



# ***Manual de instalação e operação***

**Software Sonelastic®  
6.0**



**ATCP Engenharia Física, Divisão Sonelastic®**

Rua Lêda Vassimon, nº 735-A - Ribeirão Preto - Brasil - CEP 14026-567

Telefone: +55 (16) 3289-9481

[www.sonelastic.com](http://www.sonelastic.com)

# *Manual de instalação e operação*

Software Sonelastic®

6.0

Software para a determinação dos  
módulos elásticos e do amortecimento de materiais  
pela Técnica de Excitação por Impulso

Desenvolvido por:

ATCP do Brasil – Alves Teodoro Cerâmicas Piezoelétricas do Brasil Ltda.

ATCP Engenharia Física, Divisão Sonelastic®

Rua Lêda Vassimon, 735-A

Ribeirão Preto - SP, Brasil

CEP 14026-567

CNPJ: 03.970.289/0001-60

Inscrição estadual: 797.013.492.110

Indústria Brasileira

[www.sonelastic.com](http://www.sonelastic.com)

Copyright

Copyright © 2010-2022 by ATCP Engenharia Física

Direitos reservados.

A ATCP Engenharia Física reserva-se  
o direito de alterar este manual e  
o produto sem aviso prévio.

Versão 6.0  
Novembro de 2022

## ÍNDICE

1. Introdução.....	6
2. Definições.....	6
3. Aplicação e características.....	6
4. Especificações.....	7
5. Requisitos para o computador.....	7
6. Instalação do software e dos acessórios.....	8
6.1 Instalando o software no computador pela primeira vez.....	8
6.1.1 Instalação passo-a-passo (Windows 10&11):.....	8
6.1.2 Instalação da dll MSXML.....	13
6.2 Atualizando o Software (para usuários que já possuem a licença).....	14
6.3 Conectando o captador acústico e configurando as opções de áudio.....	15
6.4 Instalando o Pulsador Automático IED.....	17
6.5 Instalando o suporte de corpos de prova.....	17
7. Corpos de prova.....	18
7.1 Razões de aspecto recomendadas e dimensões típicas.....	18
7.2 Posicionamento e dimensões do corpo de prova.....	19
7.3 Modos de excitação e captação.....	22
8. Operação do Software.....	27
8.1 Aba AQUISIÇÃO.....	28
8.1.1 Informando as dimensões do corpo de prova.....	28
8.1.2 Realizando uma aquisição de sinal preliminar.....	30
8.1.3 Ajustando a aquisição de sinal.....	30
8.1.4 Feedbacks do software durante a aquisição de sinal.....	34
8.1.5 Realizando o pré-processamento do sinal.....	35
8.1.6 Configurando o pulsador automático e a comunicação com o forno.....	37
8.2 Aba MÓDULOS ELÁSTICOS.....	41
8.3 Aba AMORTECIMENTO.....	45
8.4 Aba AMORTECIMENTO-TF.....	48
8.5 Aba RESULTADOS.....	51
8.6 Aba ESPECTROGRAMA.....	55

---

8.7 Modo de aquisição automático .....	56
8.8 Menu Arquivo .....	60
8.9 Menu Configurações .....	60
8.9.1 Modo de aquisição .....	60
8.9.2 Opções .....	61
8.9.3 Medição de temperatura .....	62
8.9.4 Aquisição avançada.....	62
8.8.5 Trigger avançado .....	63
8.10 Menu Simulações.....	64
8.11 Menu idioma.....	65
8.12 Módulo para o cadastro de corpos de prova.....	65
8.13 Geração de relatório de ensaio .....	67
8.14 Sair do Software.....	68
9. Advertências .....	69
10. Solução de problemas.....	70
11. Assistência técnica .....	72
12. Termo de garantia.....	72
13. Termo de responsabilidade .....	72
Apêndice A – Guia rápido de medição com o Sonelastic® .....	73
Apêndice B – Equações utilizadas para o cálculo das propriedades elásticas .....	74
Apêndice C – Detalhamento sobre os cálculos do amortecimento.....	80
Apêndice D – Importação de arquivo CSV no Microsoft Excel .....	81

## 1. Introdução

Os equipamentos e produtos da empresa ATPC Engenharia Física, Divisão Sonelastic®, são projetados e fabricados para oferecer uma vida útil longa e um ótimo desempenho durante sua utilização. Este Manual de Instalação e Operação contém informações importantes e necessárias para a correta utilização e manutenção do Software Sonelastic®.



***Leia atentamente este manual antes de utilizar o software. A utilização imprópria pode causar danos e comprometer o desempenho.***

## 2. Definições

**Técnica de Excitação por Impulso:** A Técnica de Excitação por Impulso (tradução do inglês *Impulse Excitation Technique*), ou técnica das frequências naturais de vibração, é uma técnica não-destrutiva para a determinação dos módulos elásticos e do amortecimento de materiais através das frequências naturais de vibração do corpo de prova. Esta técnica é descrita na norma ASTM E1876, ABNT-8522-2:2021 e correlatas.

**Frequências de ressonância:** Frequências naturais de vibração do corpo de prova.

**Módulo de elasticidade:** O módulo de elasticidade ou módulo de Young é o coeficiente de proporcionalidade entre tensão e deformação mecânica no regime elástico, conforme descrito pela lei de Hooke. O módulo de elasticidade determinado pela Técnica de Excitação por Impulso é usualmente denominado como módulo dinâmico ( $E_d$ ).

**Amortecimento:** O amortecimento é o fenômeno pelo qual a energia mecânica é dissipada em sistemas dinâmicos. O amortecimento está diretamente ligado à presença de defeitos e às características microestruturais do material.

## 3. Aplicação e características

O Software Sonelastic® é empregado na caracterização não-destrutiva dos módulos elásticos e do amortecimento de materiais pela Técnica de Excitação por Impulso de acordo com a norma ASTM E1876, ABNT-8522-2:2021 e correlatas. O Software Sonelastic® foi desenvolvido para ser utilizado em conjunto com os Sistemas Sonelastic®.

O Software Sonelastic® é um analisador de vibrações transitórias, das quais extrai as frequências para o cálculo dos módulos elásticos e as respectivas taxas de atenuação para o cálculo do amortecimento. O software identifica quais são as frequências de ressonância e os respectivos amortecimentos mediante o processamento da resposta acústica do corpo a uma excitação mecânica por impulso.

Para ser utilizado, o software deve ser instalado em um computador (desktop ou notebook) com sistema operacional Windows 11.

#### 4. Especificações

Faixa de análise de frequência .....	20 Hz - 96 kHz
Faixa de medição dos módulos elásticos .....	0,1 - 1000 GPa

#### 5. Requisitos para o computador

Sistema operacional compatível .....	Windows 11
Taxa de amostragem da placa de aquisição <sup>1</sup> .....	Mínima de 48 kHz e máxima de 192 kHz
Espaço livre no HD .....	4 Gigabytes
Portas USB disponíveis .....	01 porta
Entradas de áudio disponíveis .....	01 TRS P2 / 3,5 mm
Resoluções de tela compatíveis <sup>2</sup> .....	1280x720, 1280x1024, 1366x768 1600x900 e 1920x1080 (Full HD)

<sup>1</sup> O Software Sonelastic® digitaliza a resposta acústica através da placa PCIe de aquisição de sinais XONAR ou do Módulo USB de aquisição de sinais ADAC. A frequência máxima mensurável é igual a metade da taxa de amostragem.

<sup>2</sup> O Software Sonelastic® possui ajuste automático de janela para as resoluções de tela listadas. Para resoluções não listadas, o software se ajustará à maior resolução possível da lista de resoluções compatíveis.

Antes de instalar o software, verifique os itens:

- O computador deverá estar ligado à uma tomada de energia elétrica (AC) com pino terra em funcionamento;
- O Software Sonelastic® deverá ser utilizado em ambientes de laboratório ou escritório com ruído ambiente moderado ( $\leq 60$  dBA). Ruídos intensos podem afetar a análise da resposta acústica;
- Para medições em função do tempo ou da temperatura, é aconselhável a instalação em um notebook ou PC com nobreak para evitar perdas de dados no caso de queda de energia.

## 6. Instalação do software e dos acessórios

### 6.1 Instalando o software no computador pela primeira vez

Os subitens a seguir detalham o processo de instalação e atualização do Software Sonelastic® para os sistemas operacionais compatíveis (item 5. *Requisitos para o computador*), incluindo o processo de instalação dos acessórios Sonelastic®. *Nota: Os Sistemas Sonelastic® são usualmente fornecidas com um computador tipo desktop DELL com o Software Sonelastic® já instalado.*

#### 6.1.1 Instalação passo-a-passo (Windows 10&11):

*Passo 01* – Utilize o pendrive de instalação ou solicite o link de download do instalador por e-mail para [info@sonelastic.com](mailto:info@sonelastic.com).

*Passo 02* – Na pasta “Sonelastic 6.0 Installer”, clique com o botão direito do mouse no arquivo “setup.exe” e selecione a opção “Executar como administrador”.

Recomenda-se fechar todos os programas que estejam sendo executados antes de iniciar o processo de instalação.

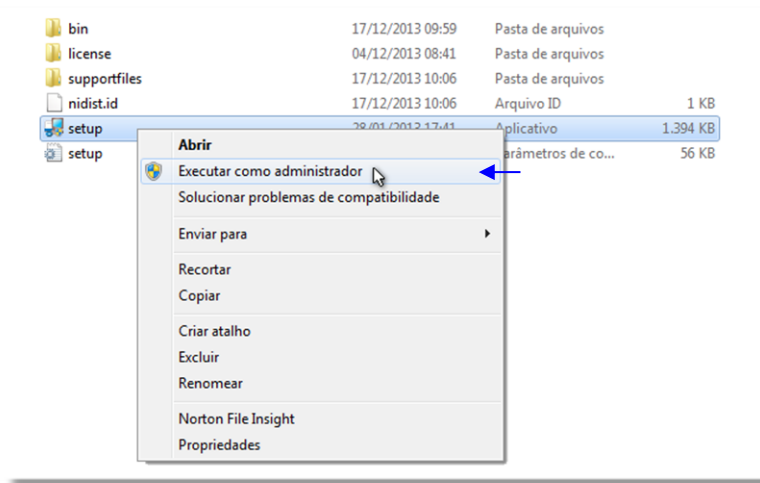


Figura 1 - Execute o instalador do Software como Administrador.

*Passo 03* – Clique em “Sim” na janela de diálogo do “Controle de Conta de Usuário”.

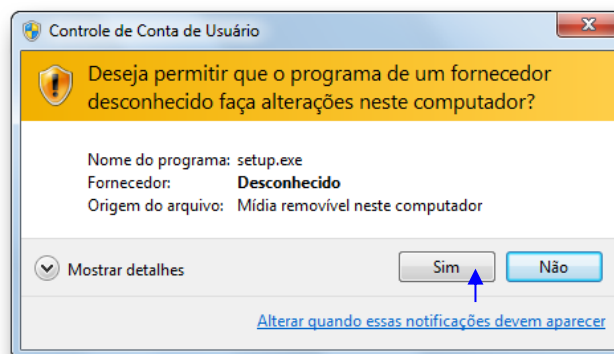


Figura 2 - Aceite para instalar o Software.



Passo 04 – Aguarde a tela abaixo e clique em “Next”.

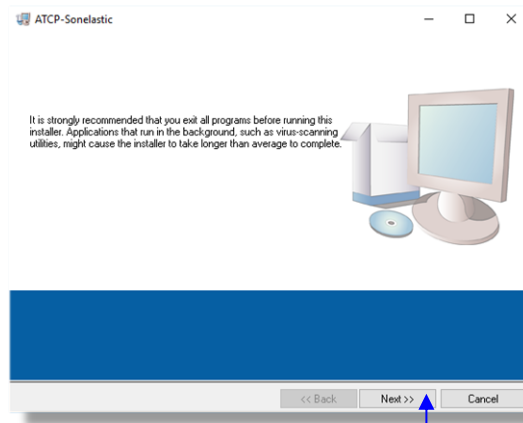


Figura 3 – Clique “Next” para avançar.

Passo 05 – Selecione o diretório de destino dos arquivos referentes à instalação. Recomendamos não alterar estes diretórios. Para avançar, clique no botão “Next”.

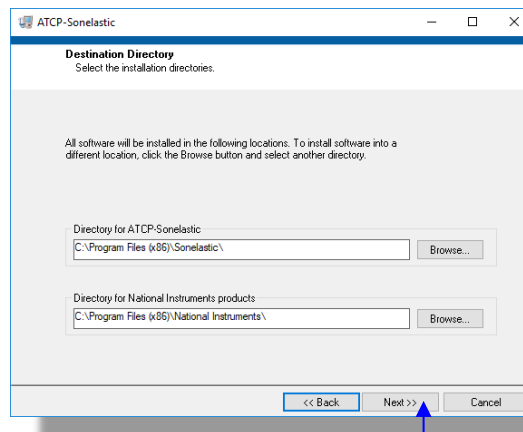


Figura 4 – Clique “Next” para avançar.

Passo 06 – Leia o acordo de licença da National Instruments que trata sobre os *plug-ins* utilizados pelo Software Sonelastic®. Para aceitar os termos, clique em “Accept”, marcando o círculo, e depois clique em “Next”.

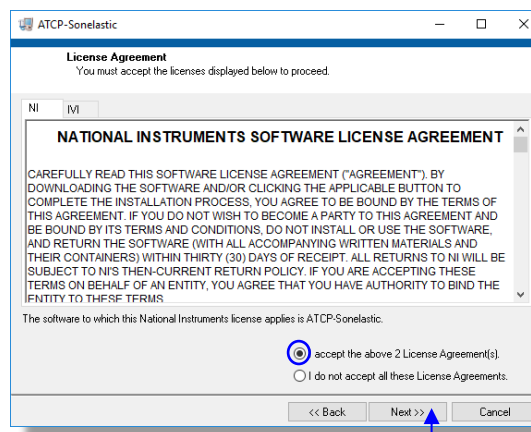


Figura 5 – Aceite as licenças e clique “Next” para instalar o software.

*Passo 07* – Clique no botão “Next” para iniciar a instalação.

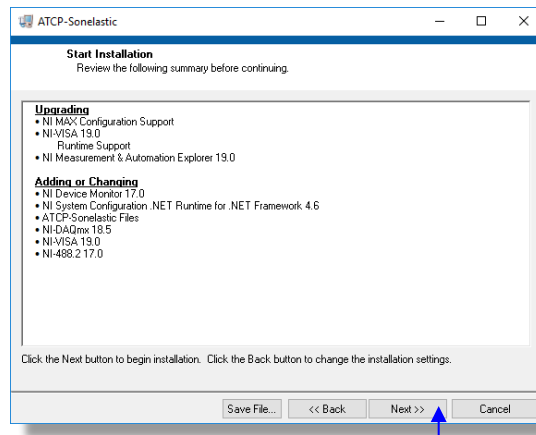


Figura 6 – Clique “Next” para iniciar a instalação.

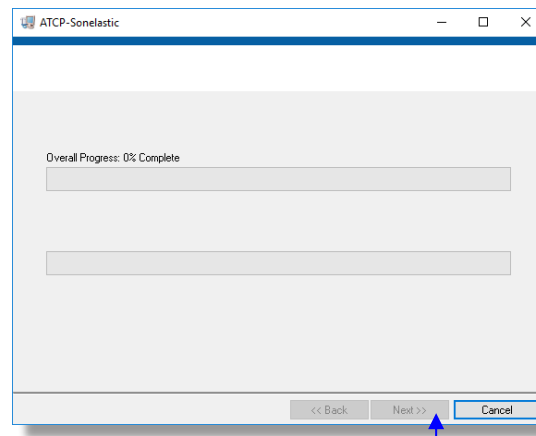


Figura 7 – Após progresso da instalação, clique “Next” para concluir.

*Passo 08* – Ao concluir a instalação clique em “Finish” e reinicie o computador.

*Passo 09* – Atribua direitos administrativos ao Software Sonelastic®. Clique com o botão direito do mouse no ícone Sonelastic® e selecione a opção “Propriedades”.

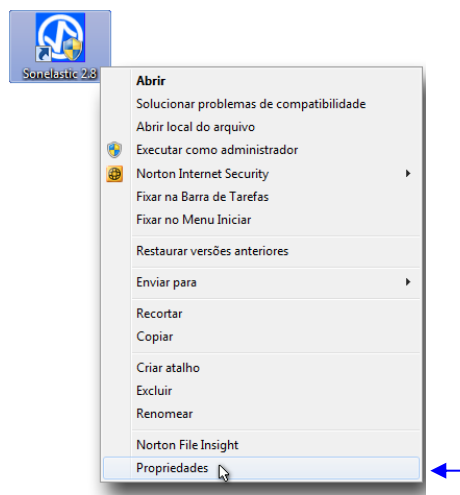


Figura 8 – Clique com o botão direito sobre o ícone do software e clique em “Propriedades”.

**Passo 10** – Selecione a aba “Compatibilidade” e ative a opção “Executar este programa como administrador”. Em caso de um sistema operacional com mais de um usuário, clique no botão “Alterar configurações de todos os usuários” e selecione a opção “Executar este programa como administrador” na nova janela. Clique em “OK” para aceitar as alterações feitas.

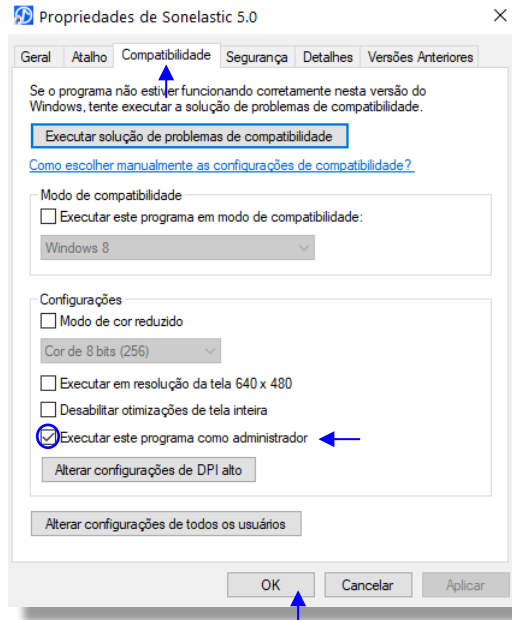


Figura 9 – Selecione para o Software ser executado como administrador.

**Passo 11** – *Autorize o salvamento e modificação de arquivos.* Selecione a aba “Segurança” e ative as permissões para todos os usuários (utilize o botão Editar). Clique no botão “OK” para confirmar as alterações.

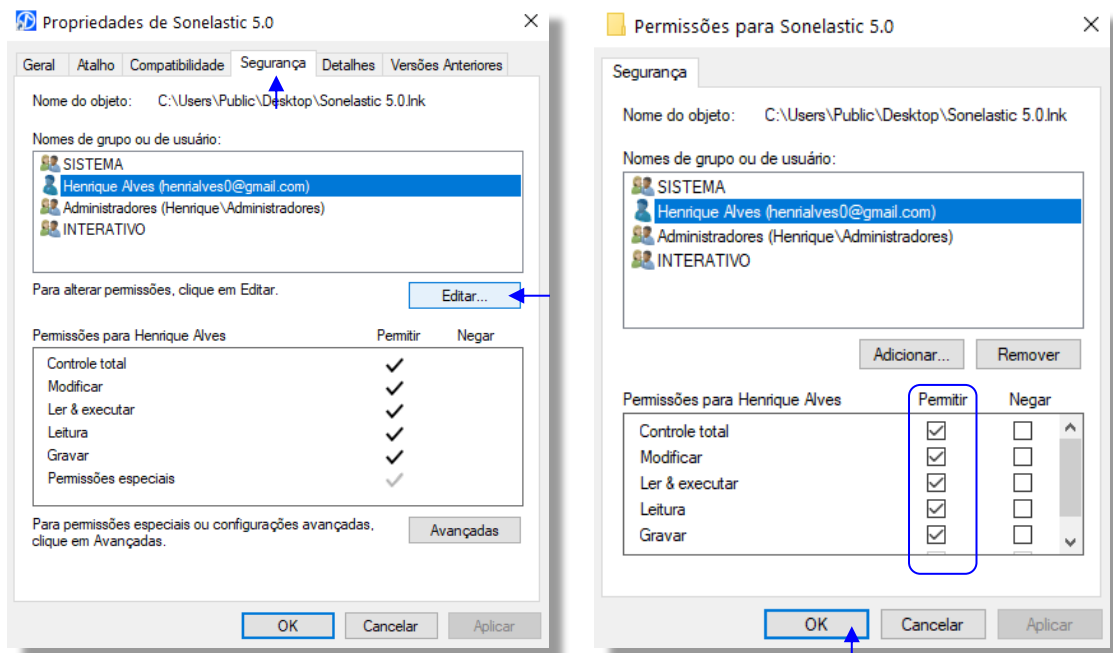


Figura 10 – Permita que o software realize alterações de arquivo para todos os usuários e grupos.

