, cada folha de cálculo dispõe de um conjunto de células dedicadas (*vide* Figura 10) ao cálculo das estimativas, incertezas de medição padrão, coeficientes de sensibilidade, incertezas de medição combinada, graus de liberdade efectivos,



factores de expansão e incertezas de medição expandidas, abrangendo as grandezas de entrada, intermédias e de saída envolvidas no ensaio.

Destaca-se, igualmente, o conjunto de células dedicadas à concretização do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) na determinação da matriz de variância-covariância (*vide* Figura 11) associada à parametrização das grandezas declive e ordenada na origem da tangente à curva de ensaio, nomeadamente, o coeficiente de correlação entre ambas.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	FDP*	Estimativa $x_i$	Incerteza de medição $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidade $c_i$	Contribuição p/ incerteza $u(y)$	Graus de liberdade $\nu_i$	Fonte de informação
$F_b$	Deformação no ponto b	N	#DIV/0! mm	#DIV/0! mm	1	#DIV/0! mm	#DIV/0!	Incerteza combinada
$\delta b$	Ordenada na origem (tangente)	N	#DIV/0! kN	#DIV/0! kN	#DIV/0! mm/kN	#DIV/0! mm	50	Método dos mínimos quadrados
$\delta m$	Declive (tangente)	N	#DIV/0! kN/mm	#DIV/0! kN/mm	#DIV/0! mm <sup>2</sup> /kN	#DIV/0! mm	50	Método dos mínimos quadrados
$\delta S_m$	Estabilidade máxima	N	0,000 kN	0,020 kN	#DIV/0! mm/kN	#DIV/0! mm	100	Incerteza combinada
$\delta S_p$	Estabilidade ponto S	N	0,000 kN	0,020 kN	0,5	0,0144 kN	50	Incerteza combinada
$\delta S_{cal}$	Calibração do transdutor de força	N	0 kN	0,000 kN	1	0,000 kN	50	Certificado de calibração
$\delta S_{cor}$	Correcções de desvios de cal.	R	0 kN	0,020 kN	1	0,020 kN	50	Certificado de calibração
$\delta S_{lin}$	Linearidade do transdutor	R	0 kN	0,00000 kN	1	0,00000 kN	50	Especificações técnicas
$\delta S_p$	Estabilidade ponto S	N	0,000 kN	0,020 kN	0,5	0,0144 kN	50	Incerteza combinada
$\delta S_{cal}$	Calibração do transdutor de força	N	0 kN	0,000 kN	1	0,000 kN	50	Certificado de calibração
$\delta S_{cor}$	Correcções de desvios de cal.	R	0 kN	0,020 kN	1	0,020 kN	50	Certificado de calibração
$\delta S_{lin}$	Linearidade do transdutor	R	0 kN	0,00000 kN	1	0,00000 kN	50	Especificações técnicas
$F_a$	Deformação ponto a	N	#DIV/0! mm	#DIV/0! mm	-1	#DIV/0! mm	#DIV/0!	Incerteza combinada
$\delta b$	Ordenada na origem (tangente)	N	#DIV/0! kN	#DIV/0! kN	#DIV/0! mm/kN	#DIV/0! mm	50	Método dos mínimos quadrados

Figura 10 – Folha de cálculo Tabela de Incertezas de Medição.

**MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIANCIA DA REGRESSÃO LINEAR PELO MMQ**  
Tangente à curva estabilidade - deformação:  $S = mF + b$

Variáveis auxiliares									
$S_{ik}$	$F_{ik}$	$(S_{ik} - S_{médio})$	$(F_{ik} - F_{médio})$	$(F_{ik} - F_{médio})^2$	$S(F_{ik})$	$S_{ik} - S(F_{ik})$	$[S_{ik} - S(F_{ik})]^2$	$(S_{ik} - S_{médio})(F_{ik} - F_{médio})$	
(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	(kN)	(kN)	(kN <sup>2</sup> )	(kN·mm)	
3,236	0,809	-0,965	-0,130	0,017	3,240	-0,002	0,00000	0,124	
3,842	0,891	-0,351	-0,048	0,002	3,841	0,001	0,00000	0,017	
4,478	0,977	0,285	0,038	0,001	4,473	0,004	0,00002	0,011	
5,212	1,078	1,020	0,140	0,019	5,215	-0,003	0,00001	0,142	
$\Sigma$	16,769	3,756	0,000	0,000	0,040	16,769	0,000	0,00003	0,294

**Matriz variância-covariância**

var (b)	cov(b, m)	0,0003912	-0,000367	kn <sup>2</sup>	kn <sup>2</sup> /mm
cov(b, m)	var (m)	-0,000367	0,0003487	kn <sup>2</sup> /mm	kn <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>

**Parametrização da tangente**

Parâmetro	Estimativa do parâmetro	Incerteza de medição padrão
Declive, m (kN/mm)	7,326	0,019
Ordenada na origem, b (kN)	-2,685	0,020

**Coefficiente de correlação:** -0,994

Figura 11 – Pormenor da secção da folha de cálculo Tabela de Incertezas de Medição dedicada à determinação da matriz de variância-covariância.

### 5.6.2 Comandos

Os comandos existentes nas folhas do tipo *Tabelas de Incerteza de Medição* visam apenas garantir o acesso a outras folhas de cálculo, designadamente, as folhas *Menu de Entrada, Tabela Geral, Importação e Formatação de Dados* do respectivo provete de ensaio, *Representações Gráficas, Validação de Resultados* e *Boletim de Ensaio*.

### 5.6.3 Protecção

Todas as células constituintes das folhas de cálculo do tipo *Tabelas de Incerteza de Medição* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

### 5.6.4 Fluxo de informação

O fluxo de entrada de informação na folha de cálculo *Tabelas de Incerteza de Medição* é composto por:

- estimativas do volume dos provetes de ensaio provenientes da folha de cálculo *Tabela Geral*;
- estimativas de estabilidade e deformação dos pontos experimentais de interesse da curva de ensaio de cada provete identificados nas respectivas folhas de cálculo *Importação e Formatação de Dados*;
- incertezas de medição associadas às calibrações dos transdutores de força e deslocamento definidas na folha de cálculo *Manutenção*;
- limites de variação da componente de incerteza associada aos desvios de calibração dos transdutores de força e deslocamento, conforme estabelecidos na folha de cálculo *Manutenção*.

No que respeita ao fluxo de saída, este é composto pelas estimativas, incertezas de medição padrão e graus de liberdade efectivos das grandezas de interesse estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall, sendo dirigido para a folha de cálculo *Validação de Resultados*.

## 5.7 Folha de cálculo Validação de Resultados

### 5.7.1 Conteúdo

Esta folha de cálculo apresenta duas secções distintas. A primeira (*vide* Figura 12) evidencia o resultado do processo de validação dos dados obtidos com o ensaio Marshall, associados aos quatro provetes de ensaio representativos da amostra betuminosa em estudo e de acordo com os critérios estabelecidos na norma de referência [6]. No caso do processo de validação anterior conduzir à decisão de aceitação, acede-se à segunda secção (apresentada na Figura 13) dedicada ao cálculo das estimativas, incertezas de medição padrão, graus de liberdade efectivos e factores de expansão das grandezas de interesse associadas à amostra betuminosa.

Microsoft Excel - Marshall\_Calc\_v01

Marshall Calc  
Versão: 01  
Data da versão: 2010-04-29  
Autoria: LNEC/CIC/N2M

TABELA GERAL GRÁFICOS BOLETIM DE ENSAIO

### VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

#### ESTABILIDADE MÁXIMA CORRIGIDA

Estimativas (kN):	17,4	15,7	15,4	15,4
Valor médio (kN):	16,0			
Desvio percentual em relação ao valor médio:	8,9%	1,7%	3,6%	3,6%
Validade da estimativa:	Válido	Válido	Válido	Válido

Rejeição de provetes: **NÃO**

Estimativas (kN):	17,4	15,7	15,4	15,4
Valor médio (kN):	16,0			
Desvio percentual em relação ao valor médio:	8,9%	1,7%	3,6%	3,6%
Validade da estimativa:	Válido	Válido	Válido	Válido

Validação dos resultados de estabilidade corrigida: **Estabilidades válidas**

#### DEFORMAÇÃO

Estimativas (mm):	11,0	5,1	5,2	5,2
Valor médio (mm):	6,6			
Desvio percentual em relação ao valor médio:	66,0%	23,0%	21,5%	21,5%
Validade da estimativa:	Inválido	Inválido	Inválido	Inválido

Rejeição de provetes: **SIM**

Estimativas (mm):	0,0	5,1	5,2	5,2
Valor médio (mm):	5,2			
Desvio percentual em relação ao valor médio:	Rejeitado	1,3%	0,6%	0,6%
Validade da estimativa:	Rejeitado	Válido	Válido	Válido

Validação dos resultados de deformação: **Deformações válidas**

Figura 12 – Folha de cálculo Validação de Resultados.

O processo de validação de resultados é suportado num conjunto de células de cálculo (valores médios da amostra de resultados, estabilidade máxima corrigida, deformação e respectivos desvios percentuais) e de células contendo operações lógicas (dedicadas à detecção de valores nulos, aceitação e rejeição de provetes, número de provetes válidos e à validade das amostras, das sub-amostras e do ensaio).

Nesta folha de cálculo encontram-se duas células de gestão, não acessíveis ao operador, onde se encontram pré-definidas as constantes correspondentes aos valores normativos de desvio percentual máximo admissível para as estimativas individuais de estabilidade e deformação. Estas células fornecem os termos de comparação aplicados nos critérios que determinam a validação dos dados.

Na segunda secção destaca-se a existência de um outro conjunto de células (não disponível ao operador), onde se efectua o cálculo dos desvios-padrão experimentais da amostras das grandezas baridade, estabilidade máxima corrigida, deformação tangencial, deformação e quociente Marshall.

VALIDAÇÃO DO ENSAIO: Ensaio válido	
Número de provetes válidos:	3
<b>BARIDADE</b>	
Estimativa (kg/m <sup>3</sup> ):	2500
Incerteza de medição padrão (kg/m <sup>3</sup> ):	5,1
Graus de liberdade efectivos:	13
Factor de expansão:	2,16
<b>DEFORMAÇÃO TANGENCIAL</b>	
Estimativa (mm):	2,2
Incerteza de medição padrão (mm):	0,15
Graus de liberdade efectivos:	65
Factor de expansão:	2,00
<b>DEFORMAÇÃO</b>	
Estimativa (mm):	5,2
Incerteza de medição padrão (mm):	0,13
Graus de liberdade efectivos:	14
Factor de expansão:	2,16
<b>ESTABILIDADE MÁXIMA CORRIGIDA</b>	
Estimativa (kN):	15,5
Incerteza de medição padrão (kN):	0,29
Graus de liberdade efectivos:	10
Factor de expansão:	2,26
<b>QUOCIENTE MARSHALL</b>	
Estimativa (kN/mm):	3,0
Incerteza de medição padrão (kN/mm):	0,10
Graus de liberdade efectivos:	13
Factor de expansão:	2,16

Figura 13 – Pormenor da folha de cálculo *Validação de Resultados* dedicada à determinação das incertezas de medição da amostra ensaiada.