*Passo 12 – Ative a licença do software. Abra o Software Sonelastic® e complete os campos “Name” (Nome), “Enterprise” (Empresa) e “Contact” (endereço de email). Uma vez concluído, clique no botão “Save File” para criar o arquivo de identificação. Este arquivo deve ser enviado por e-mail à ATCP ([info@sonelastic.com](mailto:info@sonelastic.com)) para que seja criado e retornado o arquivo de licença. A licença será válida somente para o computador do arquivo de identificação.*

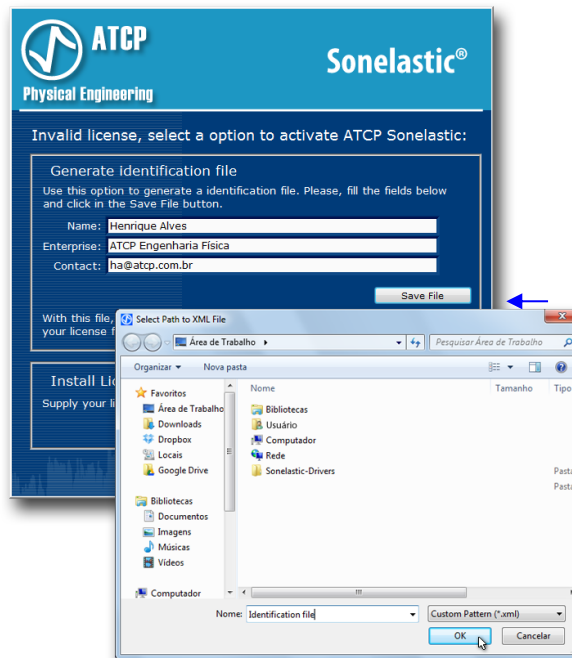


Figura 11 – Gerando o arquivo de identificação.

*Passo 13 – Após o recebimento do arquivo de licença, execute novamente o Software e carregue o arquivo clicando no botão “Activate Sonelastic”. Pronto, o processo de instalação está concluído! Feche o Software Sonelastic® e execute-o novamente, o programa já estará pronto para ser utilizado. O idioma pode ser escolhido no menu “Language”.*

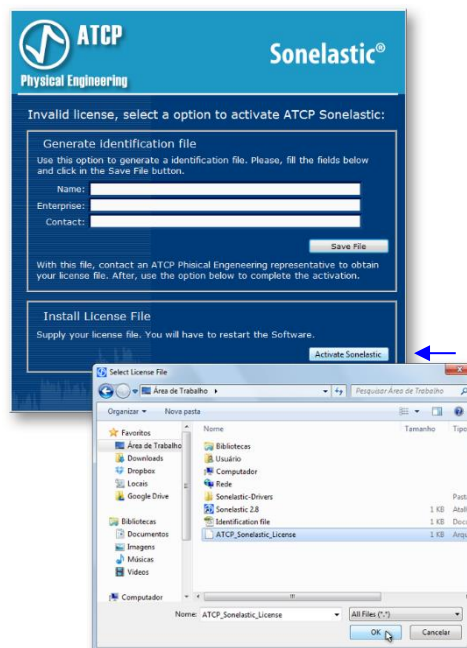


Figura 12 – Ativando o software após o recebimento do arquivo de licença.

### 6.1.2 Instalação da dll MSXML

O software necessita da dll MSXML para funcionar. Após a instalação do software, localize e abra a pasta "Sonelastic-Drivers" na área de trabalho. Localize o executável msxml.msi e instale:

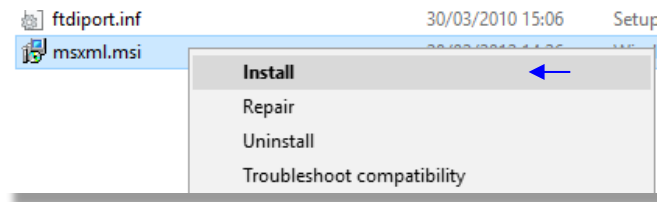


Figura 13 – Instalação da DLL MSXML.

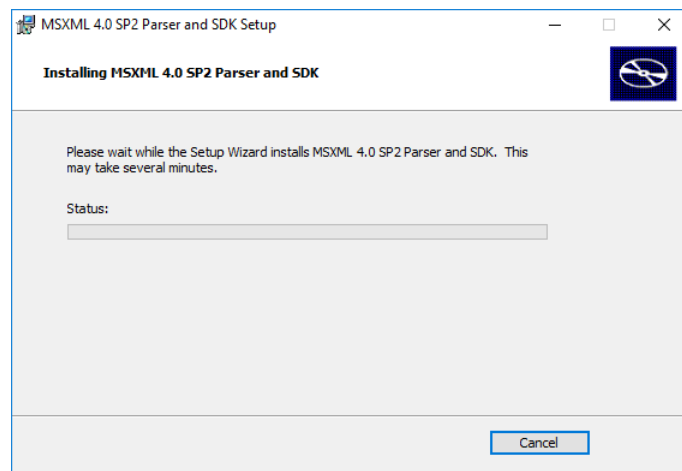


Figure 14 – Tela do progresso da instalação da dll MSXML.

Após concluir a instalação, clique em "Finish".

## **6.2 Atualizando o Software (para usuários que já possuem a licença)**

Para atualizar o Software Sonelastic®, siga os seguintes passos:

*Passo 01* – Abra o “Painel de Controle” e clique no link “Desinstalar um programa” na categoria “Programas”.

*Passo 02* – Na lista de Programas e Recursos do sistema, localize o item “ATCP-Sonelastic”.

*Passo 03* – Clique com o botão direito do mouse sobre o ícone “ATCP-Sonelastic” e selecione a opção “Desinstalar”. Siga as instruções para desinstalar o software.

*Passo 04* – Instale a nova versão do Software Sonelastic® conforme descrito no item 6.1 *Instalando o Software no computador pela primeira vez.*

### 6.3 Conectando o captador acústico e configurando as opções de áudio

*Passo 01* – Conecte o Captador Acústico CA-PD ou CA-DP-S na entrada de áudio da placa de aquisição do computador ou do módulo de aquisição USB.



Figura 15 - Conector TRS P2 / 3,5 mm do Captador Acústico CA-DP.

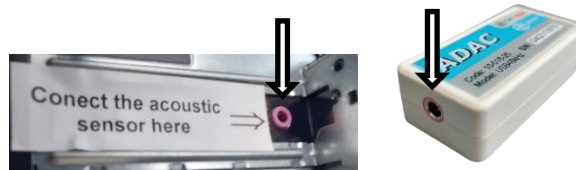


Figura 16 - Entrada de áudio da placa de aquisição XONAR, instalada no painel traseiro de um computador DELL, e do módulo de aquisição ADAC. A entrada de áudio é sempre um conector P2.

*Passo 02* – Configure as opções de áudio. Para que a resposta acústica capturada não sofra distorções, é necessário que tanto o sistema operacional quanto o software de gerenciamento de áudio não apliquem melhorias ou filtragens no sinal. Na Área de notificações, localize e clique com o botão direito do mouse no ícone referente aos Alto-falantes/Fones de ouvido.

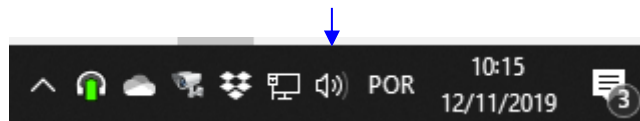


Figura 17 – Ícone dos autofalantes e headsets.

*Nota:* Se este ícone não aparece na área de notificações do Windows, é possível abrir as opções de configuração de som pelo Painel de controle. Neste caso, clique na categoria "Hardware e Sons" e, posteriormente, no ícone "Som", identificado pela imagem de um alto-falante.

*Passo 03* - No menu de contexto, selecione a opção "Abrir Configurações de som".

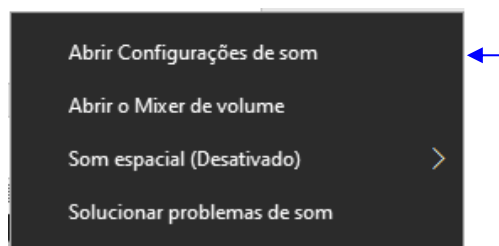



Figura 18 – Abrir Configurações de som.

*Passo 04* – Na interface do Windows, escolha "Painel de Controle de Som" e na janela "Som", a aba "Gravação", selecione o Microfone que possui o símbolo  no canto inferior direito. Posteriormente, clique no botão "Propriedades", como descrito na figura a seguir.

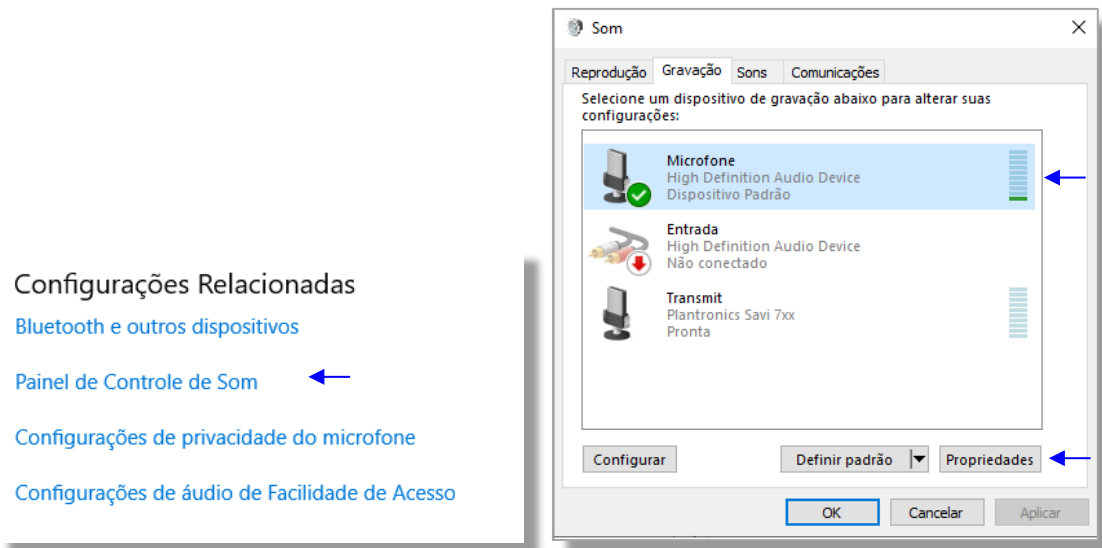


Figura 19 – Acessando as configurações de microfone.

*Passo 05* - Dois tipos de configurações de som podem aparecer, a seguir estão ilustradas como realizar as devidas alterações em ambas situações. Na nova janela, selecione a aba "Avançado" ou "Aperfeiçoamentos", conforme ilustrado na figura a seguir. Desmarque a opção "Habilitar aperfeiçoamento de áudio" ou marque a opção "Desativar todos os efeitos sonoros". Aplique as mudanças clicando no botão "OK".

*Passo 06* – No campo "Formato Padrão" ou equivalente, selecione o modo com a maior taxa de amostragem disponível (192000 Hz para a XONAR e 48000 Hz para o módulo ADAC).

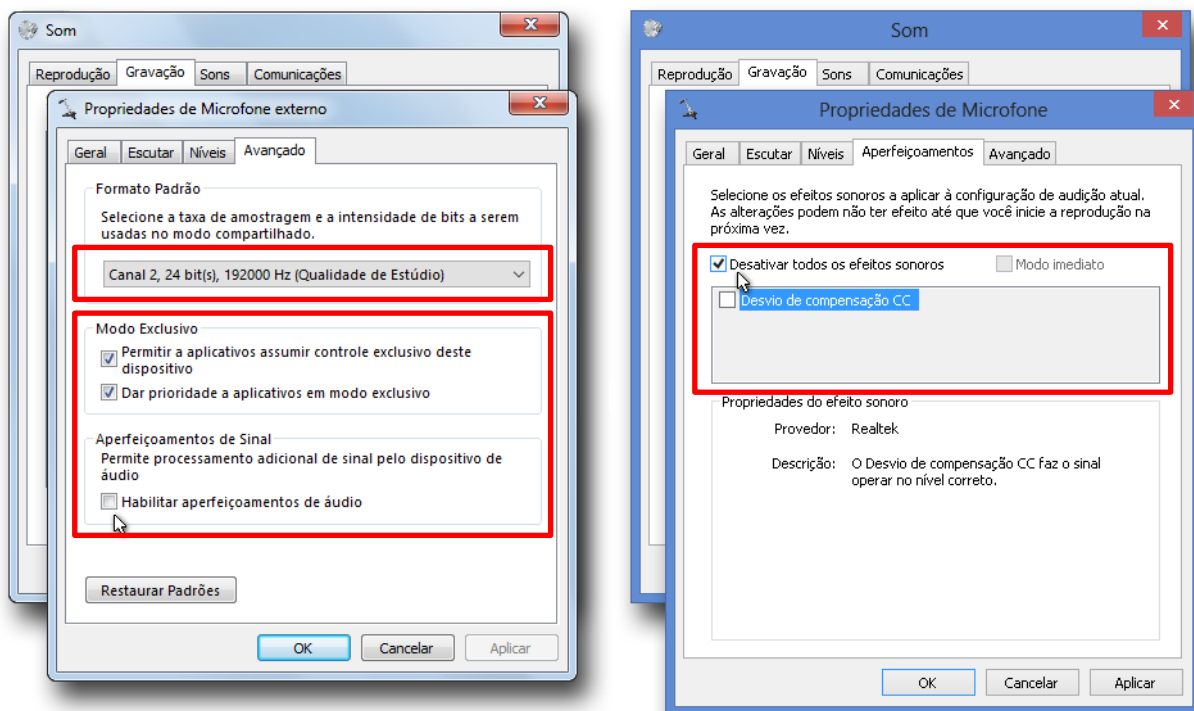


Figura 20 – Configurações da gravação.



#### **6.4 Instalando o Pulsador Automático IED**

As informações referentes à instalação e operação Pulsador Automático IED encontram-se detalhadas no Manual de Instalação e Operação do referido produto.

#### **6.5 Instalando o suporte de corpos de prova**

As informações relativas à instalação e operação dos suportes fabricados pela ATCP Engenharia Física para utilização com o Software Sonelastic® encontram-se detalhadas no Manual de Instalação e Operação de cada modelo específico de suporte (SB-AP, SA-BC, SX-PD e SA-AG).



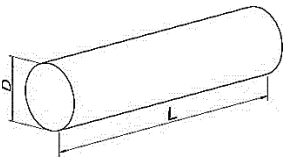
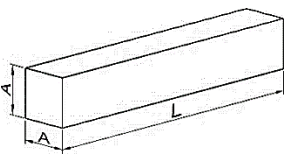
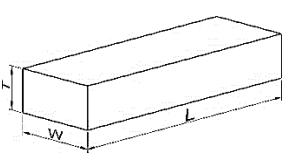
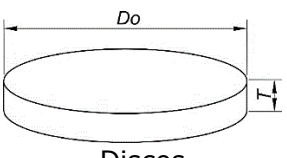
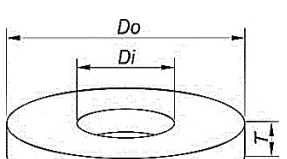
**Atenção! A escolha do suporte depende das dimensões do corpo de prova. Para maiores informações, visite o site [www.sonelastic.com](http://www.sonelastic.com) ou contate-nos ([info@sonelastic.com](mailto:info@sonelastic.com)).**

## 7. Corpos de prova

### 7.1 Razões de aspecto recomendadas e dimensões típicas

Há razões de aspecto mínimas que devem ser observadas para que não ocorra o acoplamento entre os modos de vibração do corpo de prova. Além disso, a razão de aspecto determina o padrão de frequências da resposta acústica, sendo recomendável a padronização para facilitar a correta identificação das frequências.

Tabela 1 - Proporções recomendadas e dimensões típicas.

Geometria	Proporções recomendadas	Dimensões típicas
 Cilindro	$\frac{L}{D} \geq 2$ <p>A razão entre o comprimento (L) e o diâmetro (D) deve ser maior ou igual a 2.</p>	(L x D) - 50 x 5 mm - 50 x 10 mm - 100 x 50 mm - 200 x 100 mm - 300 x 150 mm - 500 x 50 mm
 Barra de secção quadrada	$\frac{L}{A} \geq 3$ <p>A razão entre o comprimento (L) e a aresta (A) deve ser maior ou igual a 3.</p>	(L x A x A) - 30 x 5 x 5 mm - 100 x 15 x 15 mm - 150 x 25 x 25 mm - 150 x 35 x 35 mm - 150 x 40 x 40 mm - 500 x 50 x 50 mm
 Barra de secção retangular	$\frac{L}{W} \geq 4$ <p>A razão entre o comprimento (L) e a largura (W) deve ser maior ou igual a 4.</p> $\frac{W}{T} \leq 8$ <p>A razão entre a largura (W) e a espessura (T) deve ser menor ou igual a 8.</p>	(L x W x T) - 30 x 6 x 2 mm - 40 x 10 x 4 mm - 60 x 12 x 4 mm - 100 x 15 x 2 mm - 150 x 30 x 10 mm - 150 x 37,5 x 5 mm - 300 x 60 x 20 mm - 500 x 100 x 35 mm
 Discos	$\frac{D_o}{T} \geq 10$ <p>A razão entre o diâmetro (<math>D_o</math>) e a espessura (T) deve ser maior ou igual a 10.</p>	( $D_o$ x T) - 10 x 1 mm - 20 x 2 mm - 30 x 2 mm - 25,4 x 2,5 mm - 50,8 x 2,54 mm
 Anéis	$\frac{D_o}{T} \geq 10$ <p>A razão entre o diâmetro (<math>D_o</math>) e a espessura (T) deve ser maior ou igual a 10.</p> $\frac{D_o}{D_i} \geq 2$ <p>A razão entre o diâmetro externo (<math>D_o</math>) e o diâmetro interno (<math>D_i</math>) deve ser maior ou igual a 2.</p>	

A Tabela 1 apresenta as razões de aspecto recomendadas e as dimensões típicas para cilindros, barras retangulares, discos e anéis.

Observações importantes para a preparação e acabamento dos corpos de prova:

- A tolerância dimensional e o paralelismo recomendados são de 0,1%;
- As faces devem ser plano-paralelas;
- Os cantos não devem ser arredondados.