## 5.7.2 Comandos

A folha de cálculo *Validação de Resultados* contém comandos de acesso às seguintes folhas de cálculo: *Tabela Geral*, *Representações Gráficas* e *Boletim de Ensaio*.

## 5.7.3 Protecção

Todas as células da folha de cálculo *Validação de Resultados* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

#### 5.7.4 Fluxo de informação

O fluxo de entrada de informação na folha de cálculo *Validação de Resultados* é composto por:

- estimativas, incertezas de medição padrão e graus de liberdade das grandezas estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall de cada um dos quatro provetes ensaiados e cujos resultados constam nas respectivas folhas de cálculo *Tabelas de Incerteza de Medição*;
- estimativas de baridade dos provetes de ensaio provenientes da folha de cálculo *Tabela Geral*.
- incerteza de medição padrão da grandeza baridade do provete de ensaio, definida na folha de cálculo *Manutenção*.

Por sua vez, o fluxo de saída de informação, exclusivamente direccionado para a folha de cálculo *Boletim de Ensaio*, é composto pelas seguintes estimativas: factores de expansão e incertezas de medição padrão das grandezas baridade, estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall associadas à amostra betuminosa ensaiada.

### **5.8 Folha de cálculo Representações Gráficas**

#### 5.8.1 Conteúdo

Esta folha de cálculo, exposta na Figura 14, apresenta as representações gráficas das curvas de ensaio de estabilidade vs deformação de cada um dos provetes ensaiados, nas quais se destaca a apresentação do traçado da tangente à curva e da indicação dos valores máximos de estabilidade.

Importa referir que o conjunto de dados que suporta a construção destes gráficos se encontra disponível em colunas dedicadas da presente folha de cálculo, embora não disponibilizadas ao operador da aplicação. Para a construção da tangente recorre-se às estimativas iniciais de deformação do provete e, com base nas estimativas de declive e ordenada na origem (obtidas anteriormente com recurso ao processamento dos dados experimentais), são determinados e apresentados os respectivos valores de estabilidade.

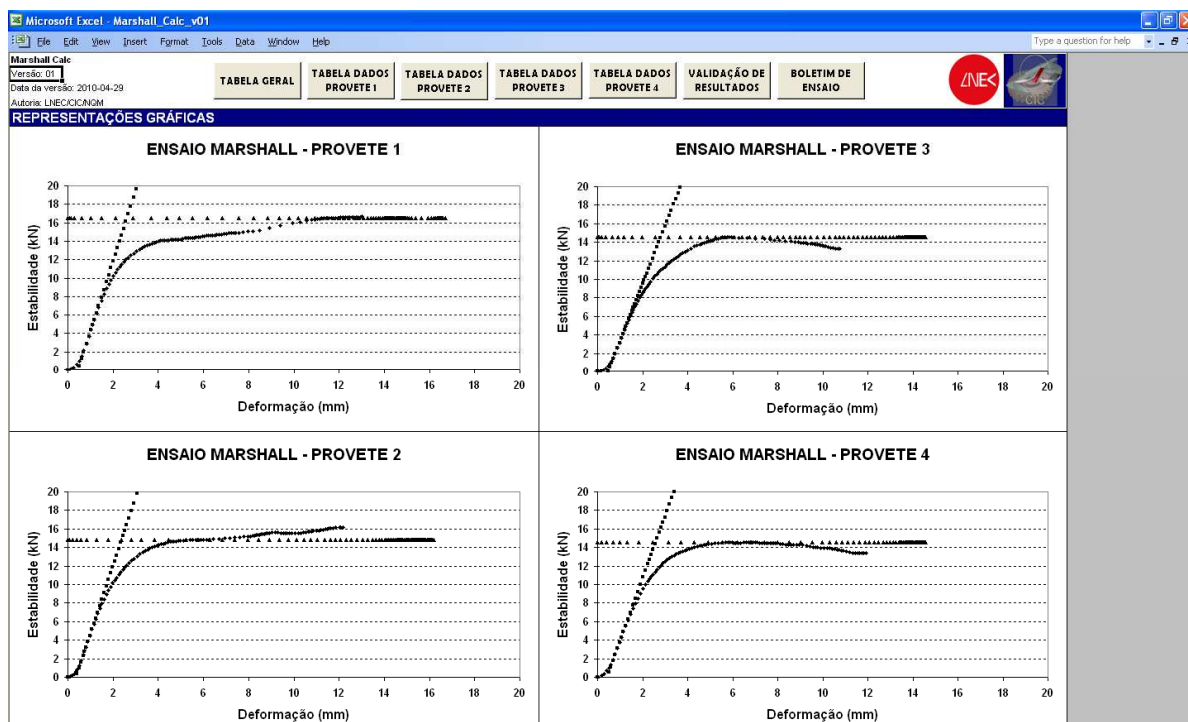


Figura 14 – Pormenor da folha de cálculo *Validação de Resultados* dedicada à determinação das incertezas de medição da amostra ensaiada.

### 5.8.2 Comandos

A folha de cálculo *Representações Gráficas* dispõe de um conjunto de comandos de acesso às seguintes folhas de cálculo: *Tabela Geral*, *Importação e Formatação de Dados* (para cada um dos quatro provetes de ensaio), *Validação de Resultados* e *Boletim de Ensaio*.

### 5.8.3 Protecção

Todas as células da folha de cálculo *Representações Gráficas* encontram-se protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.

### 5.8.4 Fluxo de informação

O fluxo de entrada de informação nesta folha de cálculo é composta pelos seguintes conjuntos de dados:

- registos experimentais de estabilidade e deformação de cada um dos provetes de ensaio, provenientes das respectivas folhas de cálculo *Importação e Formatação de Dados*;

- estimativas de parametrização (declives e ordenadas na origem) das tangentes às curvas experimentais associadas a cada um dos provetes de ensaio e com origem na aplicação do MMQ exposto nas respectivas folhas de cálculo *Tabelas de Incerteza de Medição*.

## **5.9 Folha de cálculo Boletim de Ensaio**

### 5.9.1 Conteúdo

A folha de cálculo *Boletim de Ensaio* (apresentada na Figura 15) contém a informação a fornecer ao cliente que solicitou o ensaio de compressão Marshall de uma determinada amostra betuminosa. O conjunto de informação considerado relevante neste contexto é composto pelos seguintes elementos:

- identificação, versão, data e autoria da aplicação computacional utilizada na elaboração do boletim de ensaio;
- identificação e logótipo da entidade responsável pela realização do ensaio;
- número de páginas do boletim;
- norma, designação e data do ensaio;
- número de processo;
- identificação da amostra;
- tabela de resultados finais do ensaio, formada pelas estimativas, incertezas de medição expandidas e factores de expansão das seguintes grandezas de interesse da amostra betuminosa:
  - baridade;
  - estabilidade máxima corrigida;
  - deformação;
  - deformação tangencial;
  - quociente Marshall.
- equipamento de ensaio utilizado, designadamente:
  - marca, modelo e número de série da máquina de compressão uniaxial;

- identificação, rastreabilidade, gama de medição e certificado de calibração do transdutor de força;
- identificação, rastreabilidade, gama de medição e certificado de calibração do transdutor de deslocamento.
- observações.

## 5.9.2 Comandos

O acesso a outras folhas de cálculo é assegurado por um conjunto de comandos dedicados (**MENU DE ENTRADA**, **TABELA GERAL** e **VALIDAÇÃO DE RESULTADOS**). Destaca-se, também, o comando **IMPRESSÃO DO BOLETIM** cuja activação permite a execução de uma rotina de configuração da impressão do boletim de ensaio.

Figura 15 – Folha de cálculo Boletim de Ensaio.

## 5.9.3 Protecção

Todas as células da folha de cálculo *Boletim de Ensaio* se encontram protegidas podendo ser modificadas apenas no nível de gestão, mediante a introdução de uma palavra de passe.



#### 5.9.4 Fluxo de informação

Na folha de cálculo *Boletim de Ensaio*, o fluxo de entrada de informação estabelecido com outras folhas de cálculo pode ser dividido em três origens distintas:

- data de ensaio, número do processo, identificação da amostra e observações, provenientes da folha de cálculo *Tabela Geral*;
- equipamento de ensaio utilizado (marca, modelo e número de série da máquina de compressão uniaxial e, ainda, identificação, rastreabilidade, gama de medição e certificado de calibração dos transdutores de força e deslocamento), proveniente da folha de cálculo *Manutenção*;
- estimativas, incertezas de medição expandidas e factores de expansão das grandezas baridade, estabilidade máxima corrigida, deformação, deformação tangencial e quociente Marshall provenientes da folha de cálculo *Validação de Resultados*.

Note-se que a saída de informação desta folha de cálculo é efectuada por intermédio da impressão do boletim de ensaio.

## 6. AVALIAÇÃO DE QUALIDADE

O processo de avaliação da qualidade da aplicação computacional Marshall Calc consistiu na validação das funções e operações desenvolvidas, de acordo com a classificação, requisitos e técnicas que se encontram reportadas em [1-2], fundamentadas em normas e guias internacionais [8-11].

Refira-se, também, que o processo de validação desenvolvido tem um enquadramento específico no âmbito do sistema operativo Windows e da versão Microsoft® Office mencionada, não constituindo uma garantia de idêntico comportamento se aplicado nouro enquadramento distinto deste, uma vez que as relações de compatibilidade entre estes sistemas ultrapassam a competência de desenvolvimento da aplicação computacional em causa.

A análise da aplicação visando a sua classificação relativamente ao grau de integridade foi determinada usando os parâmetros expostos em [1], determinando a atribuição do Grau de Integridade do Software (**GIS**) igual a 3 (correspondente a uma situação em que o desempenho da aplicação afecta o resultado de forma significativa). O resumo dos parâmetros que suportam esta classificação, relativos à análise de risco e criticidade, encontra-se no Quadro seguinte.

*Quadro 1 – Determinação do GIS atribuído à aplicação Marshall Calc.*

Parâmetro de avaliação	Classificação atribuída
Criticidade (severidade da consequência de falha do sistema).	$GIS_c = 2$ As funções determinam o desempenho do sistema mas podem ser implementados métodos de verificação e controlo.
Requisitos legais ou aprovações complementares	Não aplicável
Complexidade do processamento de dados	$GIS_p = 3$ Modelos aplicados de transformação de dados, natureza de algoritmos e funções de complexidade moderada.
Complexidade de controlo	$GIS_{cc} = 2$ Controlo da interface e entrada de dados, criação de tabelas internas, intervenção e requisitos de conhecimentos do operador simples.
Grau de Integridade do Sistema ( <b>GIS</b> )	$GIS = \text{Max} \{ GIS_c; GIS_p; GIS_{cc} \} = 3$

Com base nesta classificação foram seleccionadas as seguintes técnicas [1] como adequadas a avaliação das funções e operações da aplicação:

- **Testes de referência** (técnica baseada no desenvolvimento de conjunto de dados de referência e de resultados, com os quais é efectuada uma comparação objectiva com valores equivalentes de teste) [1]. Estes testes foram incorporados como componente

da aplicação computacional, permitindo a validação no processo de inicialização, possuindo como informação de saída a indicação da validade do estado operacional. A técnica utilizada para este efeito consiste na realização automática de uma rotina de inicialização que introduz valores correspondentes a uma matriz de dados de entrada, comparando os resultados obtidos com os resultados expectáveis correspondentes.