## 7.2 Posicionamento e dimensões do corpo de prova

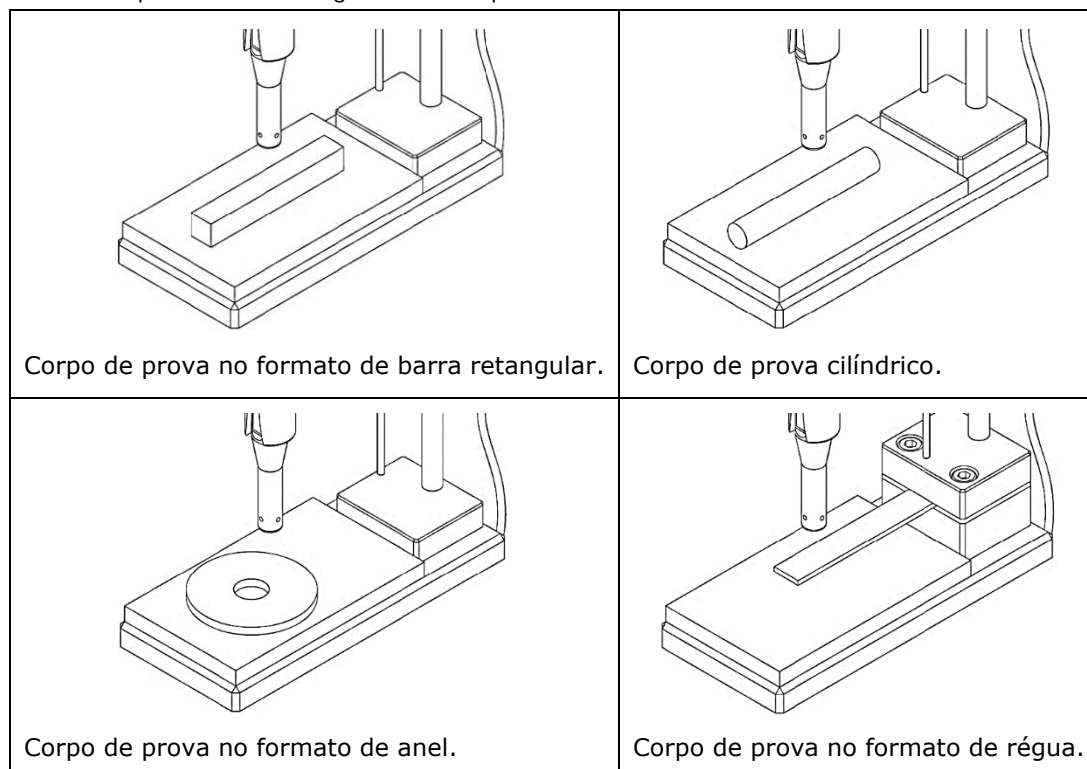
A ATCP Engenharia Física oferece vários suportes de corpo de prova. A seguir, veja as informações básicas de nossos suportes e as respectivas dimensões máximas e mínimas.

### SB-AP - Suporte para corpos de prova de pequeno porte e barras engastadas

Dimensões máximas para corpos de prova cilíndricos (L x D) .....	120 x 60 mm
Dimensões mínimas para corpos de prova cilíndricos (L x D) .....	15 x 2 mm
Dimensões máximas para corpos de prova retangulares (L x W x T) .....	120 x 40 x 40 mm
Dimensões mínimas para corpos de prova retangulares (L x W x T) .....	15 x 2 x 2 mm
Dimensões máximas para os corpos de prova engastados (L x W x T) ....	200 x 25 x 5 mm
Dimensões mínimas para os corpos de prova engastados (L x W x T) .....	120 x 10 x 0,5 mm
Dimensões máximas para discos e anéis (D x T) .....	80 x 8 mm
Dimensões mínimas para discos e anéis (D x T) .....	15 x 1 mm

No Suporte SB-AP o corpo de prova é apoiado sobre um bloco de espuma e posicionado de acordo com o modo de vibração de interesse. Para mais informações, consulte o respectivo manual de instalação e operação.

Tabela 2 – Suporte SB-AP com as geometrias compatíveis.



### SA-BC - Suporte ajustável para barras e cilindros

Dimensões máximas para corpos de prova cilíndricos (L x D) ..... 450 x 200 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova cilíndricos (L x D) ..... 100 x 5 mm

Dimensões máximas para corpos de prova retangulares (L x W x T) .... 450 x 170 x 170 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova retangulares (L x W x T) .... 100 x 5 x 5 mm

No SA-BC, o corpo de prova é apoiado nos cabos do suporte a uma distância de  $0,224L$  de suas extremidades, sendo  $L$  o comprimento do corpo de prova. O cálculo da distância entre as linhas de apoio é realizado automaticamente e informado pelo Software Sonelastic®.

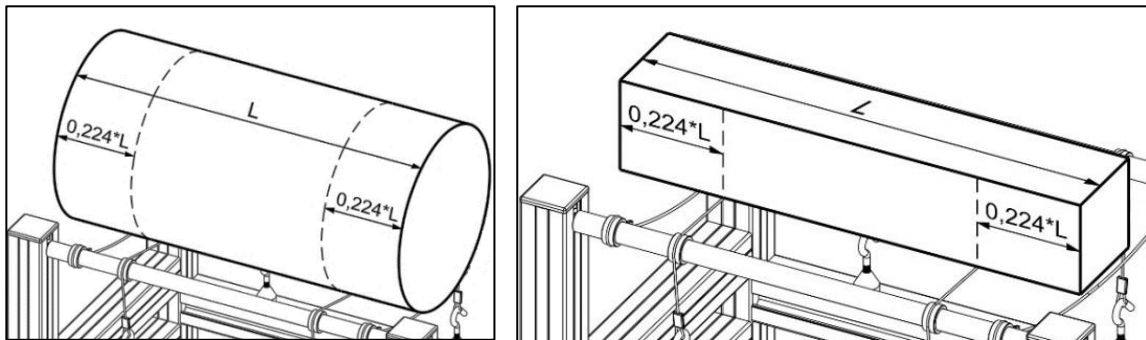


Figura 21 – Suporte SA-BC com corpo de prova cilíndrico e com corpo de prova prismático.

Para mais informações, consulte o manual do SA-BC.

### SX-PD - Suporte ajustável para discos e anéis

Dimensões máximas para corpos de prova circulares (D x T) ..... 380 x 60 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova circulares (D x T) ..... 80 x 5 mm

Dimensões máximas para corpos de prova retangulares (L x W x T) ..... 380 x 380 x 60 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova retangulares (L x W x T) ..... 60 x 60 x 5 mm

No SX-PD o corpo de prova é posicionado de forma que o centro do corpo de prova fique alinhado com o centro do suporte, como ilustrado a seguir.

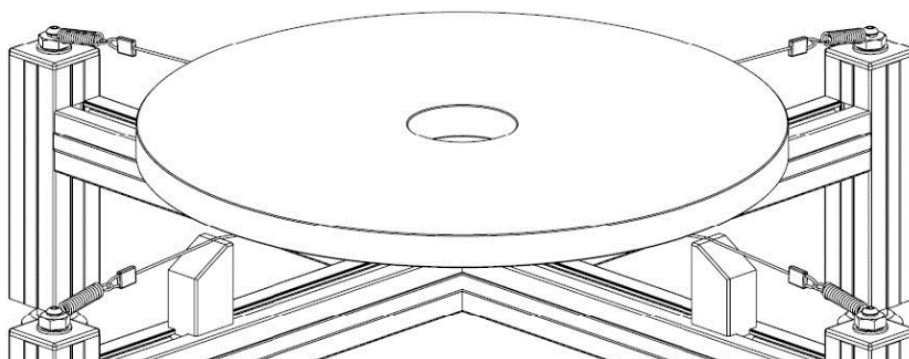


Figura 22 – Suporte SX-PD com corpo de prova no formato de anel.

Para mais informações, consulte o manual do suporte SX-PD.

### SA-AG - Suporte ajustável para corpos de provas de grande porte

Dimensões máx. para corpos de prova retangulares (L x W x T) ..... 5.300 x 200 x 200mm

Dimensões mín. para corpos de prova retangulares (L x W x T) ..... 120 x 20 x 20 mm

Dimensões máximas para corpos de prova cilíndricos (L x D) ..... 5.300 x 200 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova cilíndricos (L x D) ..... 120 x 30 mm

No SA-AG o corpo de prova é apoiado de forma simétrica a uma distância  $0,224L$  de suas extremidades, sendo L o comprimento do corpo de prova. O cálculo da distância entre os apoios é realizado automaticamente e informado pelo Software Sonelastic®.

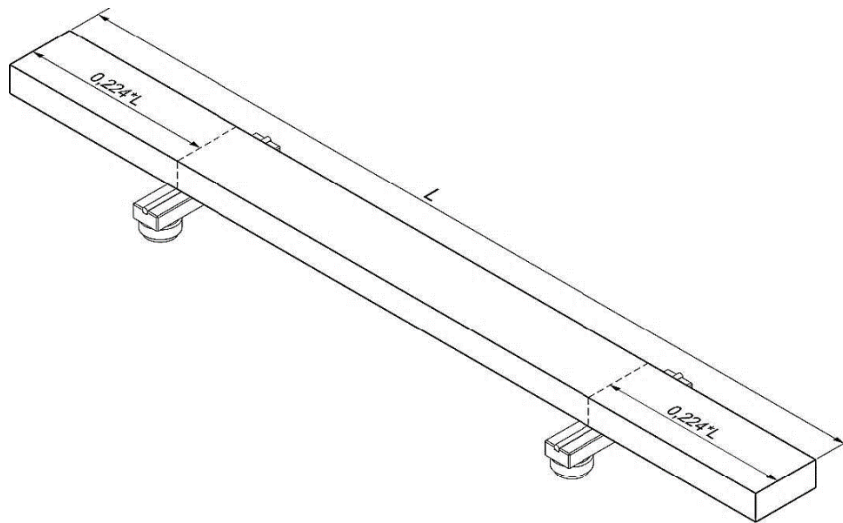




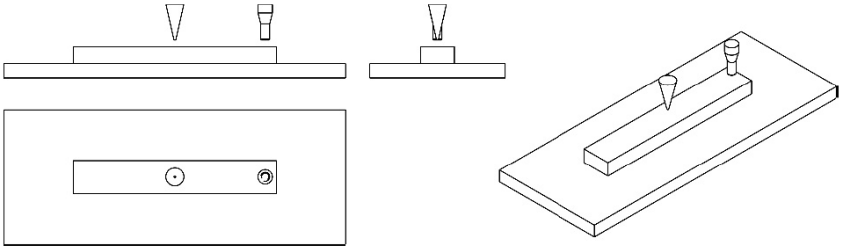
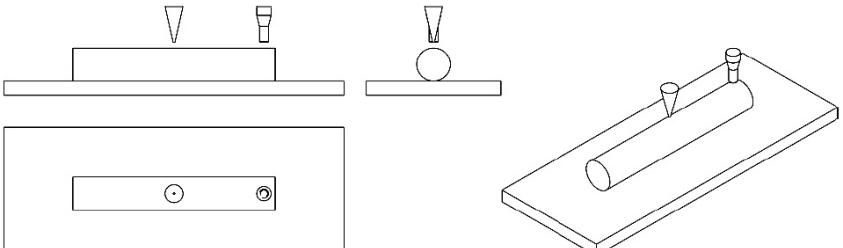
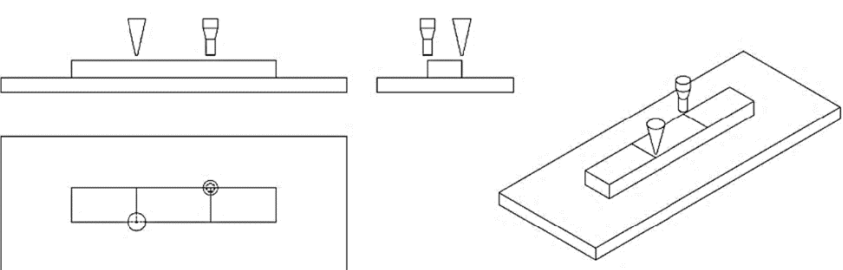
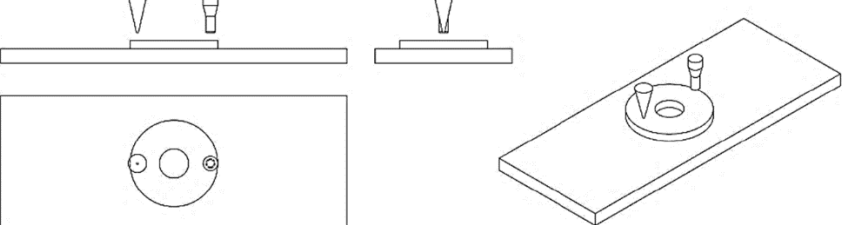
Figura 23 – Suporte SA-AG com corpo de prova no formato de barra retangular.

Para mais informações, consulte o manual do suporte SA-AG.

### 7.3 Modos de excitação e captação


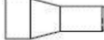
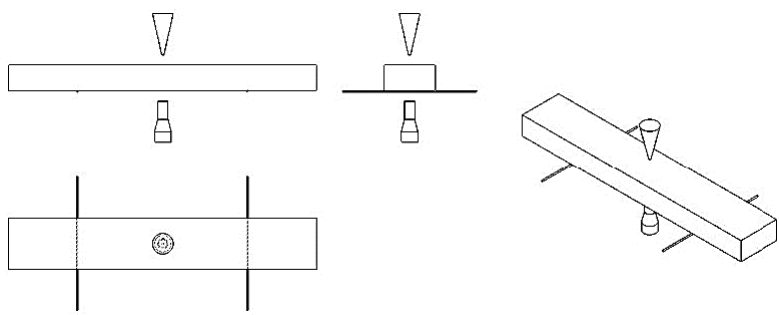
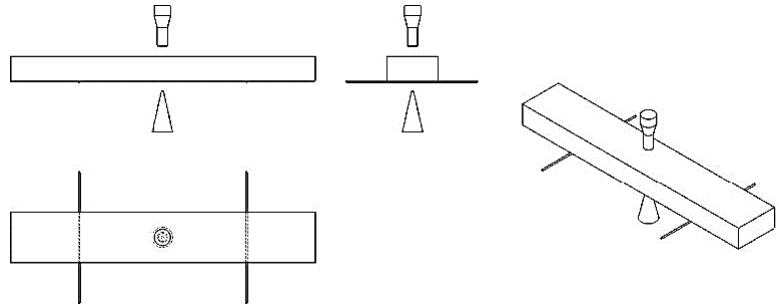
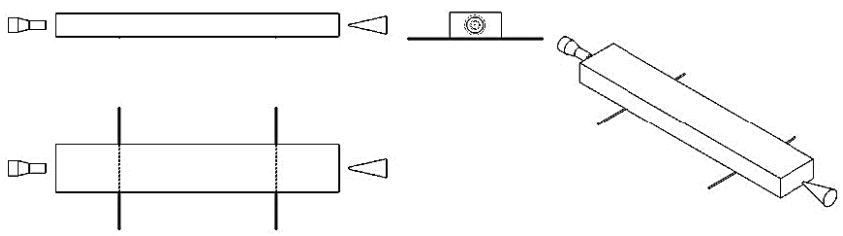
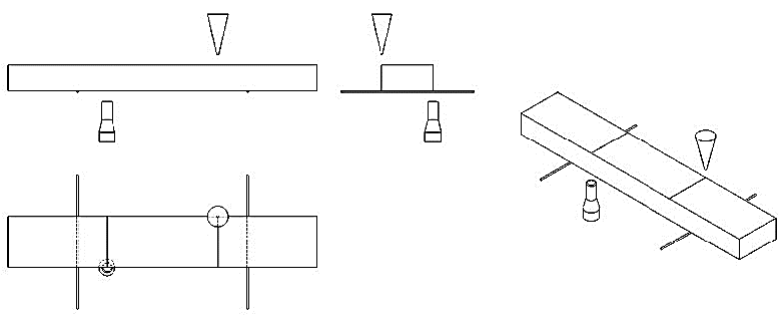
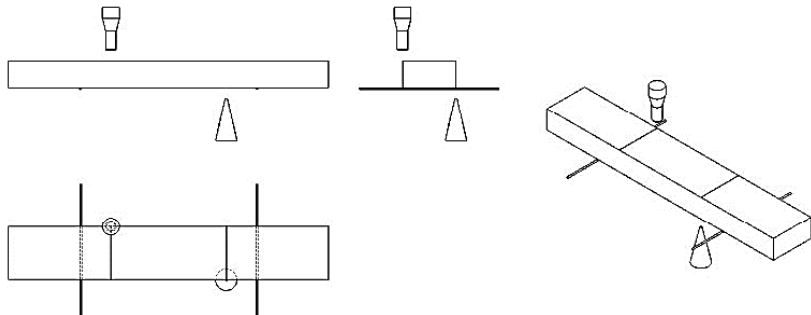
#### Suporte de corpos de provas SB-AP


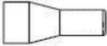
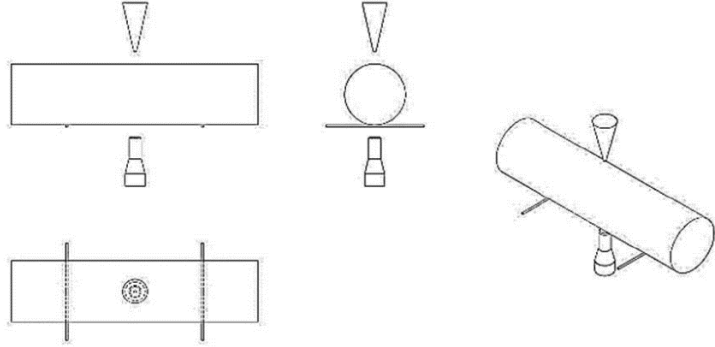
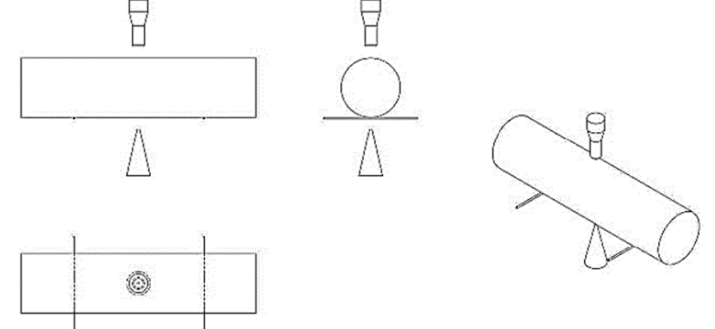
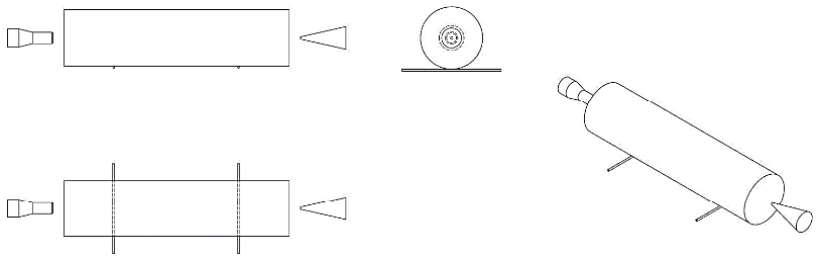
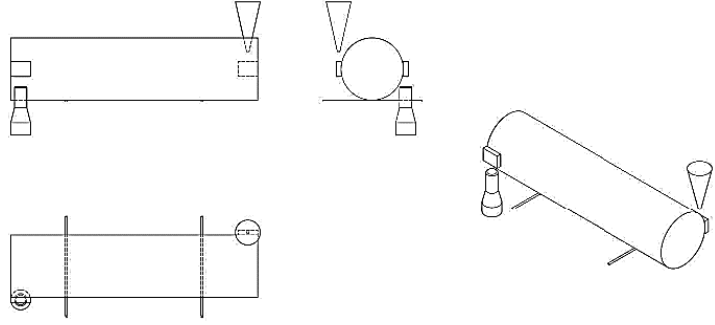
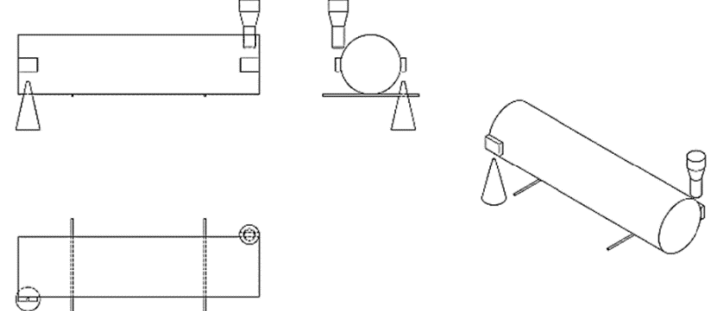
Tabela 3 – Modos de excitação e captação para o suporte SB-AP.