- ***Especificações matemáticas*** (técnica baseada em especificações de natureza matemática que indicam os resultados obtidos como função dos valores de entrada) [1]. Esta técnica revela-se particularmente adequada quando são utilizados algoritmos conhecidos, efectuando-se uma simulação introduzindo valores de entrada pré-definidos nas variáveis aplicadas. No caso presente, o processamento de dados efectuado é completamente conhecido, correspondendo aos processos cujas soluções analíticas são determináveis e, como tal, permitem uma avaliação directa dos parâmetros determinados com as soluções expectáveis.
- ***Avaliação de comportamento para valores de fronteira*** (técnica visando a avaliação do comportamento de componentes quando sujeitas à aplicação de valores de fronteira ou valores limite) [1], aplicada no contexto de introdução ou transferência de dados e identificação de situações não-conformes com as especificações de operação.
- ***Avaliação de interfaces*** (técnica de análise estática visando a demonstração da fiabilidade, robustez e consistência associadas a módulos e sub-programas) [1], aplicada no contexto das interfaces modulares e das respectivas funções, designadamente, de parametrização e de transição de janelas.

O procedimento de validação envolve três listas de verificação, uma associada ao diagnóstico para a análise de risco e duas de requisitos (de base e complementares) [8-11]. Estas listas e a análise efectuada visando a validação da aplicação computacional são apresentadas em seguida.

Quadro 2 – Factores de diagnóstico para análise de risco.

Factores a considerar	S	N	NA	Acções/recomendações a concretizar pelo operador	Observações
Estabilidade numérica dos algoritmos.			✓		As funções aplicadas, tendo em consideração a amplitude de valores admissíveis das variáveis, não requerem cuidados especiais com a estabilidade numérica associada aos resultados.
Desenvolvimento e execução prévia de testes internos e verificações iniciais.	✓			O operador deverá observar os resultados obtidos após a execução das rotinas de validação inicial e tomar decisões em conformidade.	Encontram-se implementadas rotinas de validação inicial quer dos processos de transferência de dados quer de processamento, relevantes para o processamento numérico aplicado.
Detecção, diagnóstico, documentação e monitorização de erros.	✓				A aplicação tem uma configuração fechada, não permitindo a sua modificação pelo operador, dispondo de rotinas de inicialização que avaliam a sua integridade.
Arquivo de dados históricos e de resultados.			✓	De acordo com o Sistema de Gestão do laboratório de ensaios (cliente).	Cumprimento dos requisitos da NP EN ISO/IEC 17025 [3].
Capacidade de prevenção e de informação no caso de introdução incorrecta de dados pelo operador.	✓			Promover as correcções de dados introduzidos na aplicação.	Encontram-se implementadas rotinas de verificação dos dados de entrada visando garantir a integridade da aplicação.
Frequência, comportamento e recuperação da AC em situações de falha.			✓	Promover a transferência de dados de ficheiros externos e repor outros dados de entrada.	Em situações de falha a aplicação requer a reposição completa dos dados de entrada, não efectuando a memorização parcelar de dados.
Acessibilidade do código ao operador.	✓				Código reservado.
Requisitos associados à resposta temporal associada ao processamento de operações e funções.			✓		No processo em causa, a aplicação é executada após a realização do ensaio e o arquivo dos dados primários, não possuindo requisitos específicos de desempenho temporal.
A ocupação de recursos no processamento de operações e funções.	✓				Os requisitos associados a ocupação de recursos são os regulares para o tipo de aplicação desenvolvida em MS EXCEL, não havendo constrangimentos a assinalar.
Documentação e procedimentos de utilização no caso de sistemas com complexidade reconhecida.	✓			Consulta de relatório e do manual de utilização.	Foi elaborada documentação.

**Legenda:** S – Sim; N – Não; NA – Não Aplicável; AC – Aplicação Computacional.

Quadro 3 – Requisitos de base.

Factores a considerar	S	N	NA	Acções/recomendações a concretizar pelo operador	Observações
Os dados de entrada ( <i>raw data</i> ) são acessíveis a partir do sistema de medição.	✓				A aplicação computacional recolhe dados que são arquivados em ficheiros específicos directamente a partir do sistema de medição, sem qualquer tipo de processamento intermédio.
Se existe processamento de dados baseado em algoritmos, este é conhecido e replicável.	✓				A concepção e desenvolvimento da aplicação inclui a concretização dos algoritmos associados ao processamento de dados.
A avaliação “ <i>end-to-end</i> ” (i.e., conhecendo os valores de entrada e de saída e tratando o sistema como “caixa-negra”) é uma forma aceitável de avaliação.	✓				A aplicação traduz um procedimento cujos resultados são avaliáveis quer por esta via quer tendo em consideração o conhecimento prévio dos resultados expectáveis para cada tipo de material.
Existe informação disponível e formação adequada do operador no caso da interface ser complexa.	✓				Elaborado um relatório contendo a descrição da aplicação e um manual de instruções de operação.
O controlo promovido pela aplicação computacional não influencia a medição ou os dados de forma não quantificável.	✓				O sistema apenas importa dados provenientes do sistema e arquivados previamente.
Existe documentação disponível sobre os erros no caso de complexidade de controlo.			✓		O sistema dispõe de um processo de validação automática dos dados de entrada e de erros associados a essa informação vital.

Quadro 4 – Requisitos complementares.

Controlo de procedimentos	S	N	NA	Acções/recomendações a concretizar pelo operador	Observações
Distinguem-se alterações de registos após elaboração de ficheiros?			✓		A modificação da AC decorre de uma actualização controlada do sistema por parte do autor, sendo a cópia de trabalho reservada a modificações do operador.
Permite-se a reprodução da informação em formato de papel?	✓				A aplicação permite a emissão de um relatório contendo os resultados relevantes associados ao ensaio.
Existe um controlo autorizado de acesso?			✓		Apenas existem dois níveis: autoria e gestão, com acesso completo; e utilização, com permissão de leitura, introdução de dados informativos e utilização de macros e comandos.
A alteração de um ficheiro implica o “esmagamento” da versão anterior?	✓				Existe controlo de versões e de revisões.
Existe rastreabilidade da informação?	✓			Registo e controlo de dados primários “ <i>raw data</i> ”.	O laboratório deverá promover uma forma de rastreabilidade que permita obter os dados primários ( <i>raw data</i> ).
Existe um processo de validação de dados importados directamente ou automaticamente de ficheiros ou de sistemas de medição?	✓			O operador deverá verificar, sempre que inicializa a aplicação, o resultado da validação.	Encontra-se implementada, na aplicação, uma rotina de validação inicial do processo de importação de dados.
Existe documentação relativa à formação dos diversos intervenientes, bem com, relativa à sua operação, manutenção, etc.?	✓				O presente relatório contém a documentação associada ao processo de operação e manutenção.

A distribuição da aplicação computacional é controlada com um controlo formal?	✓				Em conformidade com as regras do Sistema de Gestão da Qualidade do laboratório.
--	---	--	--	--	---

<b>Controlo de procedimentos aplicáveis a sistemas abertos de acesso múltiplo</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Acções/recomendações a concretizar pelo operador</b>	<b>Observações</b>
A informação encontra-se encriptada?		✓			
São utilizadas assinaturas electrónicas ou outros sistemas de identificação de intervenientes com acesso à aplicação?		✓			

<b>Validação de requisitos do sistema</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Requisitos normativos e especificações técnicas.	✓			Comparação com requisitos normativos.	Aplicação cumpre os requisitos normativos relacionados com os resultados a apresentar no relatório de ensaio.
Requisitos de dimensão de memória.			✓		Não foram identificados requisitos especiais aplicáveis.
Requisitos de resolução de memória.			✓		Não foram identificados requisitos especiais aplicáveis.
Requisitos de ambiente operativo.	✓			Informação baseada nos requisitos da aplicação de desenvolvimento.	Windows XP ou posterior.
Requisitos de hardware (placa gráfica; ligação rede, ...).			✓		Não foram identificados requisitos especiais aplicáveis.
Coerência de grandezas e unidades de medição (SI).	✓			Comparação com requisitos do SI.	A aplicação segue as especificações do SI.
Requisitos de comunicação.			✓		
Requisitos de desempenho temporal.			✓		A aplicação efectua a sua intervenção após o processo de aquisição de dados.
Correspondência entre especificações formais e resultados de operações de processamento.			✓		

<b>Funcionalidade e operacionalidade</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Inexistência de folhas de cálculo não utilizadas.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Em conformidade com o requisito de base.
Remoção de linhas, colunas, grelhas e outros elementos não utilizados que perturbem a compreensão das interfaces.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Em conformidade com o requisito de base.
Localização do curso em posição adequada na inicialização da aplicação.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Cursor localizado no campo “data de actualização” na interface de abertura.
Desactivação de funções “ <i>drag and drop</i> ”.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Em conformidade com o requisito de base.
Legibilidade e orientação, no ecrã, da sequência de operações a efectuar pelo operador.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Orientação vertical, de acordo com a recomendação aplicável a este tipo de documentos.
Identificação adequada das folhas de cálculo relativamente às funções.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Todas as folhas de cálculo com funções de interface possuem uma identificação no cabeçalho respectivo.
Adequação do processo de introdução, aquisição ou transferência de dados iniciais.	✓			Testes de referência.	Introdução de dados efectuado com recurso a botões e macros que promovem a transferência a partir de ficheiros de dados gerados pelo equipamento.

Funcionalidade de macros com tarefas funcionais.	✓			Especificações matemáticas.	Macros associadas a comandos concretizam as funções expectáveis.
Avaliação do efeito resultante da combinação de macros.			✓		Não foram identificados requisitos especiais aplicáveis.
Funcionalidade de botões e comandos.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Botões e comandos testados efectuem as operações expectáveis.
Coerência da utilização de cores, sombreamentos e outros elementos gráficos face à natureza da informação e comportamento no enquadramento específico de cada interface.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	As cores seleccionadas para identificação da natureza da informação (cabecinhos, caixas de diálogo e campos para entrada de dados, apresentação de resultados, botões e comandos) são diferenciadas e mantêm-se de forma coerente nas diversas interfaces da aplicação.
Distribuição/partição lógica dos tipos de informação pelas folhas de cálculo.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	A informação encontra-se dividida coerentemente pelas diversas folhas de cálculo, separando a informação de entrada, dos resultados, boletim, tabelas e gráficos.
Identificação de variáveis e constantes e estruturas de dados.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	As variáveis de entrada encontram-se identificadas na interface de entrada de dados do processo, e as tabelas e os resultados descritos nas respectivas folhas de cálculo da aplicação.
Usabilidade associada à introdução de dados e legibilidade de resultados.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Entrada de dados simplificada pelo uso de macros, complementada com introdução directa de informação relativa ao ensaio. Resultados apresentados de acordo com o disposto na norma de referência [6].
Identificação da aplicação em saída de resultados impressos ou transferidos.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Impressão de relatório contendo a informação relevante de acordo com os requisitos normativos aplicáveis.
Comentários, etiquetagem e instruções associadas a células.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Aplicado de acordo com os requisitos de operação e de avaliação dos resultados.
Exactidão da representação e adequação dos gráficos associados a variáveis.	✓			Testes de referência e comparação com requisitos do SI.	Apresentações gráficas de acordo com os formatos SI.