Excitação: 	Captação: 
<p><b>Modo flexional</b></p> <p><i>Excitação no centro c/ captação na extremidade, ambas centralizadas com relação à largura. Permite a caracterização do módulo de Young (E).</i></p>	 <hr/> 
<p><b>Modo flexional + torcional</b></p> <p><i>Excitação e captação em laterais opostas na posição 0,32L (L = comprimento). Permite a caracterização de E, G e <math>\mu</math>. Aplica-se somente a barras retangulares.</i></p>	
<p><b>Modo planar anti-flexional</b></p> <p><i>Excitação e captação diametralmente opostas. Permite a caracterização do módulo de Young (E). Aplica-se somente a discos e anéis.</i></p>	

## Suporte de corpos de provas SA-BC

Tabela 4 – Modos de excitação e captação para o suporte SA-BC.


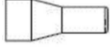

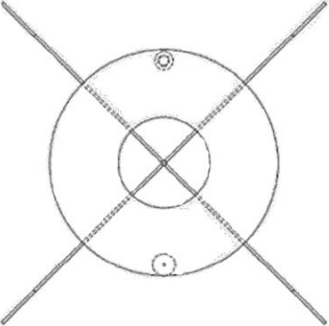

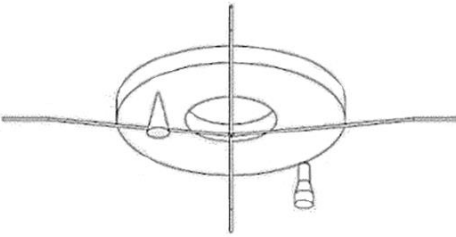

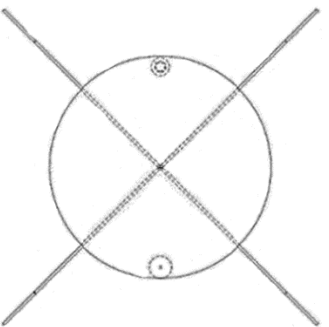

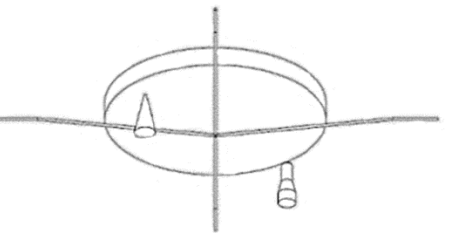
Excitação: 	Captação: 
<p><b>Modo flexional - I</b></p> <p><i>Excitação por cima c/ captação por baixo, ambas no centro do corpo de prova. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional - II</b></p> <p><i>Excitação por baixo c/ captação por cima, ambas no centro do corpo de prova. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo longitudinal</b></p> <p><i>Excitação e captação centradas nos topos e contrapostas. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional + torcional - I</b></p> <p><i>Excitação por cima c/ captação por baixo em laterais opostas na posição 0,32L. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional + torcional - II</b></p> <p><i>Excitação por baixo c/ captação por cima em laterais opostas na posição 0,32L. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	

Excitação: 	Captação: 
<p><b>Modo flexional - I</b></p> <p><i>Excitação por cima c/ captação por baixo, ambas no centro do corpo de prova. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional - II</b></p> <p><i>Excitação por baixo c/ captação por cima, ambas no centro do corpo de prova. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo longitudinal</b></p> <p><i>Excitação e captação centradas nos topos e contrapostas. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional + torcional - I</b></p> <p><i>Excitação por cima c/ captação por baixo em laterais opostas nas extremidades. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional + torcional - II</b></p> <p><i>Excitação por baixo c/ captação por cima em laterais opostas nas extremidades. Cabos na posição 0,224L.</i></p>	




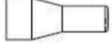
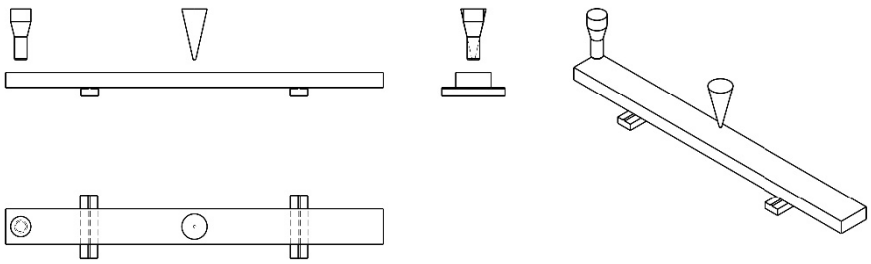
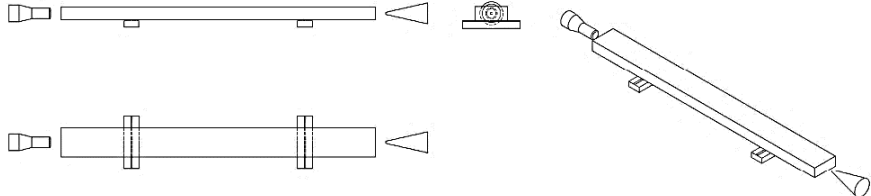
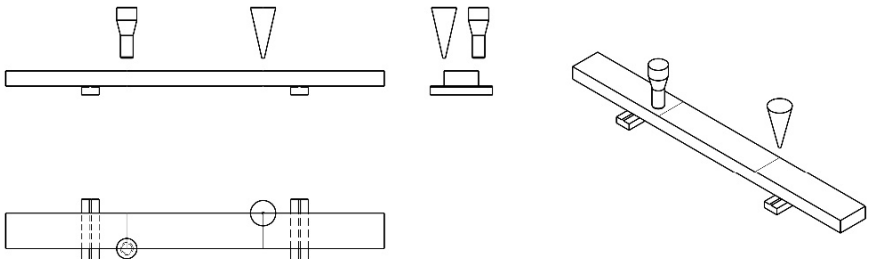
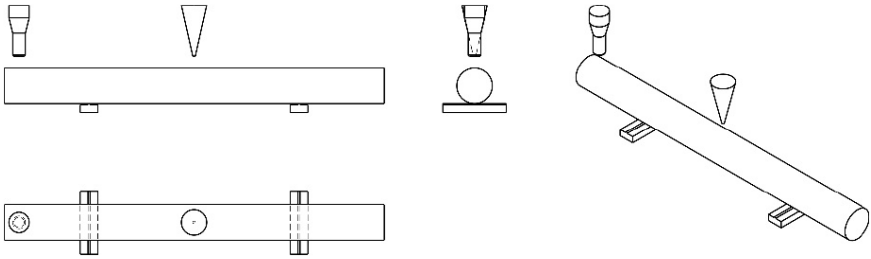
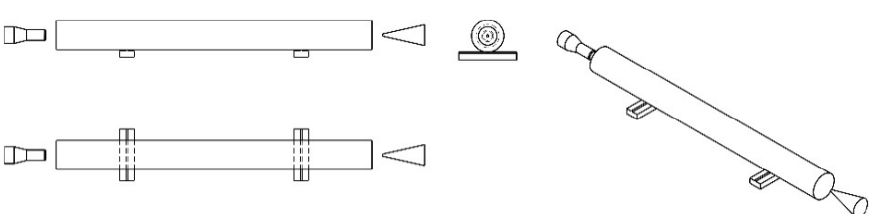
**Suporte de corpos de provas SX-PD**

Tabela 5 – Modos de excitação e captação para o suporte SX-PD.

Excitação: 	Captação: 	
<p><b>Modo planar para anéis</b></p> <p><i>Excitação e captação diametralmente opostas na face inferior. Permite a caracterização do módulo de Young (E). Aplica-se somente a discos e anéis.</i></p>	 	 
<p><b>Modo planar para discos</b></p> <p><i>Excitação e captação diametralmente opostas na face inferior. Permite a caracterização do módulo de Young (E). Aplica-se somente a discos e anéis.</i></p>	 	 

## Suporte de corpos de provas SA-AG

Tabela 6 – Modos de excitação e captação para o suporte SA-AG.

Excitação: 	Captação: 
<p><b>Modo flexional p/ barras</b></p> <p><i>Excitação no centro c/ captação na extremidade, ambas centralizadas com relação à largura. Apoios na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo longitudinal p/ barras</b></p> <p><i>Excitação e captação centradas nos topos e contrapostas. Apoios na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional + torcional</b></p> <p><i>Excitação e captação por cima em laterais opostas na posição 0,32L. Apoios na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo flexional p/ cilindros</b></p> <p><i>Excitação no centro c/ captação na extremidade, ambas centralizadas com relação à largura. Apoios na posição 0,224L.</i></p>	
<p><b>Modo longitudinal p/ cilindros</b></p> <p><i>Excitação e captação centradas nos topos e contrapostas. Apoios na posição 0,224L.</i></p>	

## 8. Operação do Software

Antes de começar a operar o software, verifique se:

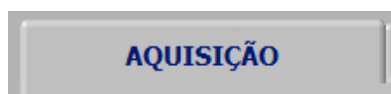
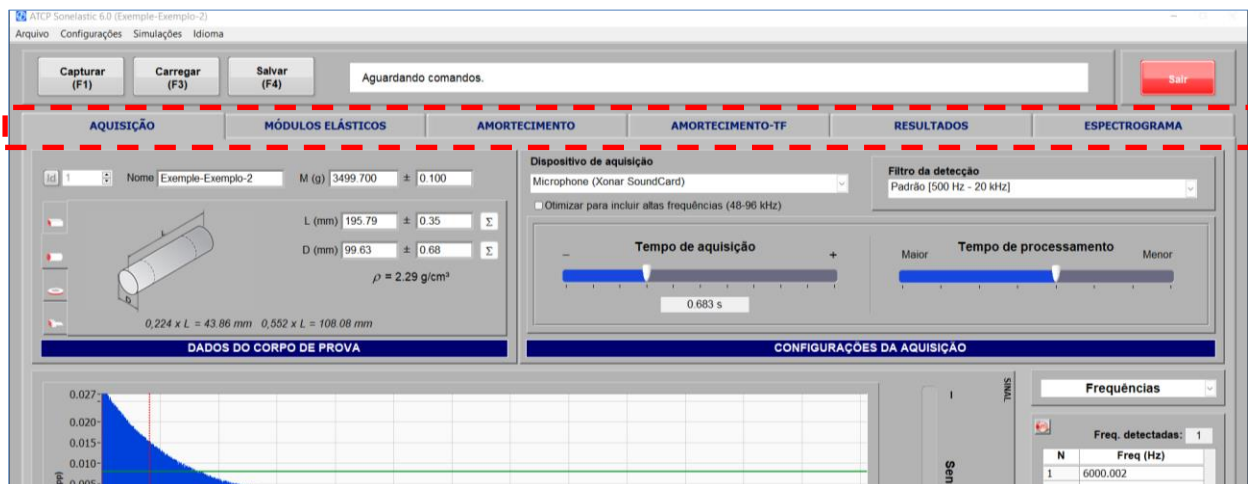
- A versão 6.0 do Software Sonelastic® está instalada no computador;
- O corpo de prova e os itens do Sistema Sonelastic® estão posicionados de acordo com o item 7. *Corpos de prova*;
- O Sistema Pulsador Automático IED está ligado e corretamente instalado (se aplicável).

Após essa verificação, o sistema estará pronto para uso.

O Software Sonelastic® foi desenvolvido para possibilitar ao usuário uma maneira fácil, rápida e interativa de caracterizar os módulos elásticos dinâmicos de materiais. A seguir serão apresentadas as informações para a configuração e a operação do Software Sonelastic®.

*Nota: O Apêndice A consiste em um guia rápido de utilização do Software Sonelastic®.*

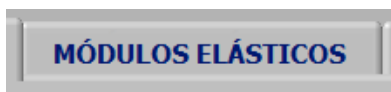
O Software Sonelastic® está estruturado em módulos (abas) que realizam o processamento sequencial da resposta acústica, conforme mostrado na Figura 24 e fragmentos a seguir.



Módulo de aquisição do sinal.



Módulo de determinação do amortecimento no domínio tempo-frequência.



Módulo de determinação dos módulos elásticos.



Módulo de armazenamento dos resultados.



Módulo de determinação do Amortecimento no domínio do tempo.



Módulo de visualização do espectrograma do sinal.

Figura 24 – Abas do Software Sonelastic®.

## 8.1 Aba AQUISIÇÃO

### 8.1.1 Informando as dimensões do corpo de prova

Aba aquisição (aba principal do Software Sonelastic®):

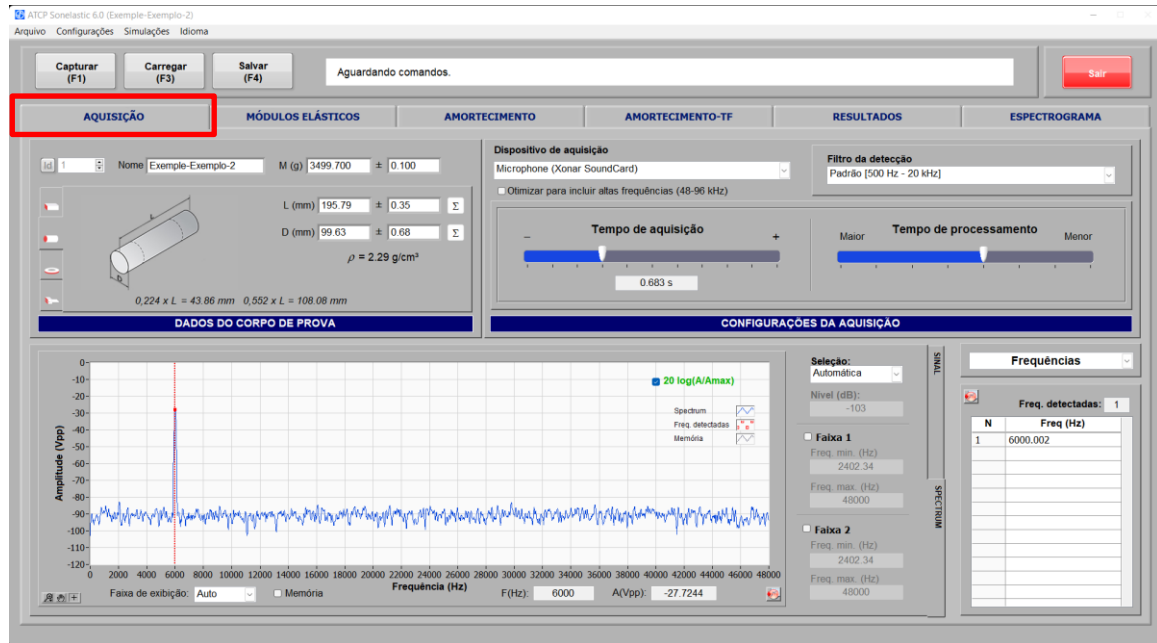


Figura 25 – Tela do Software Sonelastic® com a aba AQUISIÇÃO em destaque.

**Passo 01** – No campo “Dados do corpo de prova”: **DADOS DO CORPO DE PROVA** escolha a geometria do corpo de prova: barra retangular, cilindro, anel/disco ou barra engastada, como ilustrado na Fig. 26 abaixo.

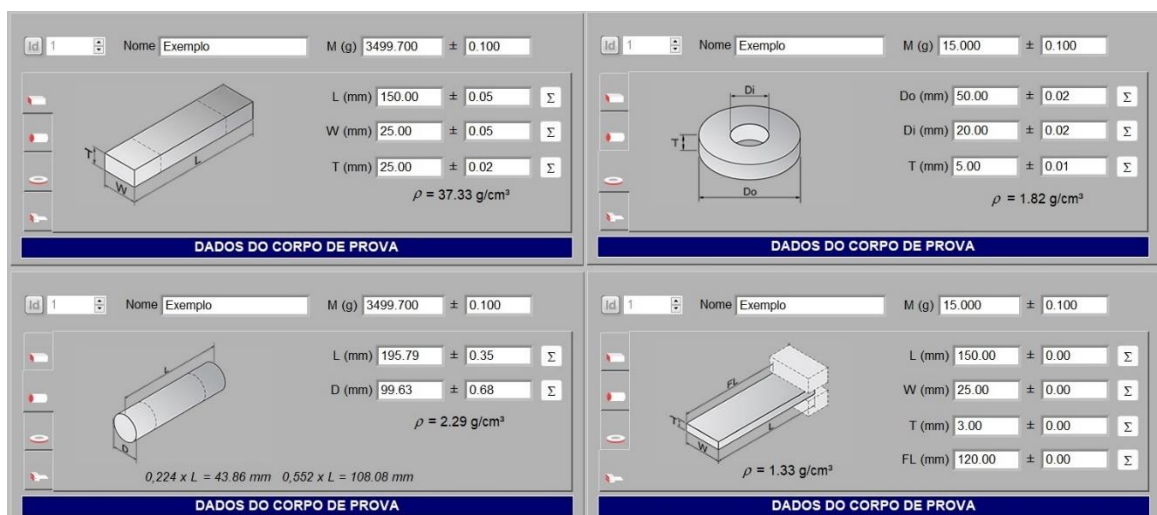


Figura 26 - Opções de geometria e para a inserção dos dados do corpo de prova.

Significado dos parâmetros mostrados na Fig. 26:

“Nome”: Nome/referência do corpo de prova;


“Massa (g)”: Massa do corpo de prova, em gramas (g);

“L (mm)”: Comprimento da barra, do cilindro ou da barra engastada, em milímetros (mm);  
“W (mm)”: Largura da barra ou da barra engastada, em milímetros (mm);  
“T (mm)”: Espessura da barra, do anel ou da barra engastada, em milímetros (mm);  
“D (mm)”: Diâmetro do cilindro, em milímetros (mm);  
“Do (mm)”: Diâmetro externo do anel ou disco, em milímetros (mm);  
“Di (mm)”: Diâmetro interno do anel ou disco, em milímetros (mm); (*Nota: Para um disco, este valor é igual a zero.*)  
“FL (mm)”: comprimento livre da barra engastada, em milímetros (mm);  
“Id”: Seletor de corpos de prova pré-cadastrados.

*Passo 02* – Insira o nome do corpo de prova no campo correspondente.

*Passo 03* – Insira as dimensões do corpo de prova, seguindo as recomendações a seguir.

Utilize o instrumento mais preciso possível para se obter as dimensões e uma balança de precisão para obter a massa. O comprimento, largura, espessura e diâmetro devem ser mensurados em três pontos diferentes e calculada a média.

Para o cálculo automático da média e do desvio das medidas realizadas, clique no botão auxiliar que se encontra ao lado da incerteza de cada dimensão: 

Na nova janela, insira a precisão do instrumento utilizado e os valores medidos. Recomenda-se realizar três medições para cada dimensão, em pontos diferentes e equidistantes do corpo de prova. Na medida em que os valores são introduzidos, o software calcula automaticamente o valor da “Média (mm)” e a “Incerteza (mm)”. Para atualizar os valores no quadro “Dados do corpo de prova”, basta clicar no botão “Exportar”.

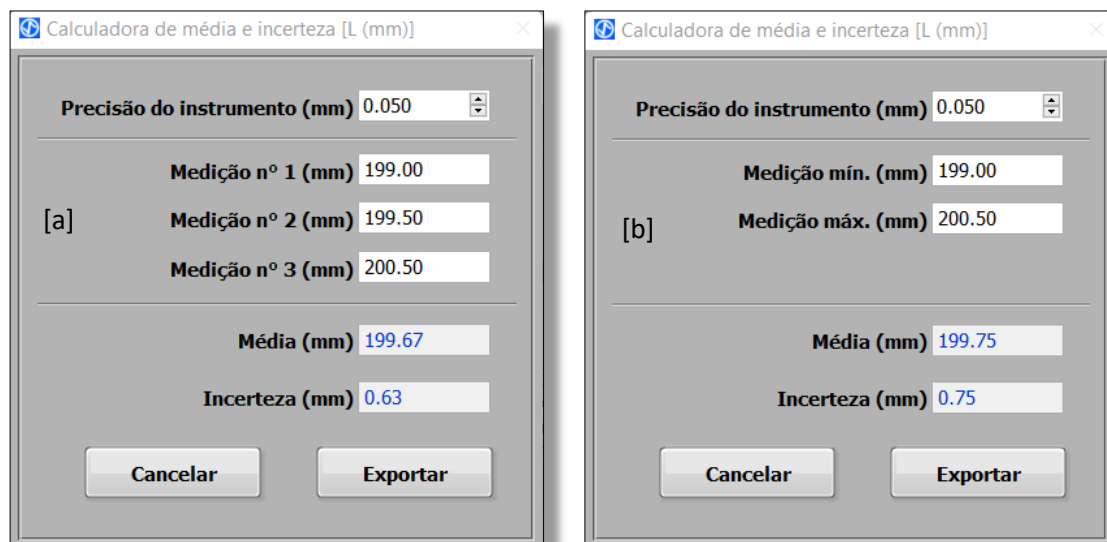


Figura 27 – [a]: Calculadora de média e da incerteza; [b]: Calculadora de média e da incerteza para o comprimento e o diâmetro de cilindros quando a opção “Dimensões de cilindros pela ABNT NBR 8522-2:2021” está ativada.

Caso já tenha realizado o cálculo das médias e desvios anteriormente, é possível adicionar os valores diretamente nos campos reservados a cada dimensão ou importar do cadastro de corpos de prova.

*Notas: É possível fazer com que o software aceite incertezas iguais a zero ("Permitir valores nulos para a incerteza da massa e dimensões"), veja o item "8.9 Menu configurações" deste manual. Se a opção "Dimensões de cilindros pela ABNT NBR 8522-2:2021" estiver ativada (menu Configurações/Opções), a interface da calculadora para o comprimento e o diâmetro de cilindros será diferente e com campos para a inserção de apenas duas medições.*

Ao inserir todas as dimensões, o Software calcula automaticamente a densidade aparente ( $\rho$ ) e reporta a localização das linhas nodais para barras e cilindros (linhas nas quais o corpo de prova deve ser apoiado). Veja nestas informações na Fig. 26. Sempre confira se a densidade aparente calculada está coerente com o material caracterizado.

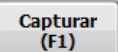


**Sempre confira se a densidade aparente ( $\rho$ ) calculada pelo Software Sonelastic® está coerente com o material. Erros na informação das dimensões e da massa podem ser detectados dessa forma.**

### 8.1.2 Realizando uma aquisição de sinal preliminar

É necessário realizar uma aquisição e processamento de sinal preliminar para verificar se os parâmetros e configurações do software estão adequadas ao corpo de prova a ser caracterizado.

Para uma aquisição, clique no botão "Capturar (F1)" no canto esquerdo da tela.



O software entrará no modo de leitura contínua e estará pronto para realizar a captura de uma resposta acústica. Caso o Pulsador Automático IED esteja acoplado ao computador, ele pulsará continuamente até que a curva do sinal em azul ultrapasse a linha verde (caso o pulsador não esteja alcançando o corpo de prova, faça modificações na intensidade conforme mostrado no item 8.1.5 *Espectro e pré-processamento do sinal adquirido*). Caso o Pulsador Automático IED não faça parte da configuração utilizada, aplique a excitação utilizando um pulsador manual.

Na interface do software, aparecerá a resposta acústica captada (gráfico de amplitude em função do tempo/pontos). Verifique o gráfico obtido e realize os ajustes conforme o item 8.1.3 *Ajustando a aquisição de sinal*.

### 8.1.3 Ajustando a aquisição de sinal

No campo "Dispositivo de aquisição" (Fig. 28) é possível escolher a fonte do sinal. Clique na seta do lado direito para acessar as opções. Caso uma nova fonte seja conectada com o software já aberto, pode ser necessário reiniciá-lo para que apareça na lista.

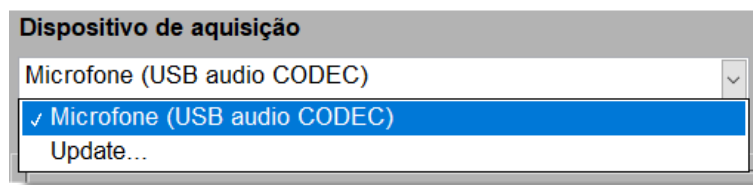


Figura 28 - Controle para seleção da fonte de sinal.

Dependendo das características do corpo de prova a ser caracterizado, é necessário habilitar a opção: "Otimizar para incluir altas frequências (48-96 kHz)" (Fig. 29). Isso ocorrerá caso o corpo de prova seja de pequenas dimensões (da ordem de milímetros) e com módulo de

Young alto. Esta opção aumenta a faixa de frequências detectáveis pelo software, porém recomenda-se habilitá-la somente quando a frequência esperada for maior que 48 kHz. Para estimar a frequência aproximada do corpo de prova, utilize o recurso “Estimador de Frequências” (especificado no item 8.10 Menu simulações). *Nota: Para a aquisição de sinais na faixa de 48 a 96 kHz seja possível, é necessário que a placa ou modo de aquisição tenha a opção de taxa de amostragem de 192 kHz ou superior.*

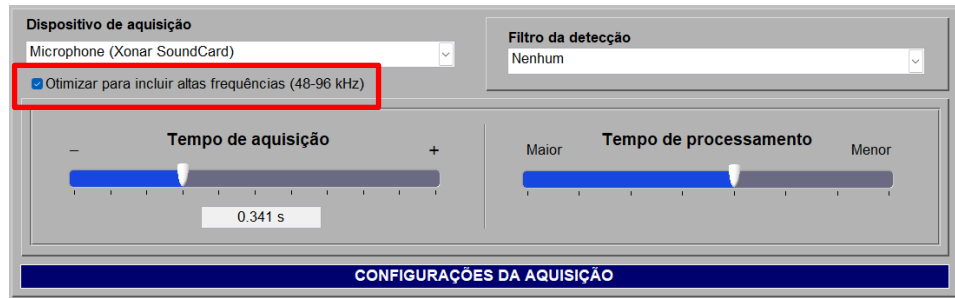


Figura 29 - Habilitando a opção para aumentar a faixa de frequências detectáveis.

No campo “Filtro da detecção” (Fig. 30) é possível reduzir a influência de ruídos e interferências no disparo da aquisição. A ativação deste filtro é pela escolha de uma faixa de frequências. A filtragem é aplicada somente no sinal anterior ao início da aquisição, a fim de que o disparo para se realizar uma aquisição não seja influenciado por ruídos ambientes. Logo após o sinal ultrapassar a linha verde, o filtro de detecção é desativado.

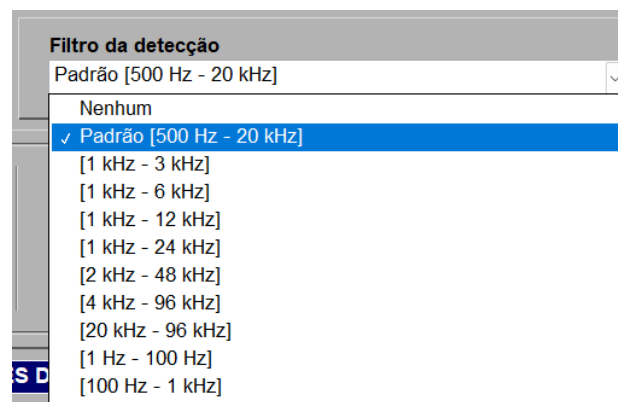


Figura 30 - Seleção da faixa de frequência para o disparo da aquisição.

Se o corpo de prova for pequeno e possuir frequências muito altas, selecione as faixas mais altas, por exemplo, “4 kHz - 96 kHz”. Neste caso, somente as frequências dentro deste intervalo serão consideradas para o disparo da aquisição. *Nota: Após a aquisição, todas as frequências estarão presentes no espectro, inclusive as que não foram consideradas para o disparo.*

O ajuste do “Tempo de aquisição” e do “Tempo de processamento” podem ser realizados empregando os controles mostrados na Fig. 31.

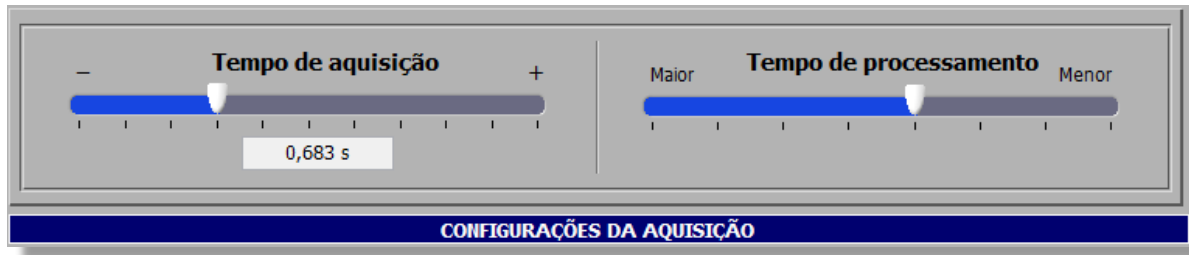


Figura 31 – Controles do “Tempo de aquisição” e do “Tempo de processamento”.

O “Tempo de aquisição” controla o tempo de aquisição de sinal pelo software após o disparo da aquisição, o intervalo de ajuste é de 0,0853 a 14,6 segundos. O tempo de aquisição deve ser de 4 a 8 vezes maior que a duração aparente da resposta acústica (Fig. 32).

O “Tempo de processamento” seleciona o segmento do sinal a ser processado para a obtenção do espectro de frequências. Esta região é indicada pelas linhas vermelhas tracejadas e verticais no gráfico da Fig. 32. A redução no tempo de processamento permite a detecção de frequências com baixa amplitude e é necessária no caso de materiais com alto amortecimento. Porém, a redução do tempo de processamento causa o alargamento dos picos, a diminuição da resolução e também pode causar a fusão de picos muito próximos. Adicionalmente, se o tempo de processamento superar a duração da resposta acústica, é possível que haja o processamento de somente ruído o que pode causar o desaparecimento dos picos por conta da média móvel.

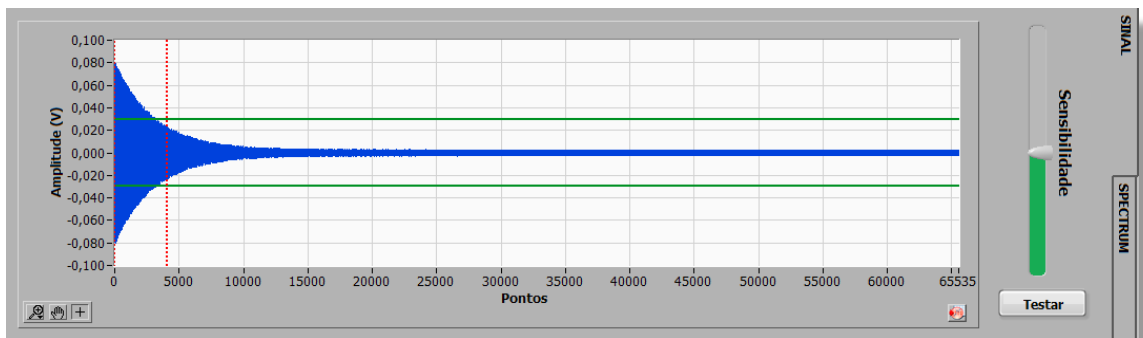




Figura 32 - Gráfico e controle para o ajuste da escala (“Sensibilidade”).

O parâmetro “Sensibilidade” na aba “Sinal” permite ajustar a escala do gráfico e o nível para o disparo da aquisição (linhas verdes no gráfico de aquisição / Fig. 32). Este ajuste também é importante para a otimização da visualização do sinal.

O ajuste do tempo de aquisição, do tempo de processamento e da sensibilidade devem ser realizados de acordo com o material e as dimensões do corpo de prova. Na dúvida, inicie como “Tempo de aquisição” de 0,683 s e o “Tempo de processamento” na posição 5 (Fig. 31) e a sensibilidade em 0,025 (Fig. 32). Esta configuração é usualmente ideal para materiais cerâmicos e de baixo amortecimento.

*Nota: O tempo de aquisição é dividido por dois se a opção para incluir altas frequências estiver habilitada.*



O botão "Testar"  permite que o usuário realize testes antes de iniciar as medições, verificando a intensidade do pico e a escala adequada. Quando este botão está acionado, todos os demais comandos ficam desativados e o software entra em um modo de aquisição contínuo. Para interromper este modo, clique no mesmo botão, que terá mudado de nome para "Parar": 

O software pode demandar um ajuste de offset na escala de amplitude dependendo da fonte do sinal. Este ajuste é necessário para que a resposta acústica seja captada sem um componente contínuo (Fig. 33).

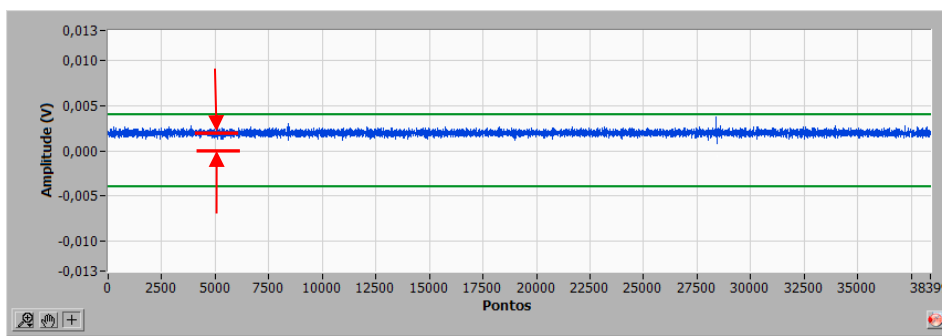


Figura 33 - Sinal com *offset* de aproximadamente "+0,002 Volt".

Se a linha azul estiver na linha de amplitude zero (0,000), não é preciso realizar os passos descritos abaixo. Caso contrário, siga as próximas orientações.

Procedimento de ajuste do *offset*:

**Passo 01** – Clique no modo "Testar" e a linha azul (referente ao sinal) ficará ativa e continuamente atualizada. Verifique se o valor médio do sinal coincide com o eixo x ( $y=0,000$ ). Observe na Figura 33 um exemplo em que a linha azul não coincide com o eixo x, fazendo-se necessária a correção do *offset*.

**Passo 02** – Clique no botão "Parar" para realizar o ajuste.

**Passo 03** – No menu "Configurações" (Fig. 34), selecione a opção "Aquisição avançada".

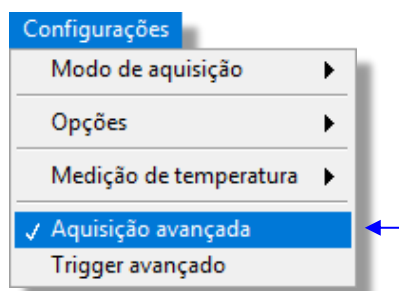



Figura 34 - Menu para seleção do modo de aquisição avançada.

Uma nova tela em "CONFIGURAÇÕES DA AQUISIÇÃO" ficará disponível e permitirá o ajuste fino através do botão  na opção "Offset" (Fig. 35).

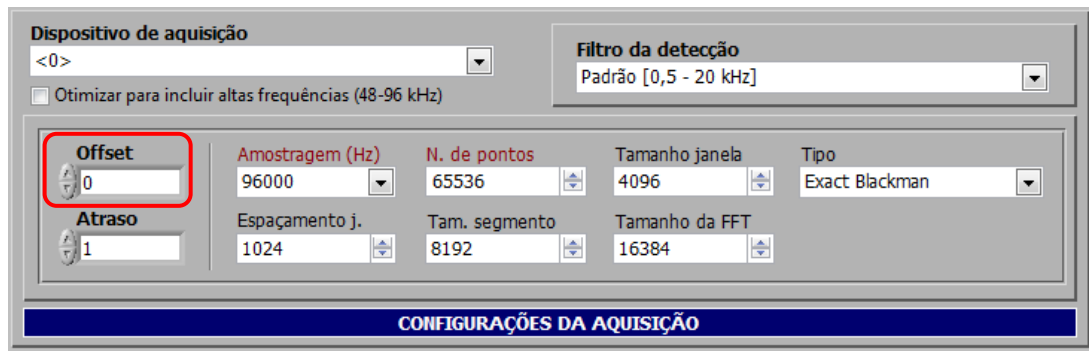


Figura 35 - Seção para ajuste do "Offset".

*Passo 04:* Realize ajustes sucessivos no "Offset" visualizando o resultado pelo botão "Testar", até que o valor médio da linha azul se encontre no zero de amplitude (Fig. 36).

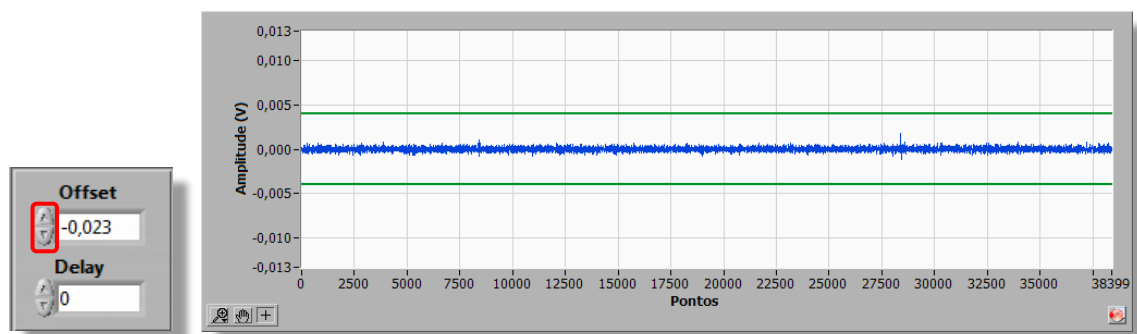


Figura 36 - Detalhe do resultado da configuração da opção "Offset".

*Passo 05:* No menu "Configurações", desmarque a opção "Aquisição avançada". A tela do campo "Configurações da Aquisição" voltará para o modo simplificado. Verifique o item 8.9.4 *Aquisição avançada* para saber mais sobre os controles do modo "Aquisição avançada".

### 8.1.4 Feedbacks do software durante a aquisição de sinal

Na região superior direita da interface do software, ao lado do botão "Sair", há uma indicação do status do software. Enquanto o software está em modo de espera, a mensagem será: "Aguardando comandos".

Aguardando comandos.

Imediatamente após clicar no botão "Capturar", enquanto o software aguarda a aquisição, a mensagem será substituída por: "Aguardando a excitação do corpo de prova...".

Aguardando a excitação do corpo de prova...

Assim que o sinal supera a linha de disparo, a mensagem "Processando o sinal..." aparecerá e nos cálculos subsequentes das próximas etapas da medição a mensagem será "Detectando as frequências...".

Processando o sinal...

Detectando as frequências...

### 8.1.5 Realizando o pré-processamento do sinal

Após a aquisição do sinal e através da aba "Spectrum" (Fig. 37), pode-se visualizar o espectro obtido com o processamento da resposta acústica. As frequências detectadas são marcadas por um pequeno quadrado vermelho e estão listadas ao lado do gráfico referente ao espectro. A linha vertical tracejada vermelha corresponde ao leitor de frequência.