<b>Funções e macros</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Verificação do código para concretização de funções.	✓			Especificações matemáticas.	Código estruturado em macros associadas a comandos.
Revisão do código de macros.			✓		
Adequação da identificação, estrutura e formato dos dados.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Formatação de acordo com regras SI.
Validação dos dados de entrada.	✓			Avaliação comportamento para valores de fronteira.	
Comportamento em situação de falha-recuperação.	✓			Avaliação comportamento para valores de fronteira.	A aplicação requer a repetição do processo de importação e de introdução de dados.
Revisão de documentação.	✓				

<b>Algoritmos e parâmetros</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Código para aplicação de algoritmos.	✓			Especificações matemáticas.	De acordo com formulação conhecida e exposta em bibliografia ou na norma de referência (avaliação de parâmetros).

Adequação da identificação, estrutura e formato dos dados.	✓				
Validação dos dados de entrada.					
Comportamento em situação de falha-recuperação.	✓			Avaliação comportamento para valores de fronteira.	A aplicação requer a repetição do processo de importação e de introdução de dados.
Resposta da aplicação na presença de parametrização nos limites ou fora das tolerâncias admitidas ou expectáveis.	✓			Avaliação comportamento para valores de fronteira.	Existem indicadores que informam de situações em que os valores introduzidos se encontram fora dos intervalos admitidos.
Revisão de documentação.	✓				

<b>Integridade numérica (robustez), exactidão e fiabilidade</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Validação da inicialização.	✓			Testes de referência.	Processo de inicialização associado a um conjunto de testes de integridade.
Validação de rotinas de auto-verificação.	✓			Testes de referência.	Processo de inicialização associado a um conjunto de testes de integridade.
Validação de critérios de arredondamento e de algarismos significativos.	✓			Comparação com requisitos gerais.	
Limpeza e renovação de células e de variáveis da aplicação.	✓			Avaliação baseada em testes (observação directa).	Realizado após o processo de inicialização.
Exactidão do processamento de dados.	✓			Testes de referência.	
Robustez perante situações que possam afectar a integridade numérica e fiabilidade.	✓			Avaliação comportamento para valores de fronteira.	Validação da entrada de dados de acordo com intervalos admissíveis de valores.

<b>Integridade da aplicação associada a fluxos de informação interna e externa</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Integridade associada a fluxos internos de informação (por exemplo, tabelas internas de parâmetros e de variáveis).	✓			Testes de referência.	A integridade da informação associada à transferência de dados de ficheiros externos para tabelas internas é validada pela aplicação.
Interdependências entre células.	✓			Testes de referência.	Nada a assinalar.

<b>Formação de operadores</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Formação adequada à operação.	✓				Formação dos operadores a realizar.
Adequação da documentação.	✓				

<b>Configuração e modificação</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Instruções de configuração.			✓		
Procedimentos de modificação.			✓		
Testes de detecção de erros de configuração.			✓		A configuração de base não se encontra acessível ao operador pelo que se considera protegida.
Adequação de documentação.	✓				

<b>Gestão, segurança e manutenção</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>	<b>Técnica(s) aplicada(s)</b>	<b>Observações</b>
Acesso à aplicação.	✓				Acesso reservado por se encontrar em área reservada no âmbito da aplicação do Sistema de Gestão do laboratório de ensaios do LNEC a que se destina.
Validação de protecções (acesso geral, e protecção a células, funções, folhas de cálculo e à aplicação integrada).	✓			Testes de referência	São aplicados os mecanismos habituais de protecção de células, funções e folhas de cálculo disponibilizadas pela aplicação.



Validação de dados e tabelas internas.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.
Atribuição de responsabilidades.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.
Métodos de recuperação de informação.			✓		
Controlo de versões e sua distribuição.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.
Processos de gestão da configuração.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.
Validação de procedimentos de manutenção.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.
Adequação da documentação.	✓				Procedimento de gestão e de manutenção.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Núcleo de Qualidade Metrológica tem procurado promover a diversificação das linhas que compõem a sua actividade dinamizando a colaboração com outros sectores do LNEC que pretendem desenvolver vertentes onde a componente metrológica tem aplicação.

A concepção, desenvolvimento e manutenção de aplicações computacionais dedicadas a ensaios que envolvem uma forte componente metrológica é uma dessas linhas, sendo o trabalho que conduziu à concretização da aplicação apresentada consequência de uma solicitação do Laboratório de Ensaios de Materiais para Pavimentação (LNEC/PAVMAT) visando evidenciar, no âmbito do seu sistema de gestão, esta relevante parcela de um dos seus processos de ensaio: o ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas.

Sendo a primeira aplicação computacional desenvolvida pelo NQM no contexto desta linha de actividade, a experiência que decorreu da concepção e desenvolvimento desta foi particularmente relevante, nomeadamente, porque permitiu uma análise colateral associada ao método de selecção do modelo matemático suportada na avaliação prévia das incertezas dos métodos, o que constitui uma abordagem inovadora no âmbito da metrologia aplicada.

No que se refere aos resultados obtidos, verificou-se a adequação da aplicação computacional de base obtida face aos requisitos da aplicação – devidamente confirmados no processo de validação subsequente – e promoveu-se o acréscimo de informação do laboratório relativamente ao processamento dos dados experimentais – inacessível na solução computacional anterior por estar embebida no sistema de medição – favorecendo a qualidade global do sistema de gestão do laboratório.

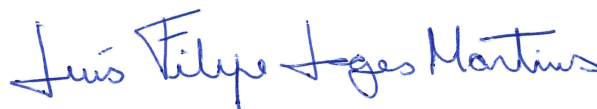
**VISTOS**

O Director do CIC,



Carlos Oliveira Costa

**AUTORIA**



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica  
Bolseiro de Doutoramento



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º Física Tecnológica, Doutor  
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Silva Ribeiro, A., *Validação de ferramentas computacionais. Elementos sobre a sua incidência em Metrologia*, ICT – Informação Técnica – Metrologia – ITM 5, Lisboa (Portugal): Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2001.
- [2] Silva Ribeiro, A., *Desenvolvimento e validação de aplicações informáticas suportadas em folhas de cálculo. Elementos sobre a sua incidência em Metrologia*, ICT – Informação Técnica – Metrologia – ITM 6, Lisboa (Portugal): Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2002.
- [3] NP EN ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração. Caparica (Portugal): Instituto Português da Qualidade (IPQ), Dezembro de 2005.
- [4] Lages Martins, L., Silva Ribeiro, A., *Avaliação de Incertezas de Medição no Laboratório de Ensaios de Materiais para Pavimentação (LNEC/PAVMAT): Ensaio Marshall*, Relatório LNEC 221/2010 - NQM, Lisboa (Portugal): Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Junho de 2010.
- [5] *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. Genève (Suíça): International Organization for Standardization (ISO), 1995.
- [6] EN 12697-34:2004+A1:2007 – Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt. Part 34: Marshall test. Brussels (Bélgica): European Committee for Standardization (CEN), July 2007.
- [7] <http://support.microsoft.com/kb/822129>, página web consultada em 2010-07-13.
- [8] ISO/IEC/IEA/IEEE 12207 – Information technology – Software lifecycle processes, 1995.
- [9] ISO/IEC 12119 – Information technology – Software packages – Quality requirements and testing, 1994.
- [10] ANSI/IEEE Std 1012 – IEEE standard for software verification and validation plans, 1998.
- [11] ANSI/IEEE Std 1059 – IEEE guide for software verification and validation plans, 1993.

## **ANEXO A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO**

### **Marshall Calc**

**Versão:** 01

**Data da versão:** 2010-04-29

**Autoria:** LNEC/CIC/NQM

## **A.1 Requisitos do sistema computacional**

A aplicação computacional Marshall Calc foi desenvolvida para execução em ambiente Microsoft® Office Excel 2003® (elemento integrante do pacote computacional Microsoft® Office 2003), o que determina a instalação prévia desta aplicação no computador que se pretende utilizar como suporte material das operações de processamento e cálculo de dados. De acordo com [7], a instalação do pacote Microsoft® Office 2003® determina o cumprimento do seguinte conjunto de requisitos mínimos:

- processador Pentium® com frequência de 233 MHz;
- sistema operativo Windows Server 2003, Windows XP, Windows 2000 Service Pack 3, Windows Vista ou Windows Server 2008;
- memória RAM de 128 MB;
- 400 MB de espaço disponível em disco-rígido;
- CD-ROM *drive* ou DVD-ROM *drive* compatível;
- monitor Super VGA com resolução de 800 x 600 e 256 cores;
- dispositivo apontador.

## **A.2 Configuração local**

Estando assegurada a instalação do programa Microsoft® Office Excel 2003®, a correcta execução da aplicação Marshall Calc prevê a configuração local desta aplicação, nomeadamente, no que se refere à necessidade de definição de pasta dedicada visando o armazenamento dos quatro ficheiros de registo produzidos pela aplicação que integra o equipamento de ensaio Marshall (máquina de compressão uniaxial), os quais serão posteriormente importados para concretização das operações de processamento e cálculo.

A Figura 16 apresenta a representação esquemática da estrutura de pastas a criar numa área do disco-rígido do equipamento de suporte computacional. O Quadro 5 menciona o seu conteúdo individual e respectiva descrição.

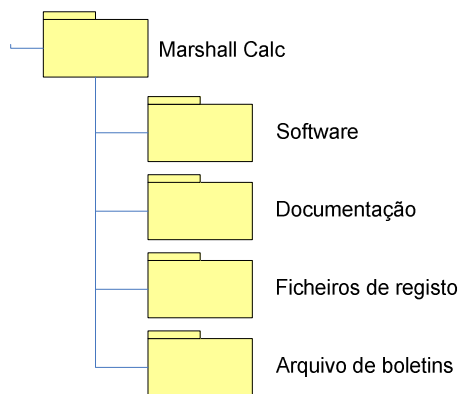


Figura 16 – Estrutura de pastas associadas à aplicação Marshall Calc.

Quadro 5 – Conteúdo das pastas associadas à aplicação Marshall Calc.

Designação da pasta	Conteúdo	Descrição
Software	Ficheiro <i>Marshall_Calc_v01.xls</i>	Aplicação computacional para processamento de dados do ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas.
Documentação	Ficheiro <i>Relatorio_Marshall_Calc_v01.pdf</i>	Relatório descritivo da aplicação computacional Marshall Calc, onde se inclui manual de utilização.
Ficheiros de registo	Ficheiros <i>Provete_1.grf</i> , <i>Provete_2.grf</i> , <i>Provete_3.grf</i> <i>Provete_4.grf</i>	Ficheiros de registo de ensaio dos quatro provetes representativos da amostra de mistura betuminosa ensaiada e obtidos pela aplicação associada ao equipamento de ensaio.
Arquivo de boletins	Ficheiros dos boletins de ensaio produzidos pela aplicação Marshall Calc (do tipo Microsoft Office Excel Workbook, com extensão .xls)	Ficheiros dos boletins de ensaio associados às amostras de misturas betuminosas ensaiadas e obtidos pela utilização da aplicação Marshall Calc.