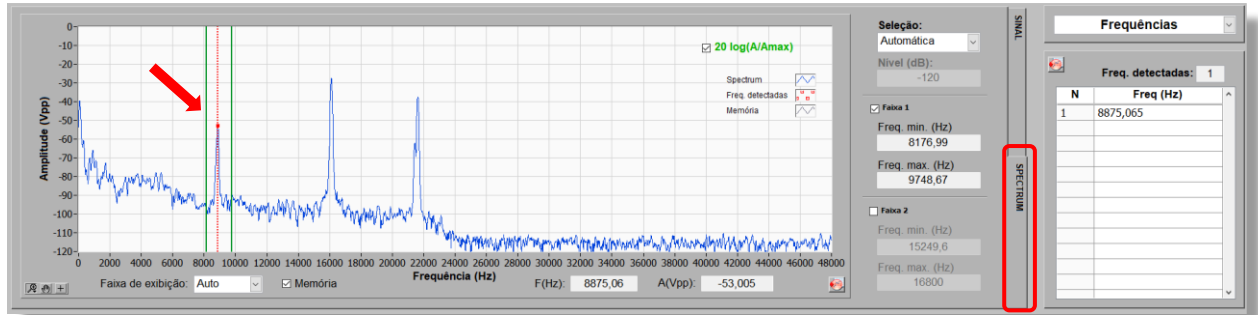


Figura 37 - Módulo de exibição do espectro de frequências da resposta acústica e dos comandos para a seleção das frequências.

Pode-se realizar o pré-processamento manual e especificar as regiões de interesse no espectro de frequências (Faixa 1 e Faixa 2). É possível realizar ajustes tanto na amplitude mínima quanto na janela de frequências, de forma que o software considere apenas os picos dentro destes intervalos.

Na opção "Seleção" (Fig. 38) é possível escolher o método de detecção dos picos: "Por nível", no qual todos os picos acima do valor de "Nível (dB)" indicado pela linha horizontal tracejada em vermelho são escolhidos ou "Automática" que aplica um algoritmo para a detecção automática dos picos mais relevantes.

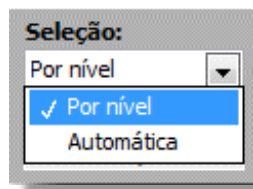


Figura 38 - Seção para escolha do método de seleção dos picos: "Por nível" ou "Automática".

A delimitação da faixa de frequência a ser analisada é realizada com o recurso "Faixa 1" e "Faixa 2". Para tanto, é necessário habilitar esta função e indicar as frequências mínima ("Freq. min. (Hz)") e máxima ("Freq. max. (Hz)") movendo as linhas verticais verdes e marrons.

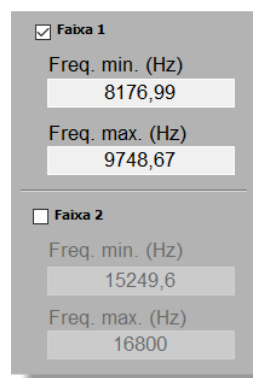


Figura 39 - Seção que possibilita o ajuste das regiões de frequência a serem analisadas.

Para o ajuste da amplitude mínima, arraste a linha horizontal tracejada vermelha para o nível desejado (assegure-se de que a opção: "Por nível" esteja selecionada no campo "Seleção").

Se a "Seleção" estiver na opção "Automática" e "Faixa 1 ou 2" estiver desativado, a linha horizontal vermelha e as linhas verticais verdes não aparecerão. Apenas a linha vertical tracejada, correspondente ao leitor de tela, estará ativa e poderá se movimentar de um pico para outro (Fig. 40).

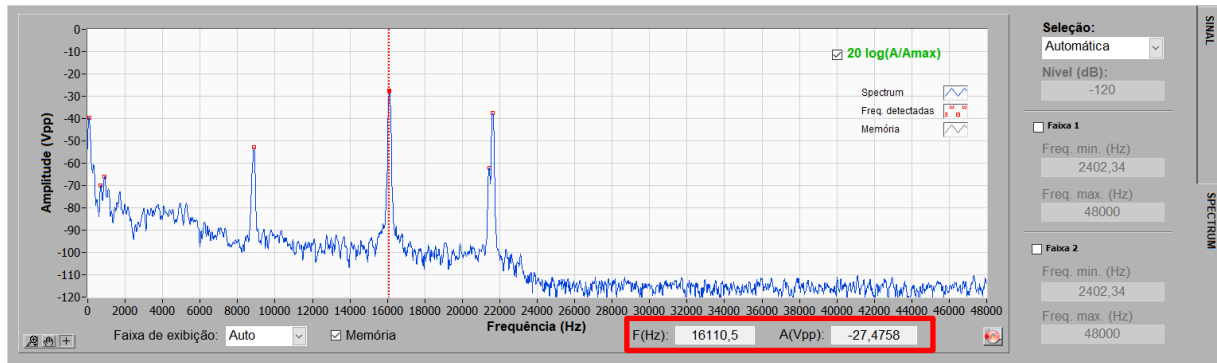


Figura 40 - Exibição do espectro quando a opção "Filtrar entre:" está desativada e a "Seleção" está na opção "Automática".

A região destacada em vermelho na Fig. 40 mostra a frequência e a amplitude do pico selecionado pelo leitor de tela (linha vertical tracejada).

Na aba "Frequências" ao lado direito do gráfico, é possível escolher as opções: "Pulsador" ou "Forno" quando o Pulsador Automático IED e o Forno estiverem disponíveis. Estes itens são opcionais dos Sistemas Sonelastic®.

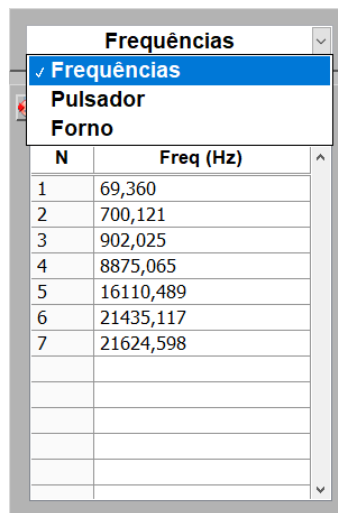


Figura 41 - Controle para escolha entre Frequências, Pulsador ou Forno.

Nota: Se a "Faixas 1" e a "Faixa 2" estiverem ligadas, o software irá procurar pela frequência torcional somente na "Faixa 2".

### 8.1.6 Configurando o pulsador automático e a comunicação com o forno

Se a opção "Pulsador" for ativada, a seguinte tela aparecerá (Fig. 42). Se não houver um Pulsador Automático IED, estes ajustes não são necessários.



Figura 42 - Abas para a configuração do Pulsador.

Nesta tela é possível ajustar a intensidade da excitação por impulso aplicado. Na interface básica é possível o ajuste simplificado em "%" através da barra de "Intensidade". Na interface avançada, o parâmetro "V" corresponde à amplitude em Volts e o parâmetro "T" a duração em milissegundos (ms) do pulso elétrico aplicado ao pulsador, quanto maior o valor destes parâmetros, maior será a intensidade do impulso mecânico (na interface básica, os parâmetros "V" e "T" são alterados automaticamente com o ajuste do campo "Intensidade"). O botão "Gravar e testar" salva a configuração e aplica um pulso para se observar o efeito das mudanças na intensidade da excitação sobre a peça.

*Notas: A intensidade deve ser ajustada de acordo com o material e as dimensões do corpo de prova, visando sempre gerar uma resposta acústica satisfatória sem deslocar o corpo de prova. O ajuste de tempo e o da intensidade costumam ser customizados em torno de 3 V e 15 ms para o Pulsador RT Leve e em torno de 35% na escala básica para o Pulsador RT.*

Se a opção "Forno" for ativada, aparecerá a tela da Fig. 43.

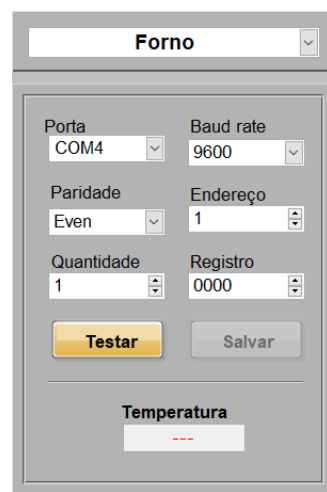


Figura 43 - Aba para configuração da comunicação com o Forno.

A opção "Porta" seleciona a porta serial referente ao transmissor de temperatura do forno, enquanto os demais parâmetros ("Baud Rate", "Paridade", "Endereço") configuram a comunicação e devem estar em harmonia com os especificados no transmissor de temperatura.

O botão "Testar" permite verificar a comunicação entre o Software Sonelastic® e o transmissor de temperatura Forno, mostrando no campo "Temperatura", o valor atual da temperatura. A memorização deste valor é feita pelo botão "Salvar".

Se não houver um sistema de caracterização em função da temperatura (Forno), estes ajustes não são necessários.

### 8.1.7 Configurando a visualização do espectro e salvando em arquivo

A Figura 44 mostra um exemplo de detecção de 3 picos de frequências. É possível alterar a escala do gráfico desativando a opção "20 log(A/Amax)" presente no canto superior direito do gráfico do espectro. A amplitude 0 dB corresponde a amplitude máxima mensurável. A informação contida nas imagens da Fig. 44 é a mesma, porém a escala logarítmica facilita a visualização de picos de menor amplitude.



Figura 44 - Exemplos de um espectro na escala logarítmica (abaixo) e na escala linear (acima).

A opção "Faixa de exibição" no gráfico a seguir (Fig. 45) permite selecionar a frequência máxima de interesse a ser visualizada. No modo "Auto", o Software Sonelastic® realiza esta seleção automaticamente.

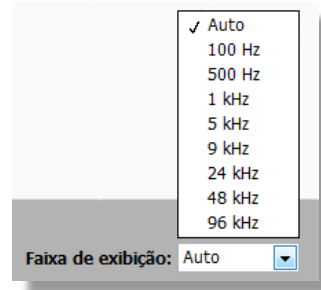



Figura 45 - Controle de seleção da faixa de apresentação de interesse.

Os botões , que aparecem no canto de gráficos e tabelas, permitem exportar os respectivos dados para os formatos: “.xls”, “.csv”, “.ogg”. Dê um “clique” neste botão e uma janela se abrirá para que o usuário escolha a pasta de destino na qual deseja gravar o arquivo. É necessário digitar a extensão do arquivo ao final de seu nome.

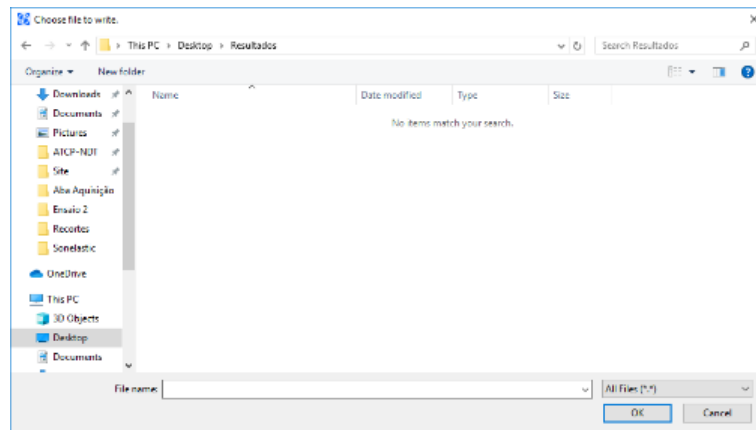



Figura 46 - Tela mostrando onde o arquivo será salvo.

A visualização dos gráficos pode ser ajustada através do botão , que fica no canto inferior esquerdo do gráfico.

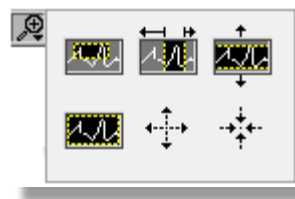



Figura 47 - Opções para ajustes do espectro.

Da esquerda para a direita, de cima para baixo, temos:

 Permite o “zoom” da região selecionada;

 O “zoom” é feito horizontalmente à região selecionada;



O "zoom" é feito verticalmente à região selecionada;




Ao clicar nesta opção, o espectro ajusta-se imediatamente à tela;




Aumenta gradativamente o "zoom" conforme o usuário clica com o mouse ou mantém o botão esquerdo do mouse apertado;



Diminui gradativamente o "zoom" conforme o usuário clica com o mouse ou mantém o botão esquerdo do mouse apertado.

Com o botão , é possível mover o espectro na tela. Clique com o botão esquerdo do mouse, mantendo-o pressionado e mova o espectro da maneira que desejar.

Para retornar ao modelo de cursor inicial do Software Sonelastic®, basta clicar em .



## 8.2 Aba MÓDULOS ELÁSTICOS

Aba de cálculo dos módulos elásticos:

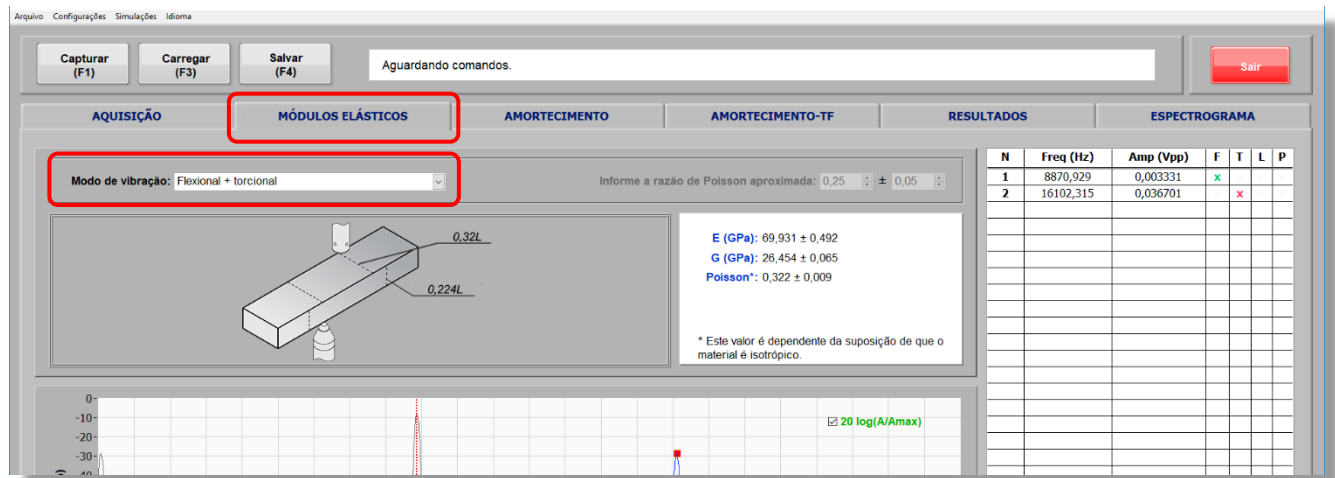


Figura 48 - Tela do Software Sonelastic® com a aba de cálculo dos módulos elásticos em destaque.

Nesta aba são calculados os módulos elásticos a partir das frequências selecionadas na tabela de frequências do software. Através destas frequências, juntamente com as dimensões e a massa do corpo de prova, determina-se os módulos elásticos (ver item 7.2.2 *Modos de excitação e captação*).

The first step is to choose the vibration mode(s) in "Vibration mode":

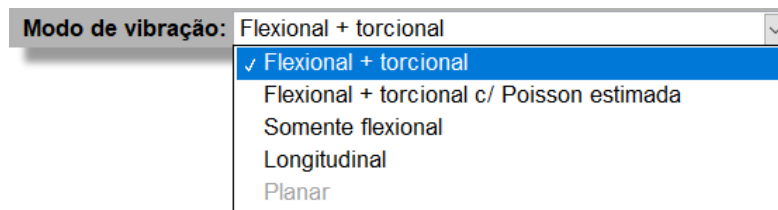


Figura 49 - Tela para escolha do(s) modo(s) de vibração.

"Flexional + torcional" (Fig. 50): possibilita o cálculo do módulo de Young (E), do módulo de cisalhamento (G) e do coeficiente de Poisson. As frequências flexional e torcional devem ser selecionadas corretamente na lista de frequências. *Nota: A excitação do corpo de prova e a captação do sinal devem ser nos pontos que favoreçam estes modos de vibração (item 7.2.2 Modos de excitação e captação).*

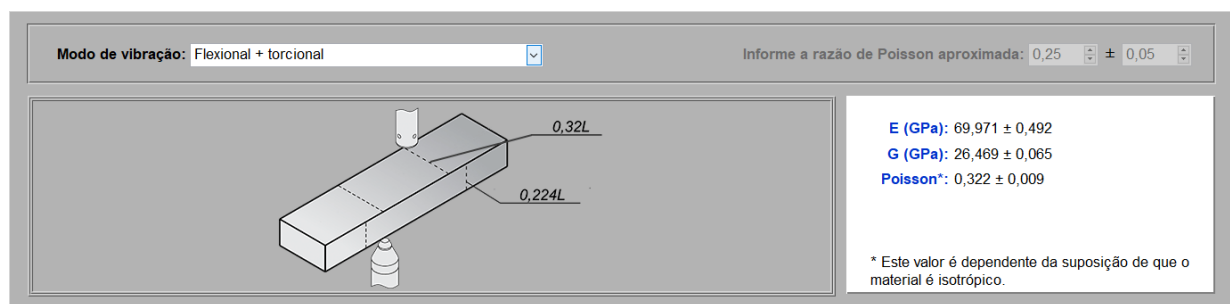


Figura 50 - Módulo do Software Sonelastic® com a opção "Flexional + torcional" selecionada.

“Flexional + torcional c/ Poisson estimada” (Fig. 52): permite o cálculo do módulo de Young (E) e do módulo de cisalhamento (G). O valor do coeficiente de Poisson deve ser estimado pelo usuário (Fig. 51).

Informe a razão de Poisson aproximada: 0.26 ± 0.05

Figura 51 - Campos para preenchimento do coeficiente de Poisson aproximado a ser utilizado nos cálculos.

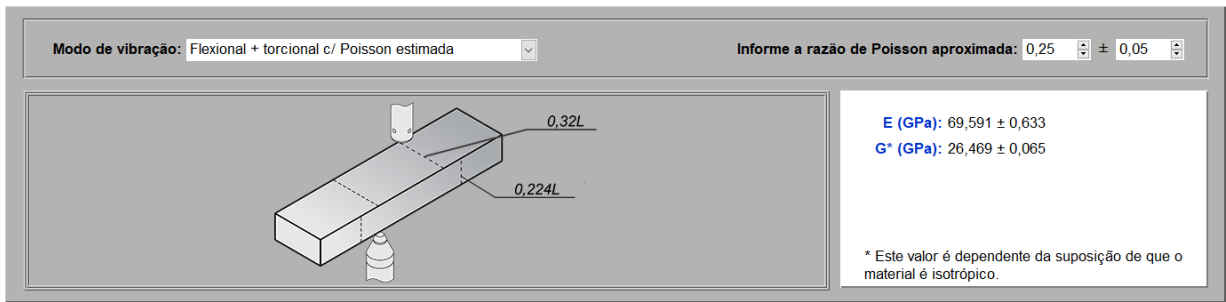


Figura 52 - Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Flexional + torcional c/ Poisson estimada” selecionada.

“Somente flexional” (Fig. 53): possibilita o cálculo somente do módulo de Young no modo flexional. Neste caso, apenas a frequência flexional deve ser selecionada.

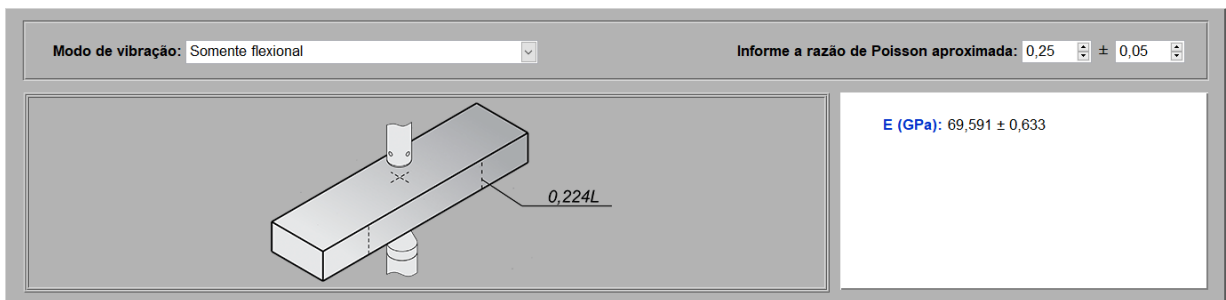


Figura 53 - Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Somente flexional” selecionada.