Neste processo de configuração, salienta-se a necessidade de se proceder à edição da rotina *importacao\_formatacao\_dados* de modo a introduzir o endereço local da pasta *Ficheiros de registo*. Note-se que os quatro ficheiros introduzidos nesta pasta devem manter sempre a mesma designação (*Provete\_1.grf*, *Provete\_2.grf*, *Provete\_3.grf* e *Provete\_4.grf*) de forma a assegurar a sua adequada importação para a aplicação Marshall Calc.

Os ficheiros de registo relativos a cada ensaio devem reproduzir os ficheiros com os dados primários gerados pelo equipamento de ensaio, usando-se este mecanismo para permitir a automatização do processo de transferência de informação de ficheiros para a aplicação (que

seria dificultada caso a sua designação e localização não fossem permanentes). No entanto, os ficheiros originais, como constituem os dados primários, devem ser registados univocamente permitindo a evidência em auditoria do arquivo de dados primários (requisito dos sistemas de gestão).

### A.3 Procedimento simplificado de utilização

A presente secção apresenta um procedimento simplificado de utilização da aplicação Marshall Calc de modo a assegurar o processamento e cálculo dos dados de interesse do ensaio de compressão Marshall de misturas betuminosas. O procedimento de utilização contém a seguinte sequência de acções:

1. proceder à abertura do ficheiro *Marshall\_Calc\_v01.xls* (localizado na área do disco-rígido do equipamento de suporte computacional em ...\\Marshall Calc\\Software\\) recorrendo ao programa Microsoft® Office Excel 2003®;
2. na folha de cálculo *Menu de entrada* seleccionar o comando **TESTAR APLICAÇÃO** (vide Figura 17);

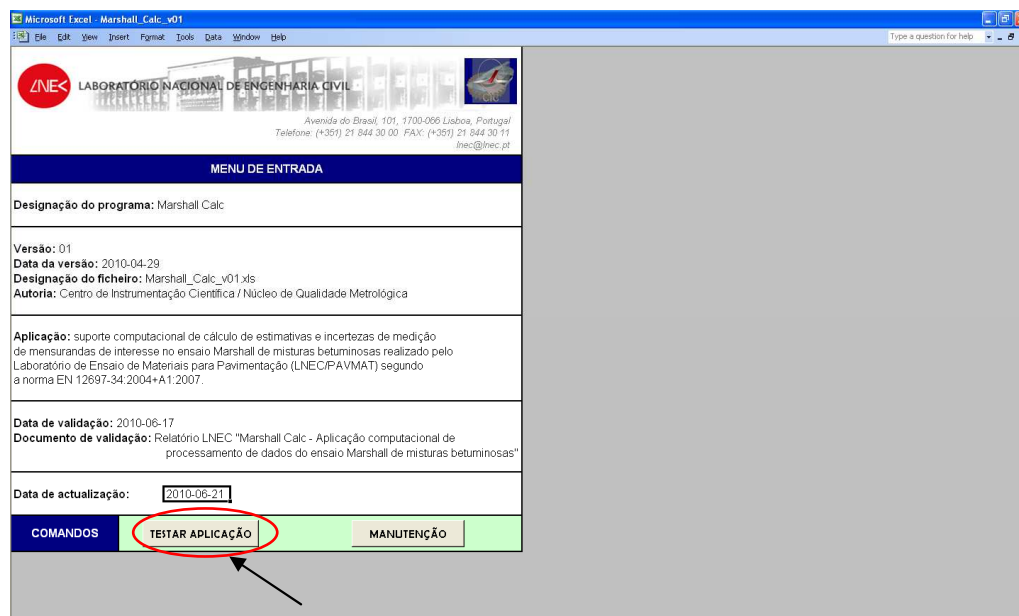


Figura 17 – Localização do comando TESTAR APLICAÇÃO na folha de cálculo Menu de entrada.

3. na caixa de diálogo *Teste de verificação da aplicação Marshall Calc* seleccionar o comando **OK** (vide Figura 18);



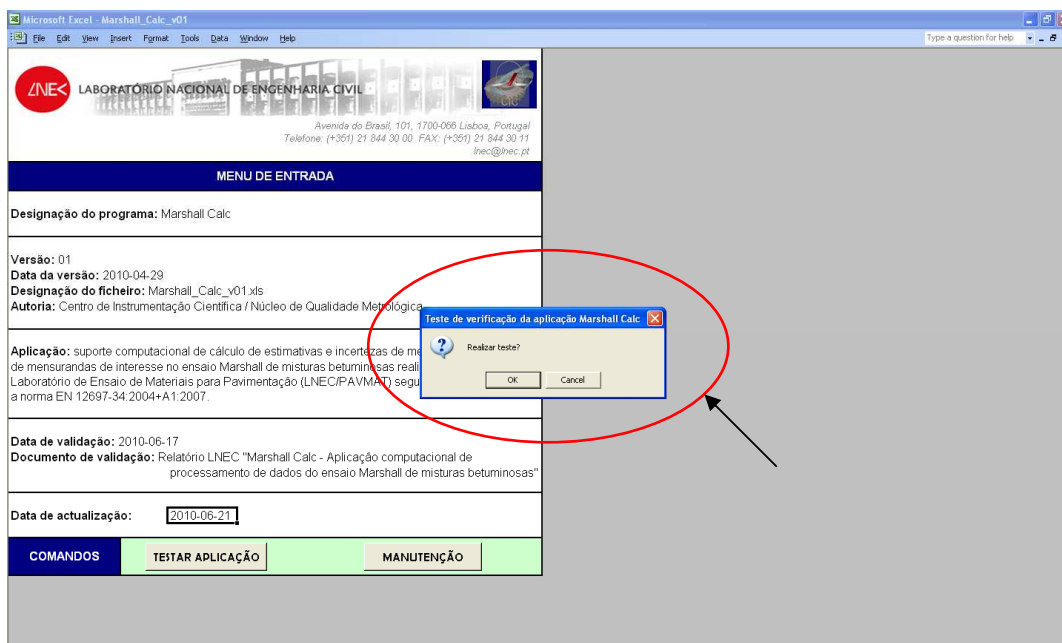


Figura 18 – Caixa de diálogo de confirmação de realização do teste de verificação da aplicação.

4. na caixa de diálogo *Teste realizado com sucesso!* seleccionar o comando **OK** (vide Figura 19);

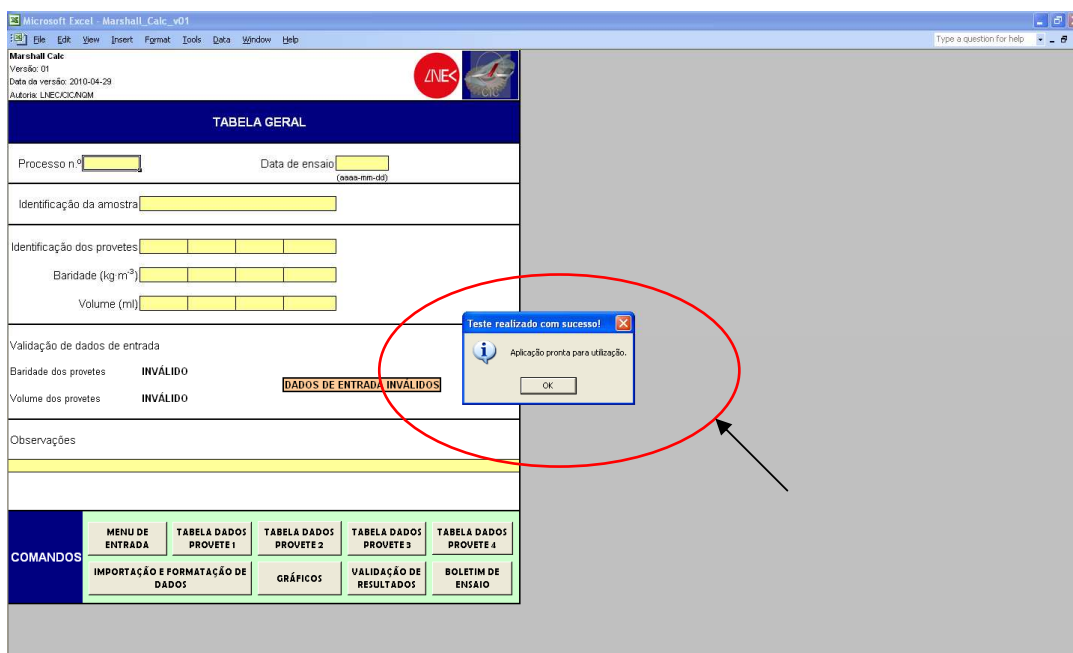


Figura 19 – Caixa de diálogo após realização bem sucedida do teste de verificação da aplicação.

5. na folha de cálculo *Tabela geral* introduzir os dados de entrada relativos ao número de processo, data de ensaio, identificação da amostra, identificação, baridade e volume dos provetes de ensaio e, caso seja aplicável, as observações de interesse do ensaio realizado (vide Figura 20);

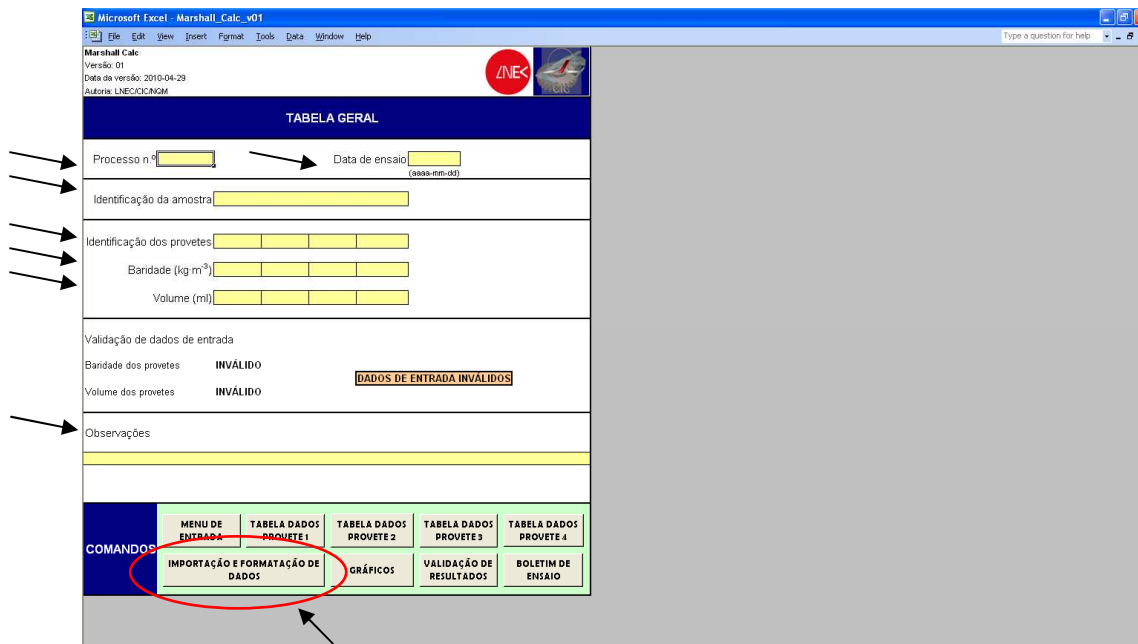


Figura 20 – Folha de cálculo Tabela geral.