“Longitudinal” (Fig. 54): possibilita o cálculo somente do módulo de Young na direção longitudinal. Apenas a frequência longitudinal deve ser selecionada.

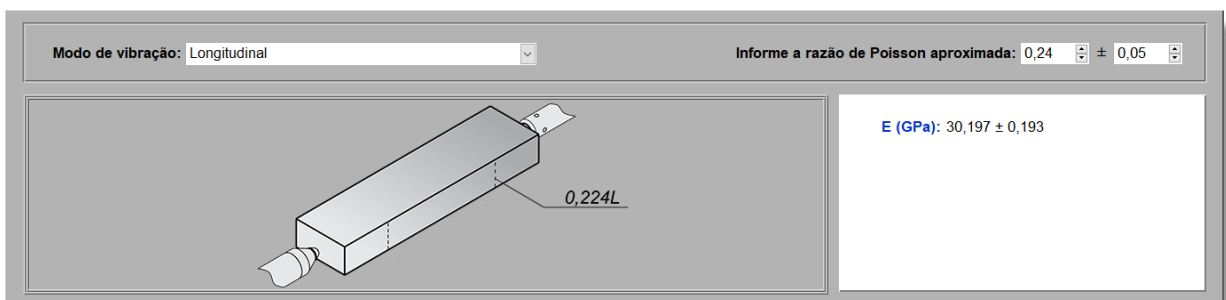


Figura 54 - Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Longitudinal” selecionada.

“Planar” (Fig. 55): possibilita o cálculo do módulo elástico através do modo de vibração planar. Apenas a frequência planar deve ser selecionada.

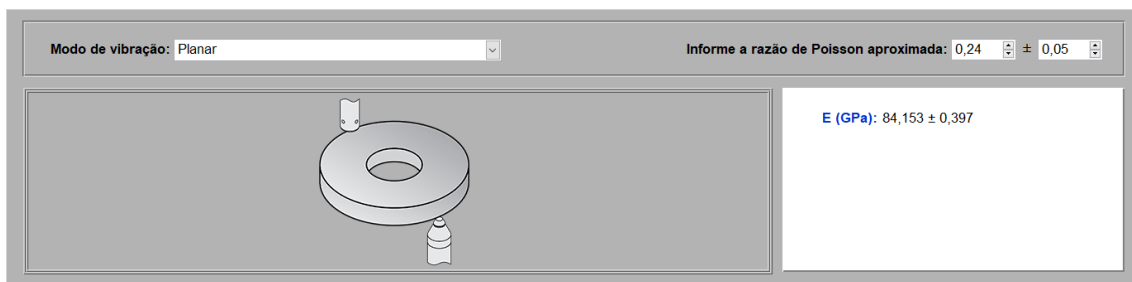


Figura 55 - Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Planar” selecionada. Exemplo de medição de uma amostra de rebolo.

*Nota: As imagens que aparecem conforme se altera o “Modo de vibração”, indicam o local de excitação e captação do sinal acústico dependendo do modo de vibração sendo medido.*

A tabela do lado direito da Aba Módulos Elásticos (Fig. 56) lista os picos detectados. A coluna “N” corresponde ao número do pico, “Freq. (Hz)” corresponde a frequência e “Amp (Vpp)” a amplitude. As demais colunas permitem a seleção do tipo de frequência: “F” para flexional, “T” para torcional, “L” para longitudinal e “P” para planar. Para cada modo de vibração, somente uma frequência deve ser escolhida para os cálculos.

N	Freq (Hz)	Amp (Vpp)	F	T	L	P
1	71,194	0,010237				
2	716,026	0,000292				
3	910,214	0,001145				
4	8873,446	0,003485	x			
5	16106,975	0,038673		x		
6	21429,696	0,000705				
7	21619,709	0,010190				

Figura 56 - Tabela listando as frequências, amplitudes e seleção do modo de vibração.

Note que a frequência de 9868,362 Hz está marcada com um “x” em verde, e a frequência de 18404,907 Hz com um “x” em vermelho (Fig. 56), o que significa que ambas foram utilizadas no cálculo (modo “Flexional + torcional”). Para alterar a frequência selecionada, clique na célula referente à frequência desejada. O gráfico de amplitude vs. frequência (Fig. 57) destaca a frequência flexional com um círculo verde e a frequência torcional com um quadrado vermelho.

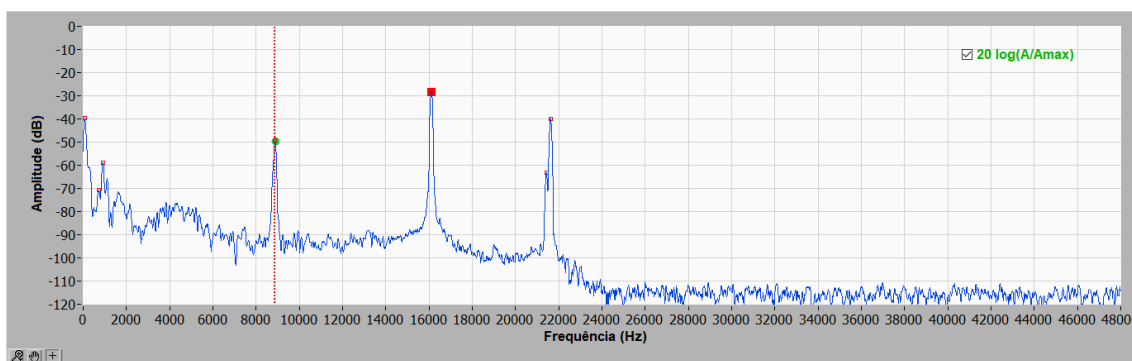


Figura 57 - Gráfico de amplitude versus frequência destacando aquelas utilizadas no cálculo dos módulos elásticos.

Os valores dos módulos elásticos (E, G e o coeficiente de Poisson) estão mostrados na Fig. 58-a.

Caso a opção “Estimar o Eci por Popovics (ABNT NBR 8522-1:2021)” esteja habilitada (menu Configurações/Opções), também será apresentado o módulo tangente inicial estimado (Eci) como mostrado na Fig. 58-b. A estimativa do Eci é aplicável e faz sentido somente para concretos e materiais cimentícios, no exemplo da Fig. 58-b é apresentado o resultado da estimativa do Eci de um corpo de prova cilíndrico de concreto.

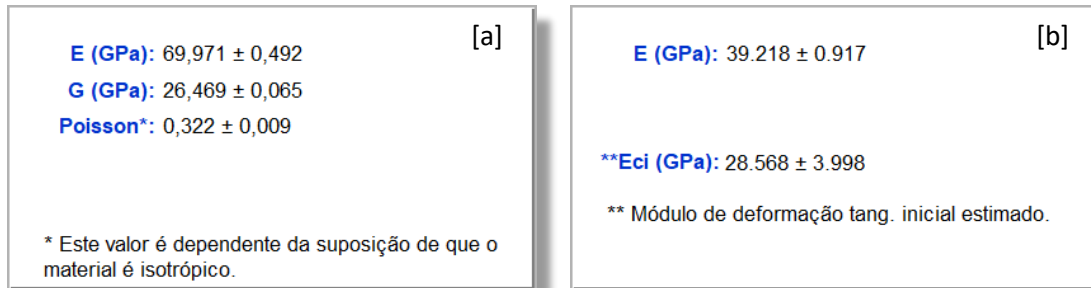


Figura 58 - Resultados dos módulos elásticos (“E(GPa)”, “G(GPa)”, “Poisson” e Eci estimado).

O usuário pode alternar a visualização do espectro entre uma escala linear e uma escala logarítmica através da opção “20 log(A/Amax)”.

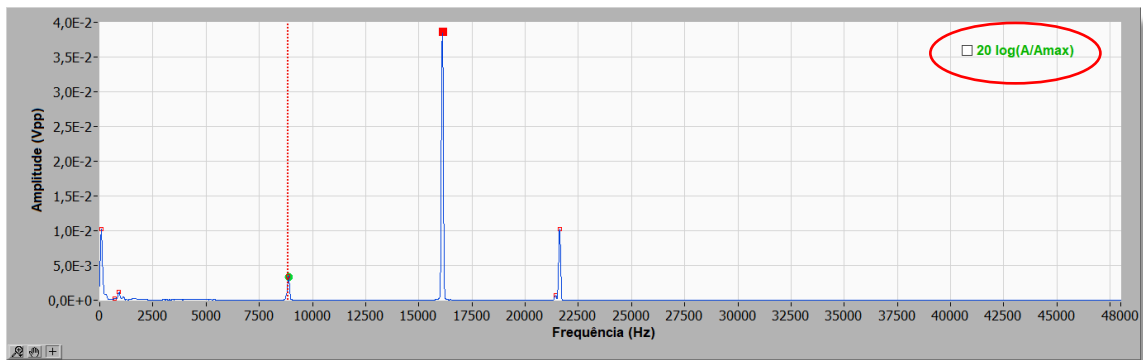


Figura 59 - Gráfico da amplitude versus frequência.

*Nota: O “Estimador de frequências” auxilia na identificação do padrão de frequências e determinação das frequências dos modos fundamentais de vibração (ver item 8.10 Menu de simulações).*



**Para mais informações sobre a seleção das frequências, visite nosso site [www.sonelastic.com](http://www.sonelastic.com) ou entre em contato por email ([info@sonelastic.com](mailto:info@sonelastic.com)).**

### 8.3 Aba AMORTECIMENTO

Aba de cálculo do amortecimento no domínio do tempo:

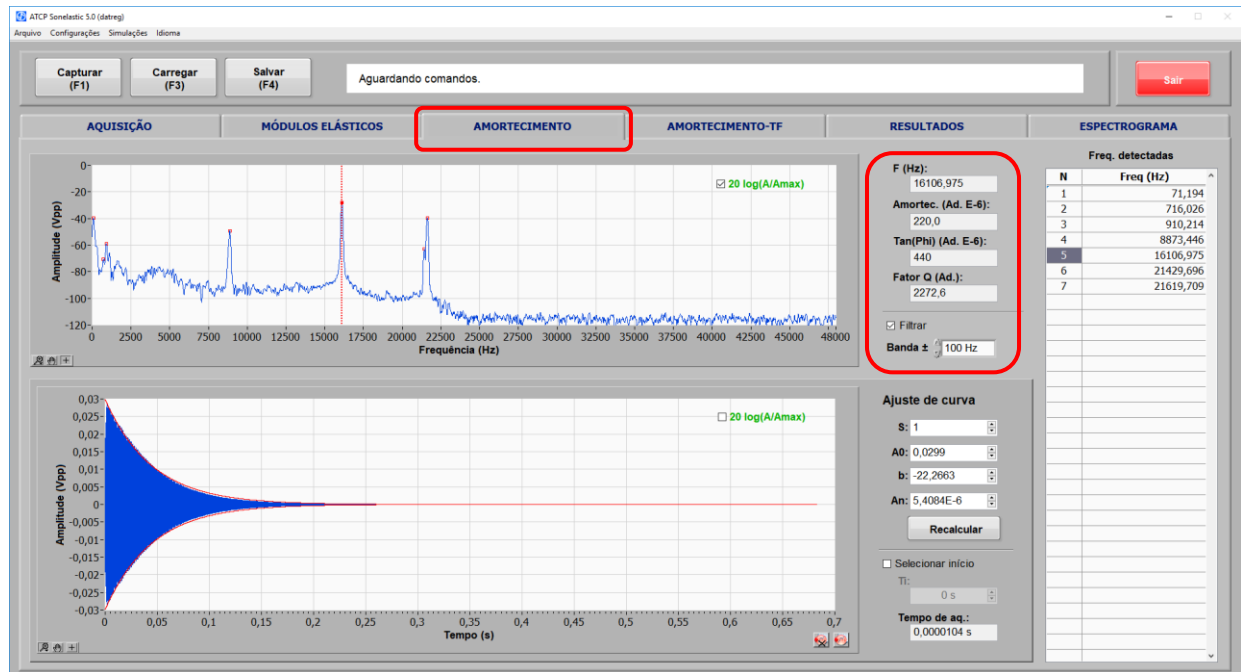


Figura 60 - Tela do Software Sonelastic® com a aba de cálculo do amortecimento no domínio do tempo em destaque.

O software calcula automaticamente o amortecimento no domínio do tempo quando o usuário clica na aba "Amortecimento".

Na tela aparecem dois gráficos: o primeiro, na parte superior, mostra a amplitude em função da frequência, enquanto o segundo, na parte inferior da tela, apresenta a amplitude em função do tempo (Fig. 60). O primeiro gráfico (Fig. 61) é análogo àquele que aparece na tela inicial, na aba de aquisição. A linha vertical tracejada vermelha seleciona a frequência utilizada no cálculo do amortecimento.

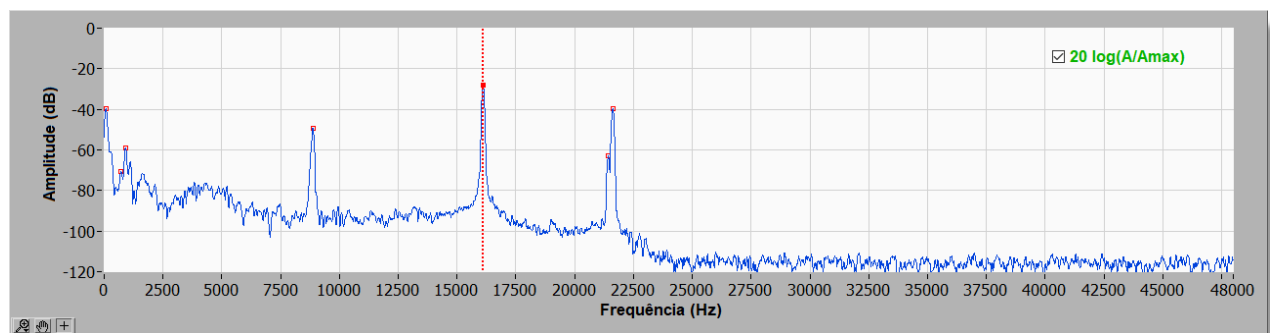


Figura 61 - Exemplo do gráfico da amplitude versus frequência para calcular o amortecimento no domínio do tempo.

O usuário pode mudar a escala do gráfico para linear, sendo possível também aplicar todos os recursos descritos no item 8.1.5 *Espectro e pré-processamento do sinal*.

O segundo gráfico (amplitude do sinal em função do tempo) representa a atenuação do sinal; a linha vermelha é o ajuste de curva do Software Sonelastic® para o cálculo do amortecimento.

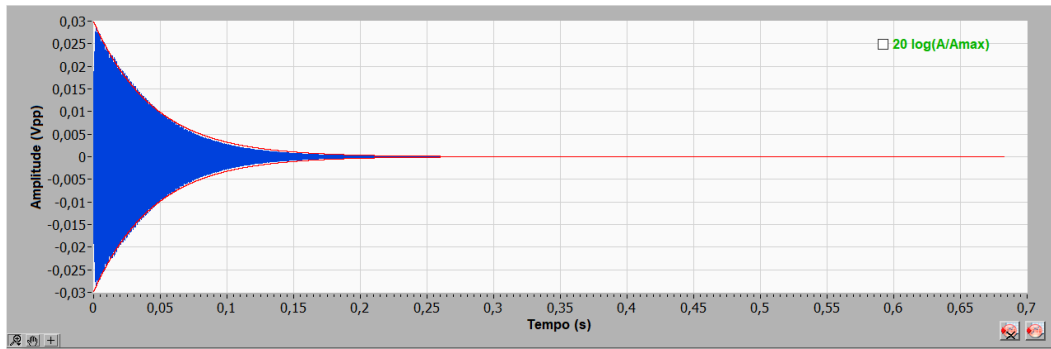


Figura 62 - Exemplo do gráfico da amplitude versus tempo, ilustrando a atenuação exponencial do sinal.

É possível usar os botões de “zoom” e exportar o gráfico conforme descritos no item 8.1.5 *Espectro e pré-processamento do sinal*. Para visualizar o gráfico em escala logarítmica, selecione a opção “20 log(A/Amax)” em destaque na Fig. 63.

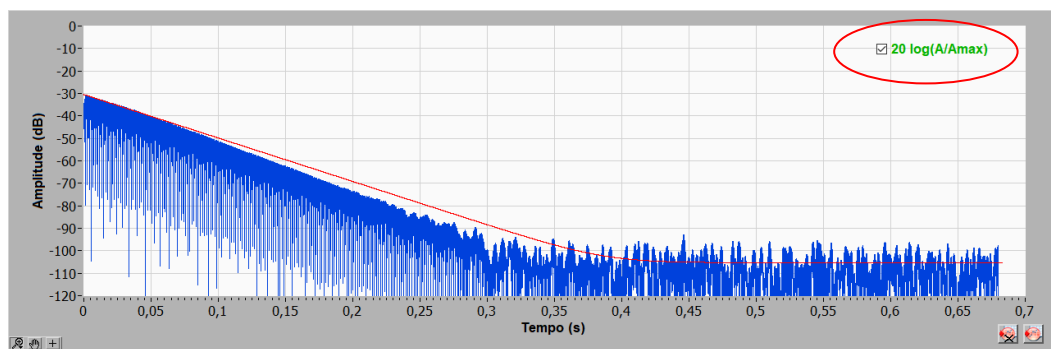


Figura 63 - Exemplo do gráfico da amplitude versus tempo em escala logarítmica.

Ao lado direito da tela aparece uma tabela dos picos detectados (“Freq. detectadas”) com os valores das frequências “Freq. (Hz)” (Fig. 64).

Freq. detectadas	
N	Freq (Hz)
1	8874,049
2	16108,384

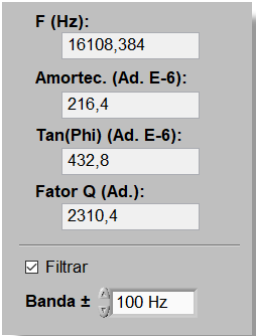
Figura 64 - Tabela dos picos detectados (“Freq. detectadas”).

Na Figura 64 é mostrada uma caracterização em que foram detectados 2 picos (“Freq. detectadas”), cujos valores de frequência (“Freq. (Hz)”) são: 8874,049 e 16108,384 Hz.

O software realiza o ajuste de uma envoltória exponencial sobre o sinal, que pode ser refinado pelo usuário pelas ferramentas apresentadas a seguir. A partir desta envoltória e da frequência escolhida, é calculado o amortecimento em diferentes unidades (ver o *Apêndice C – Detalhamento sobre os cálculos do amortecimento*).

A frequência escolhida para o cálculo do amortecimento pode ser alterada arrastando-se a linha tracejada vermelha do gráfico da Fig. 61 ou clicando no número correspondente à frequência desejada (“N”), presente na lista de frequências descrita na Fig. 64. Ao lado direito dos gráficos encontramos os valores da frequência fundamental “F (Hz)” utilizada no cálculo

do amortecimento, assim como o valor do amortecimento ("Amortec. (Ad. E-6)"), o fator "Tan(Phi) (Ad. E-6)" e o fator de qualidade "Fator Q (Ad.)" (Figuras 60 e 65).



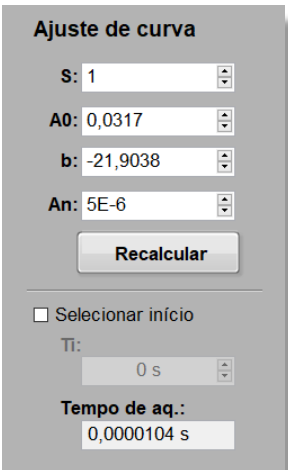
F (Hz):	16108,384
Amortec. (Ad. E-6):	216,4
Tan(Phi) (Ad. E-6):	432,8
Fator Q (Ad.):	2310,4
<input checked="" type="checkbox"/> Filtrar	
Banda ±	100 Hz

Figura 65 - Seção com dados referentes ao amortecimento.