6. após a introdução dos dados de entrada seleccionar, na mesma folha de cálculo, o comando **IMPORTAÇÃO E FORMATAÇÃO DE DADOS** (vide Figura 20);
7. na folha de cálculo “Validação de resultados” seleccionar o comando **BOLETIM DE ENSAIO** (vide Figura 21);

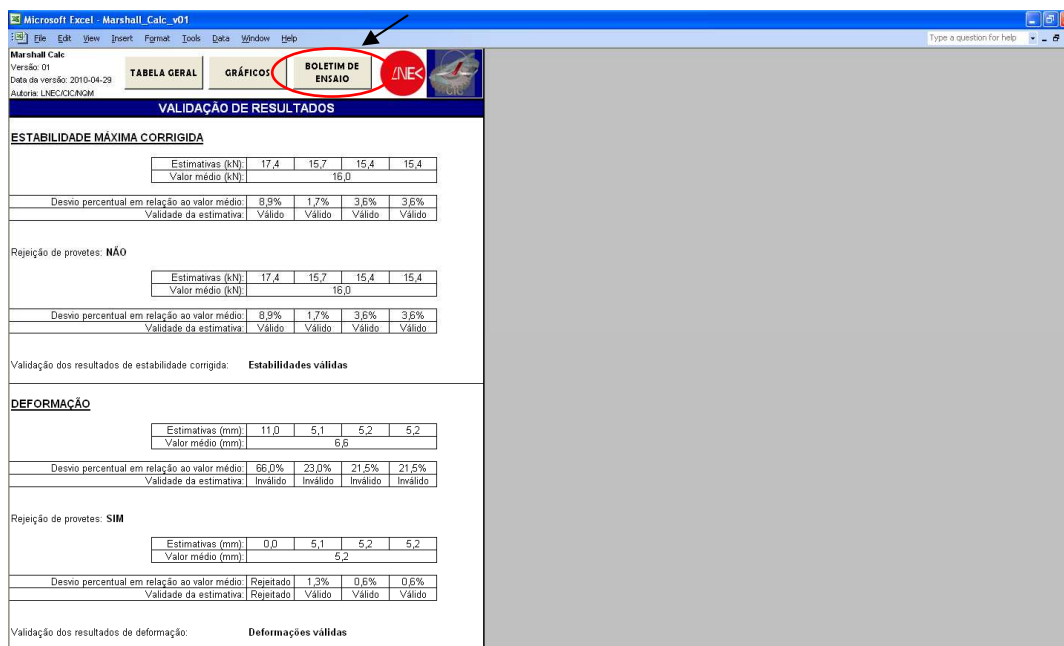


Figura 21 – Localização do comando BOLETIM DE ENSAIO na folha de cálculo Validação de resultados.

8. na folha de cálculo *Boletim de ensaio* seleccionar o comando **IMPRESSÃO DO BOLETIM** (vide Figura 22); na janela aberta seleccionar o comando **SETUP** de acesso à configuração da impressão pretendida; concluída esta operação, seleccionar o comando **PRINT** (vide Figura 23);

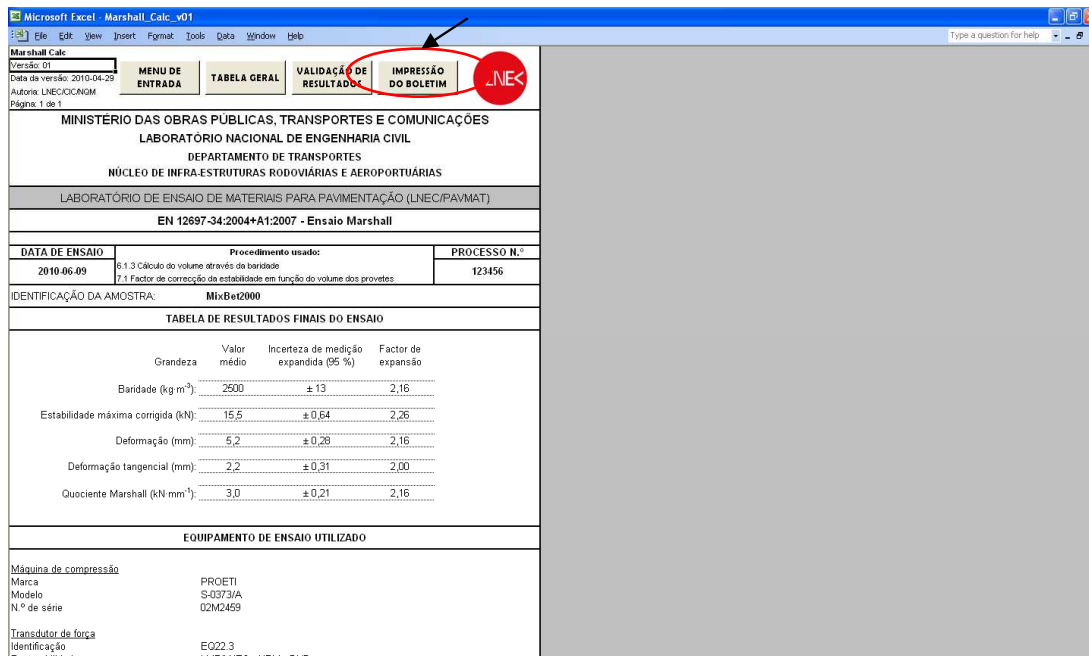


Figura 22 – Localização do comando **IMPRESSÃO DO BOLETIM** na folha de cálculo *Validação de resultados*.

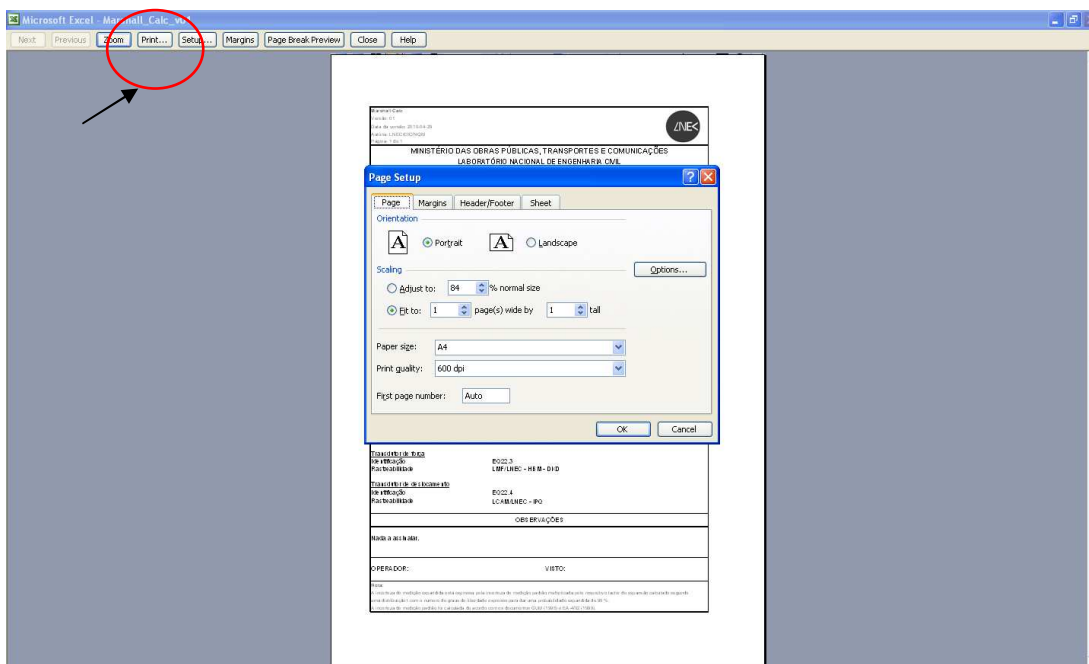


Figura 23 – Localização dos comandos de configuração e execução de impressão.

9. guardar os dados de entrada e saída da aplicação em ficheiro dedicado acedendo ao menu *File*, opção *Save As...* (vide Figura 24) e efectuando, na janela aberta (vide Figura 25), as seguintes tarefas:
  - i. no campo *Save in:* proceder à localização da pasta ...\\Marshall Calc\\Arquivo de boletins;
  - ii. no campo *File name:* atribuir nome ao ficheiro;
  - iii. no campo *Save as type:* seleccionar a opção Microsoft Office Excel Workbook;
  - iv. seleccionar o comando **SAVE**.

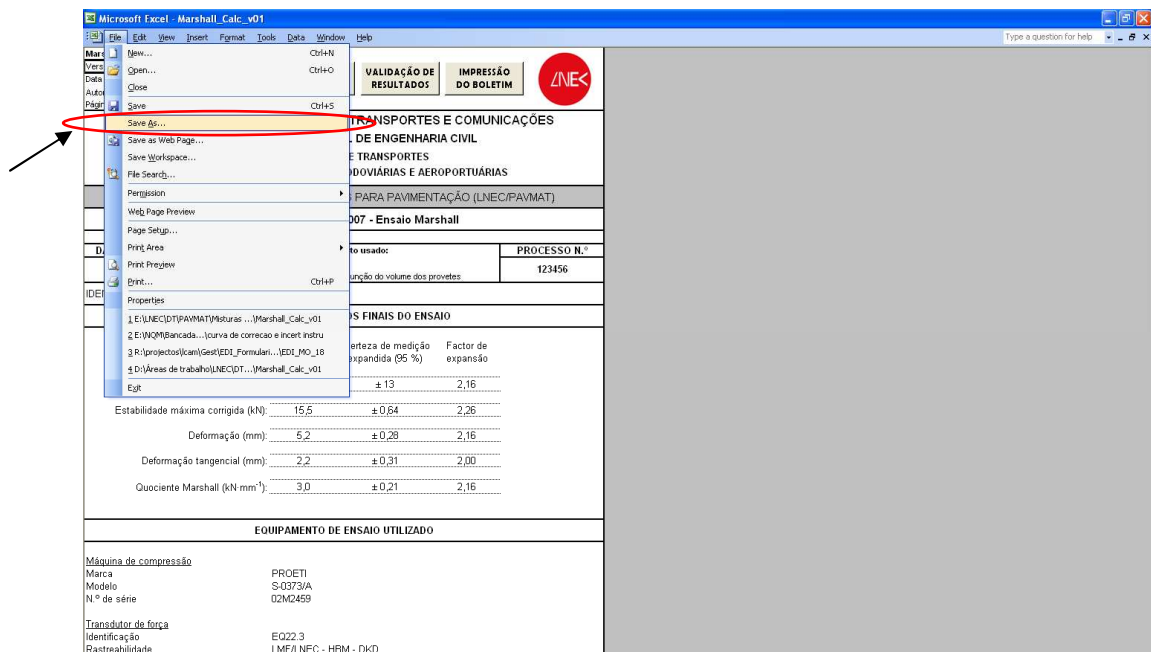


Figura 24—Localização da opção *Save As...* no menu *File* do programa Microsoft® Office Excel 2003®.

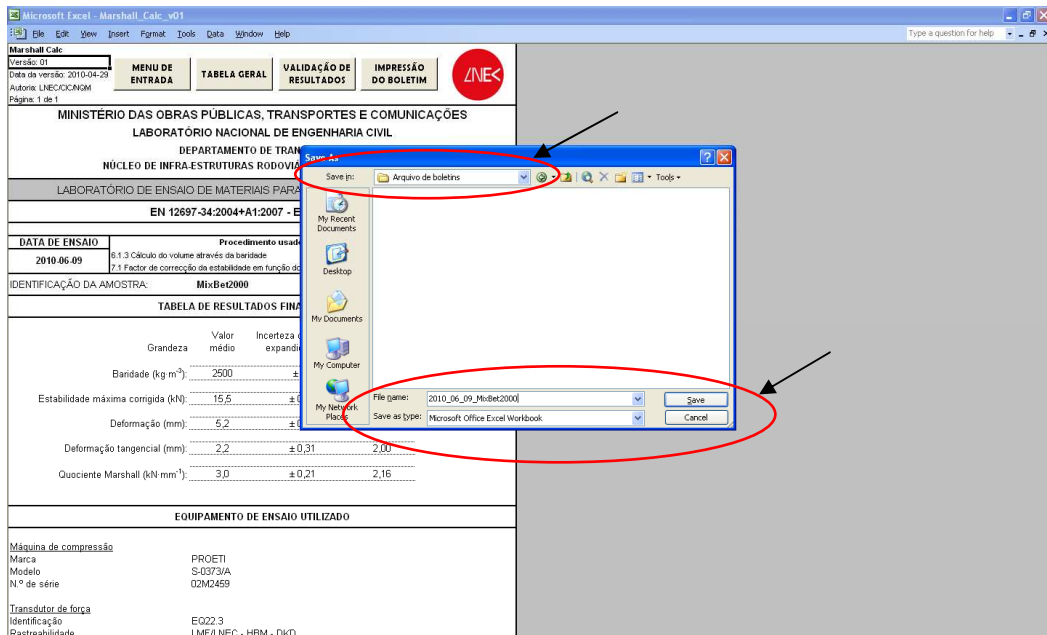


Figura 25 – Janela de configuração e criação de ficheiro contendo os dados de entrada e saída da aplicação no programa Microsoft® Office Excel 2003®.

10. sair da aplicação Marshall Calc acedendo ao menu *File*, opção *Exit* (vide Figura 26).

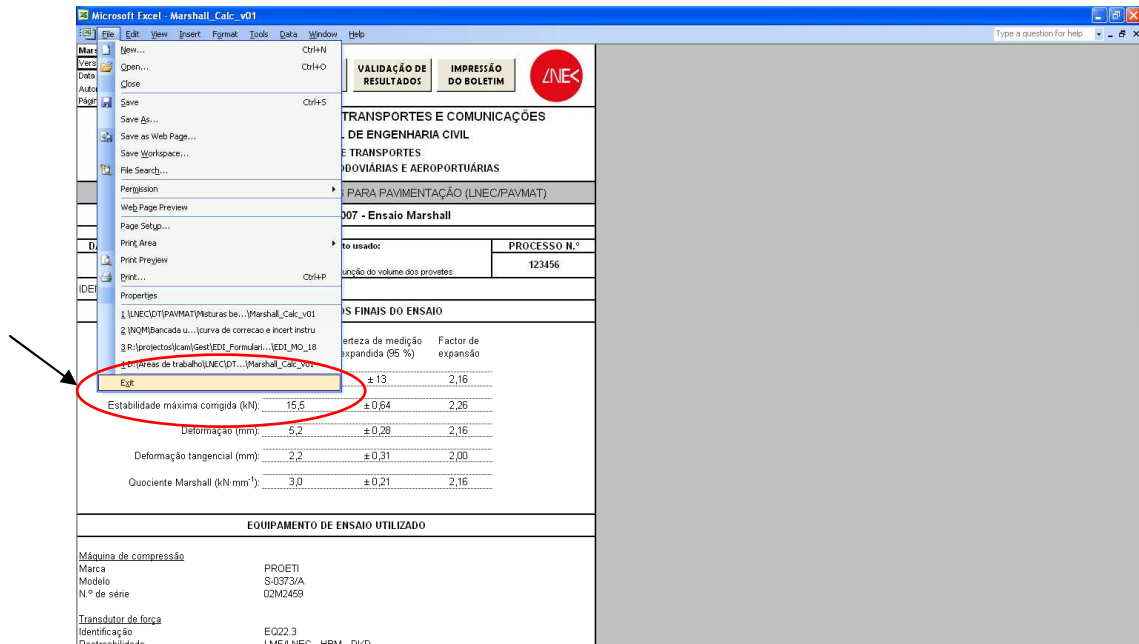


Figura 26 – Localização do menu *File*, opção *Exit* no programa Microsoft® Office Excel 2003®.

Salienta-se que, o procedimento apresentado foi desenvolvido segundo uma perspectiva simplificada de utilização, não incluindo a utilização de todos os recursos disponíveis na aplicação como, por exemplo, a observação das tabelas de incertezas de medição ou das representações gráficas dos dados experimentais. Assume-se, igualmente, que a aplicação mantém a sua integridade (avaliada mediante a execução de teste específico) e que os dados de entrada e saída são válidos de acordo com os critérios referidos anteriormente.

#### A.4 Manutenção

Nesta secção são apresentadas as instruções que asseguram a manutenção da aplicação Marshall Calc no que respeita à identificação da máquina de compressão uniaxial utilizada e os dados de entrada relativos às cadeias de medição de estabilidade e deformação. O procedimento de manutenção da aplicação é definido pela seguinte sequência de acções:

1. proceder à abertura do ficheiro *Marshall\_Calc\_v01.xls* (localizado na área do disco-rígido do equipamento de suporte computacional em ...\\Marshall Calc\\Software\\) recorrendo ao programa Microsoft® Office Excel 2003®;
2. na folha de cálculo *Menu de entrada* seleccionar o comando **MANUTENÇÃO** (vide Figura 27);

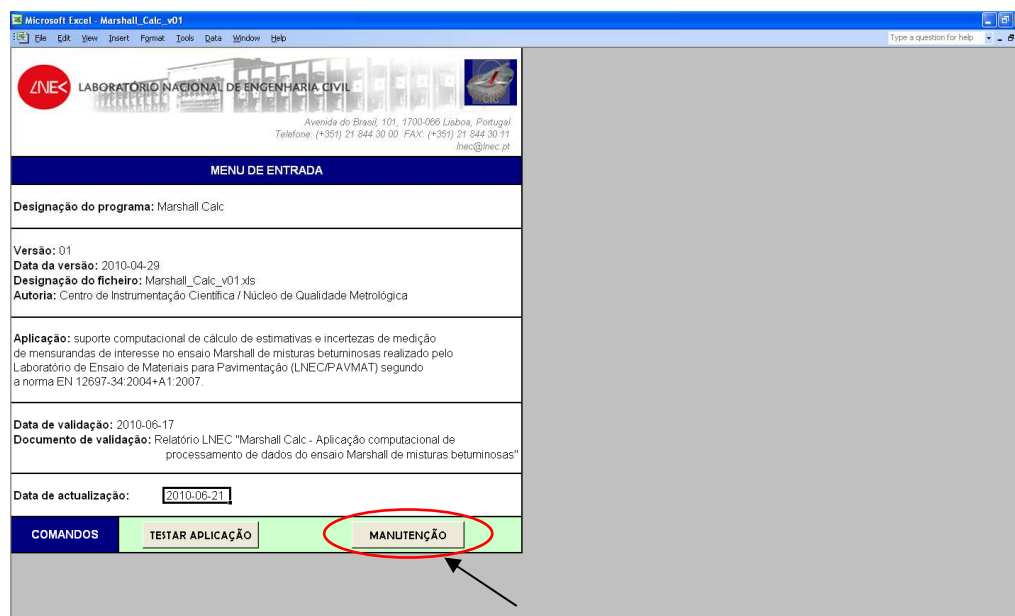


Figura 27 – Localização do comando MANUTENÇÃO na folha de cálculo Menu de entrada.

3. desproteger a folha de cálculo *Manutenção* acedendo ao menu *Tools*, opção *Protection* seguida da opção *Unprotect Sheet* (vide Figura 28); na janela de

diálogo aberta introduzir a senha de acesso (de conhecimento exclusivo ao nível da gestão da aplicação);

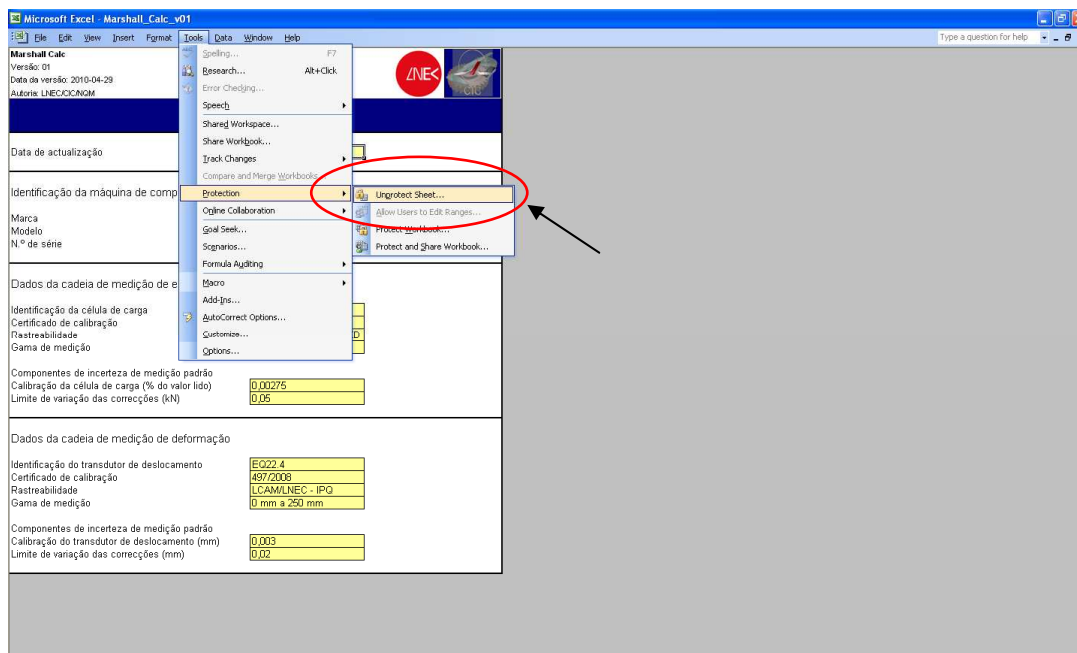


Figura 28 – Localização do menu *Tools*, opção *Protection > Unprotect Sheet...* no programa Microsoft® Office Excel 2003®.

4. proceder à actualização dos campos de interesse contidos na folha de cálculo;
5. proteger a folha de cálculo *Manutenção* acedendo ao menu *Tools*, opção *Protection* seguida da opção *Protect Sheet* (vide Figura 29); na janela de diálogo aberta introduzir a senha de acesso (de conhecimento exclusivo ao nível da gestão da aplicação) e seleccionar o comando **OK**; na janela de diálogo entretanto aberta reintroduzir a senha de acesso e seleccionar o comando **OK** (vide Figura 30);
6. retornar à folha de cálculo *Menu de entrada* mediante selecção do comando **MENU DE ENTRADA** (vide Figura 30);
7. guardar as alterações efectuadas na aplicação acedendo ao menu *File*, opção *Save As...* (vide Figura 24) e efectuando, na janela aberta (vide Figura 31), as seguintes tarefas:
  - i. no campo *Save in:* proceder à localização da pasta ...\\Marshall Calc\\Software;
  - ii. no campo *File name:* introduzir a designação *Marshall\_Calc\_v01*;

- iii. no campo *Save as type*: seleccionar a opção Microsoft Office Excel Workbook;
  - iv. seleccionar o comando **SAVE**.
8. sair da aplicação Marshall Calc acedendo ao menu *File*, opção *Exit* (vide Figura 32).

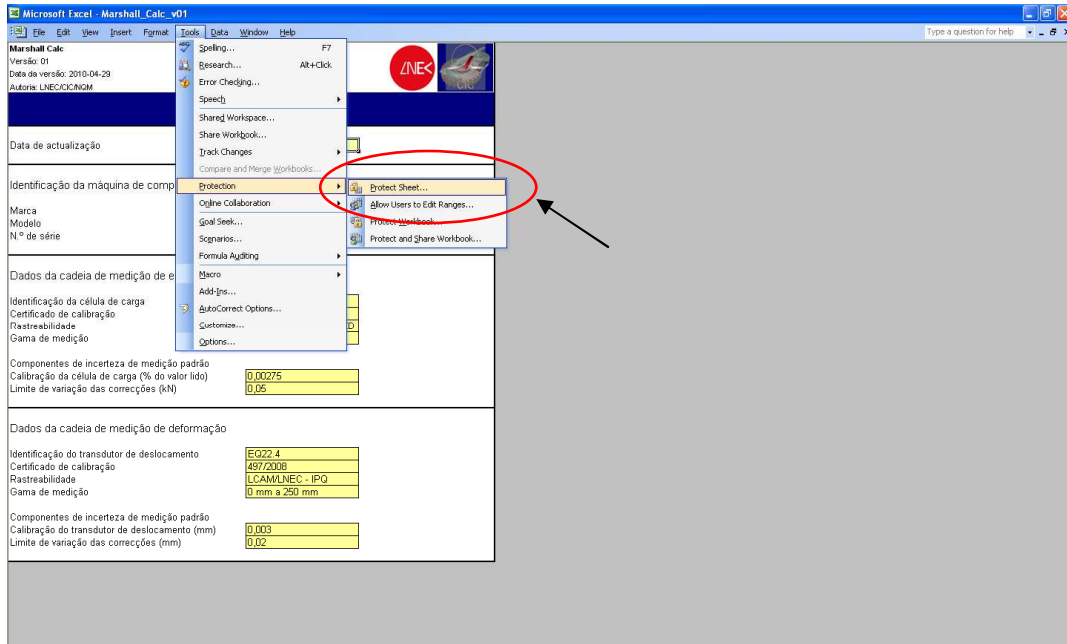


Figura 29 – Localização do menu *Tools*, opção *Protection* > *Protect Sheet...* no programa Microsoft® Office Excel 2003®.

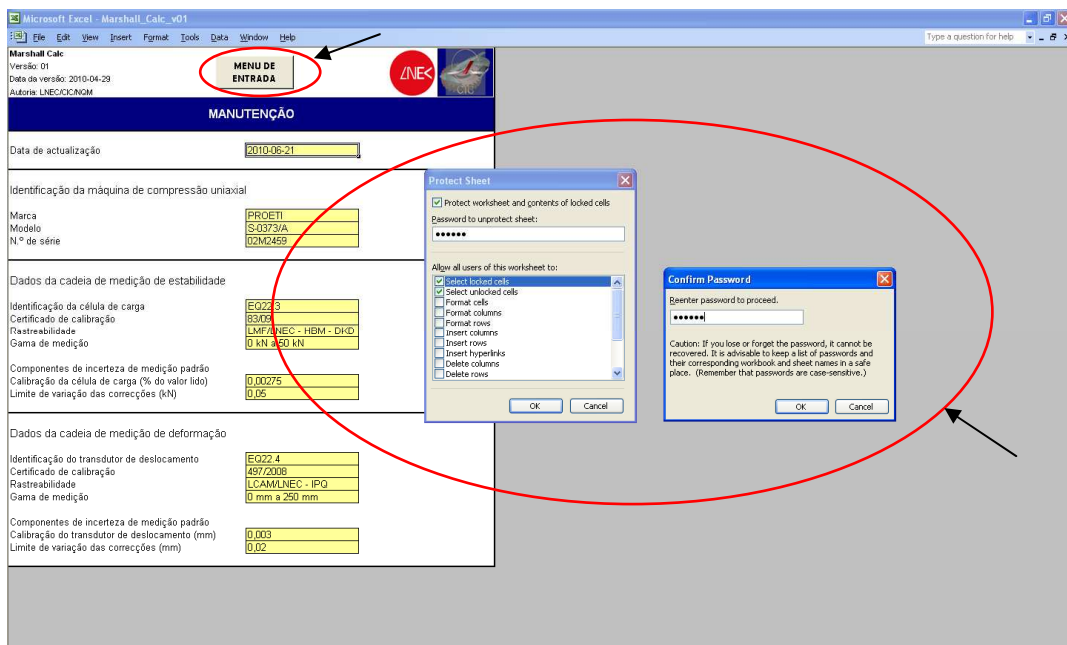


Figura 30 – Janelas para protecção da folha de cálculo e confirmação de senha de acesso e localização do comando MENU DE ENTRADA.



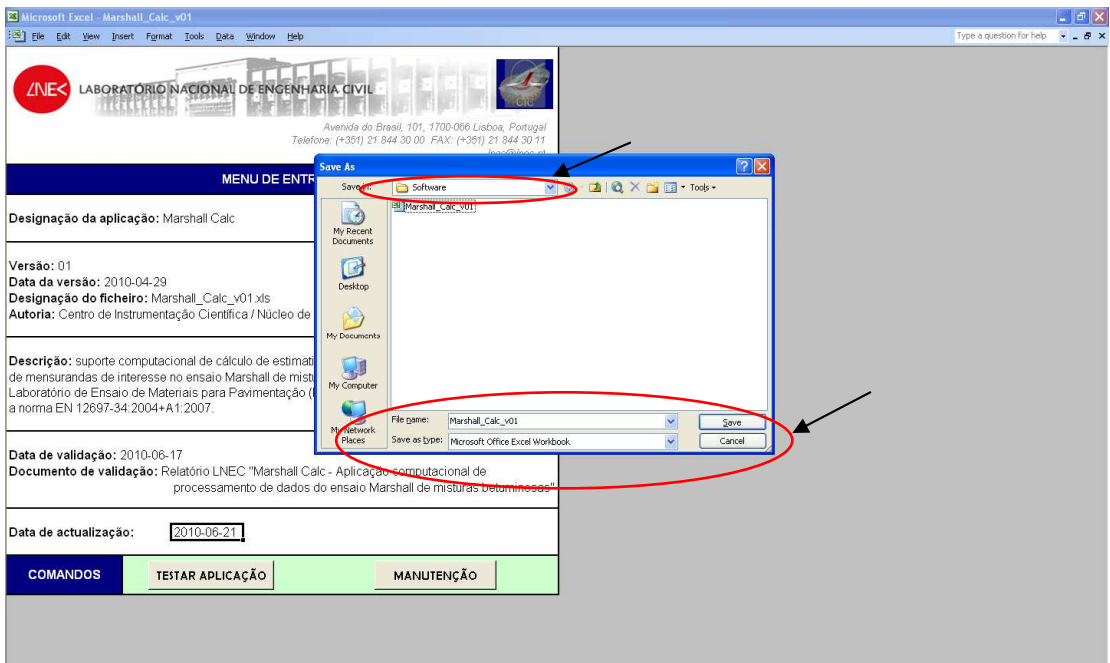


Figura 31 – Janela para guardar as alterações efectuadas na aplicação.

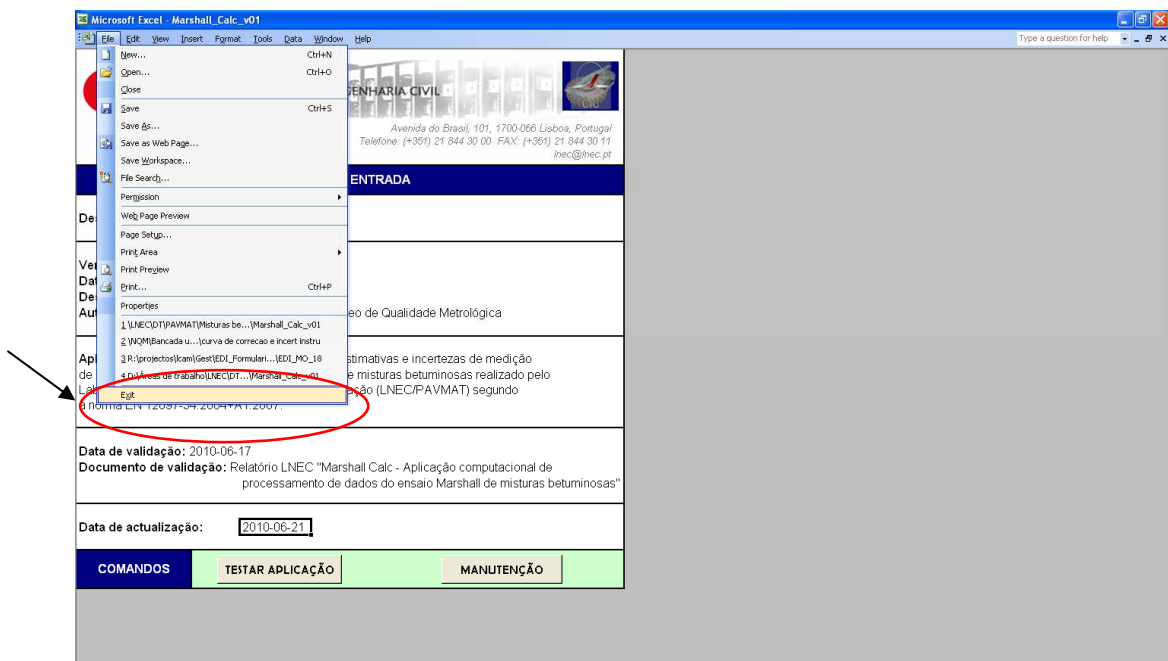


Figura 32 – Localização do menu File, opção Exit no programa Microsoft® Office Excel 2003®.