Na Figura 65, a frequência ("F(Hz)") considerada para os cálculos foi 16108,384 Hz, o amortecimento ("Amortec.(Ad. E-6)") calculado 216,4 (ad.), "Tan(Phi) (Ad. E-6)" 432,8 (ad.) e fator de qualidade ("Fator Q (Ad.)") 2310,4 (ad.).

Visando minimizar a influência de outros modos de vibração, é possível aplicar um filtro passa-faixa no sinal com a opção "Filtrar" para que seja levado em consideração somente os arredores da frequência escolhida e delimitada pelo parâmetro "Banda ±".

É possível também realizar um ajuste fino da curva exponencial em vermelho, através dos parâmetros "A0", "b" e "An" (Figura 66). Estes valores correspondem aos parâmetros da curva de ajuste dada pela equação:  $x(t) = An + A0 e^{-b(t)}$ . O parâmetro "S" permite priorizar determinada região da curva: para S=1, o ajuste prioriza o início do sinal, já para S=0, é priorizado o final. Este ajuste é útil em casos em que há não-linearidade (o decaimento não é perfeitamente exponencial) e deseja-se realizar o cálculo do amortecimento em diferentes locais da curva.



<b>Ajuste de curva</b>	
S:	1
A0:	0,0317
b:	-21,9038
An:	5E-6
<input type="button" value="Recalcular"/>	
<input type="checkbox"/> Selecionar início	
Ti:	0 s
Tempo de aq.:	0,0000104 s

Figura 66 - Módulo de ajuste dos parâmetros de ajuste da curva exponencial e do início do sinal ("Selecionar início").

*Nota: O ajuste destes parâmetros é recomendado apenas para usuários avançados.*

## 8.4 Aba AMORTECIMENTO-TF

Aba do amortecimento calculado no domínio do tempo e da frequência (Fig. 67):

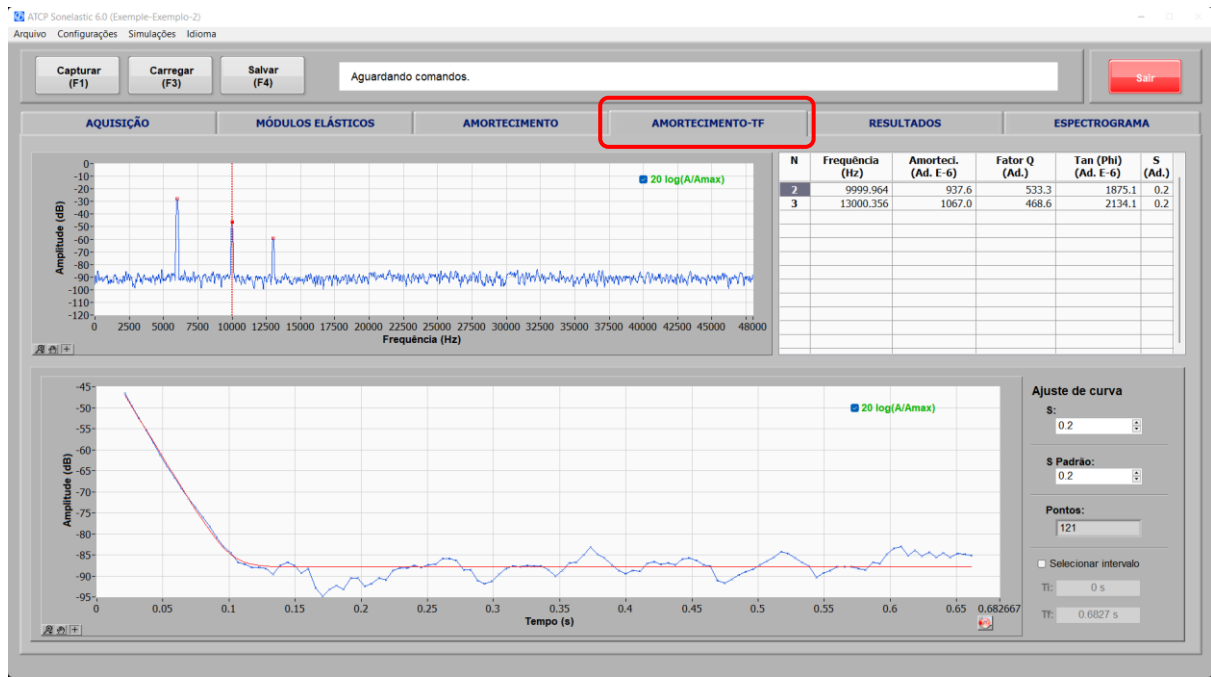


Figura 67 - Tela do Software Sonelastic® com a aba de cálculo do amortecimento no domínio tempo-freqüência em destaque.

Este módulo determina o amortecimento por um método baseado no decremento logarítmico da amplitude do pico no domínio da frequência, e não apenas da amplitude do sinal no domínio do tempo. Para mais detalhes, veja o artigo científico publicado no periódico Cerâmica: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n346/v58n346a14.pdf>.

O software calcula automaticamente o amortecimento para cada frequência quando o usuário clica na aba "Amortecimento-TF".

O primeiro gráfico é análogo àquele que aparece na tela inicial, no Módulo de "Aquisição". A linha vertical tracejada vermelha aponta qual das frequências foi utilizada para o cálculo do amortecimento (Fig. 68).

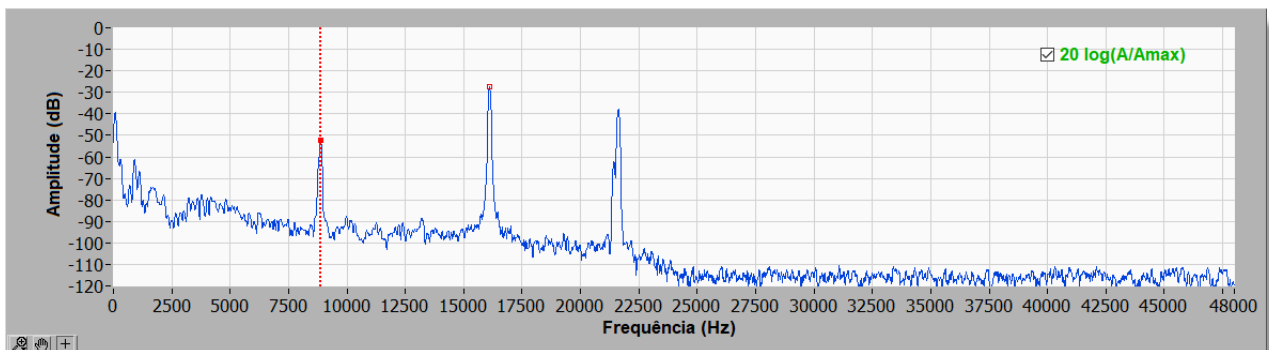


Figura 68 - Gráfico de amplitude versus frequência para a escolha da frequência na aba Amortecimento-TF.

É possível melhorar a visualização, assim como realizar a exportação do gráfico, conforme descrito no item 8.1.5 *Espectro e pré-processamento do sinal*.



O segundo gráfico desse módulo corresponde à amplitude em função do tempo ou atenuação do sinal (Fig. 69).

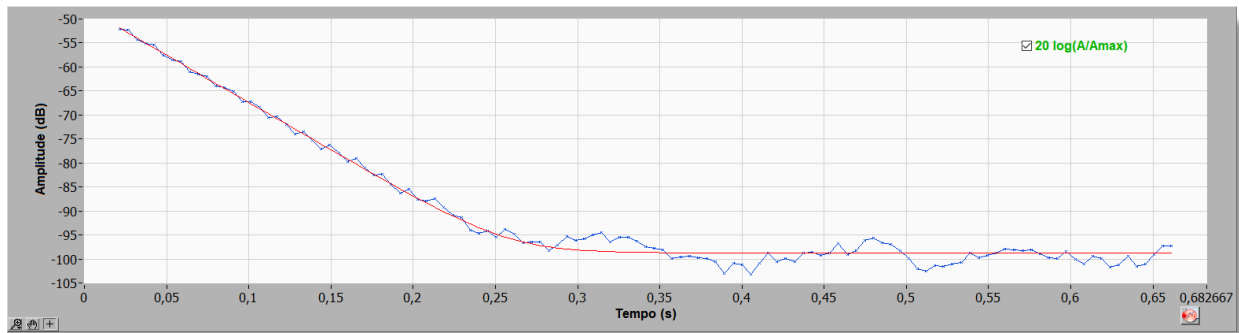


Figura 69 - Gráfico de amplitude versus tempo, ilustrando a atenuação do sinal em escala logarítmica.

É possível escolher a visualização do gráfico entre a escala logarítmica e a escala linear (opção “ $20 \log(A/A_{max})$ ”). Na Fig. 69 temos um exemplo na escala logarítmica, enquanto na Fig. 70 o mesmo gráfico encontra-se em escala linear.

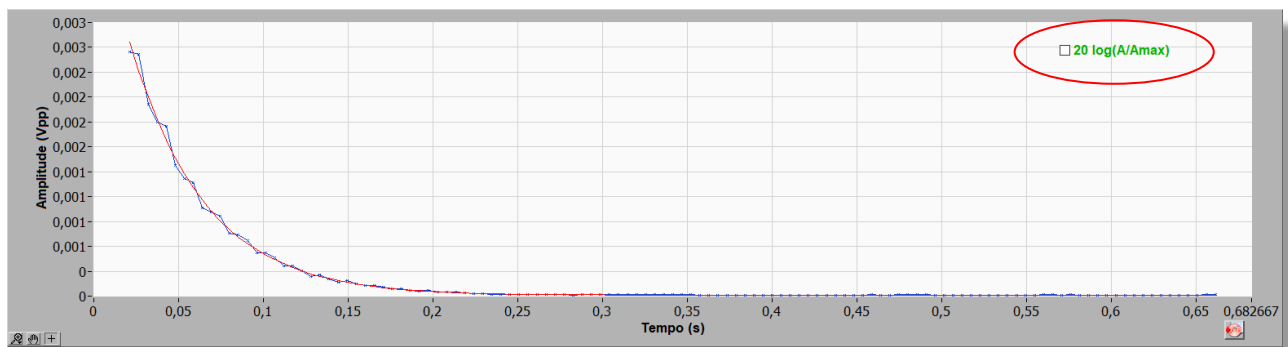


Figura 70 - Exemplo do gráfico da amplitude versus tempo em escala linear.

Como destacado na Fig. 71, ao lado do espectro de frequências há uma lista contendo o número de picos (“N”), a frequência em Hz (“Frequência (Hz)”), o amortecimento (“Amorteci. (Ad. E-6)”), o fator de qualidade (“Fator Q (Ad.)”), a tangente de Phi (“Tan (Phi) (Ad. E-6)”) e o parâmetro de ajuste da curva (“S (Ad.)”).

N	Frequência (Hz)	Amorteci. (Ad. E-6)	Fator Q (Ad.)	Tan (Phi) (Ad. E-6)	S (Ad.)
1	5999.997	404.0	1237.7	808.0	0.2
2	9999.964	937.6	533.3	1875.1	0.2
3	13000.356	1067.0	468.6	2134.1	0.2

Figura 71 - Tabela com os valores de frequência, amortecimento, fator de qualidade, tangente de Phi e parâmetro de ajuste.

A seção “Ajuste da curva” permite ajustar o parâmetro “S” (parâmetro de ajuste da curva), indica o número de pontos empregado e também possibilita a seleção do início e do final do sinal analisado (Fig. 72).

**Ajuste de curva**

S:

S Padrão:

Pontos:

Seleccionar intervalo

Ti:

Tf:

Figura 72 - Seção "Ajuste de curva".

É possível limitar o cálculo do amortecimento à uma região do gráfico. Para isto, basta habilitar a opção "Seleccionar intervalo". Duas linhas verticais verdes aparecerão e o ajuste deve ser feito arrastando estas linhas de forma a escolher o início e o fim da região que se deseja analisar. As Figuras 73 e 74 representam estes ajustes.

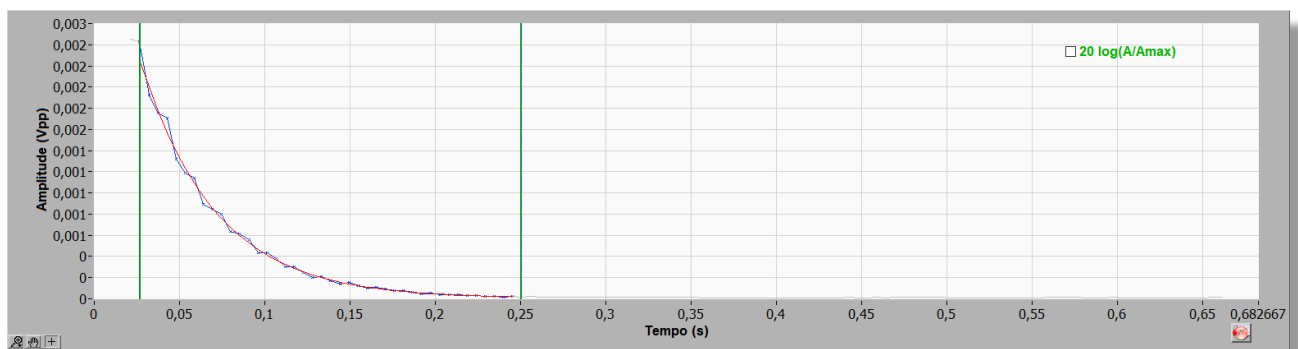


Figura 73 - Gráfico da amplitude em função do tempo com a função "Seleccionar intervalo" ativada.

S Padrão:

Pontos:

Seleccionar intervalo

Ti:

Tf:

Figura 74 - Área de seleção do intervalo.

*Nota: Na aba AMORTECIMENTO, o ajuste da curva exponencial é realizado sobre a resposta acústica, na AMORTECIMENTO-TF, sobre a amplitude de um determinado pico/frequência em função do tempo. Na aba AMORTECIMENTO a presença de outras frequências pode afetar o ajuste da curva, enquanto que na AMORTECIMENTO-TF esta influência é menor, pois o ajuste é focado em apenas uma frequência. Para mais detalhes, veja o artigo científico publicado no periódico Cerâmica: <http://www.scielo.br/pdf/ce/v58n346/v58n346a14.pdf>.*

## 8.5 Aba RESULTADOS

Aba com tabela para a exportação dos resultados:

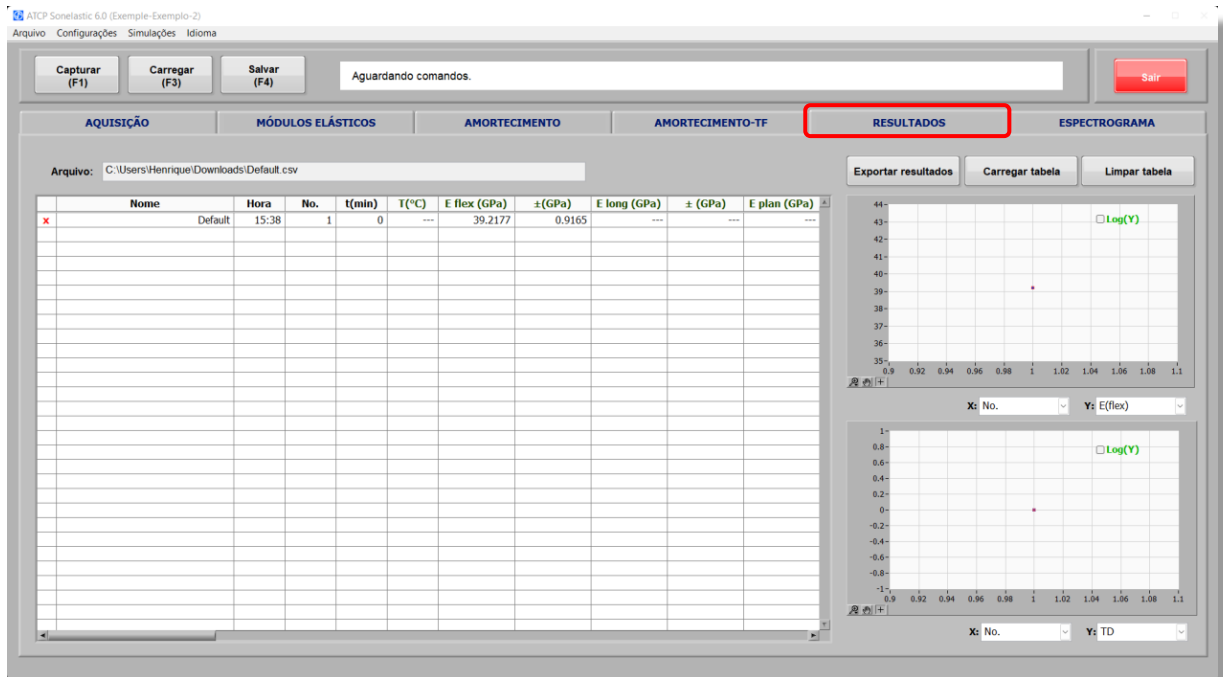


Figura 75 - Tela do Software Sonelastic® com a aba Resultados em destaque.

Essa aba permite exportar os resultados para uma tabela que poderá posteriormente ser editada por outro software. Para exportar os resultados para esta aba do Software Sonelastic®, basta clicar no botão “Exportar dados”.

O programa abrirá uma janela com as opções de destino para que o arquivo seja salvo. Escolha o local, o nome do arquivo e clique em “Exportar Tabela”.

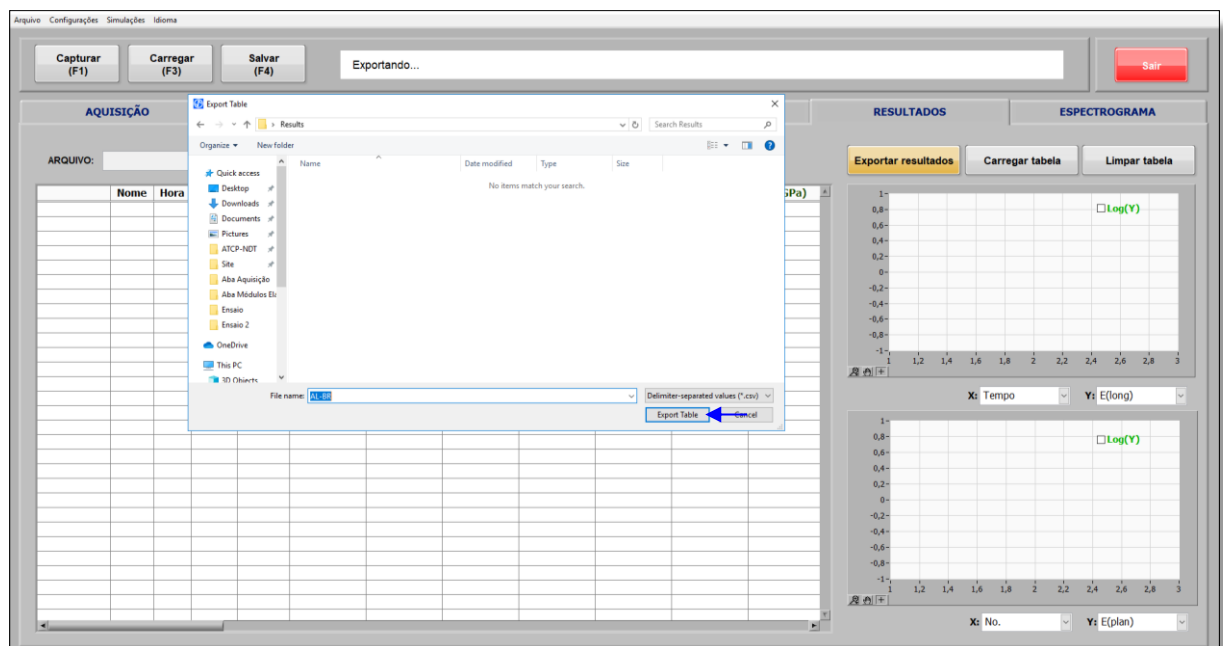


Figura 76 - Janela de diálogo mostrando onde o arquivo será salvo.

Os dados da medição aparecerão na tabela da aba Resultados (Fig. 77).

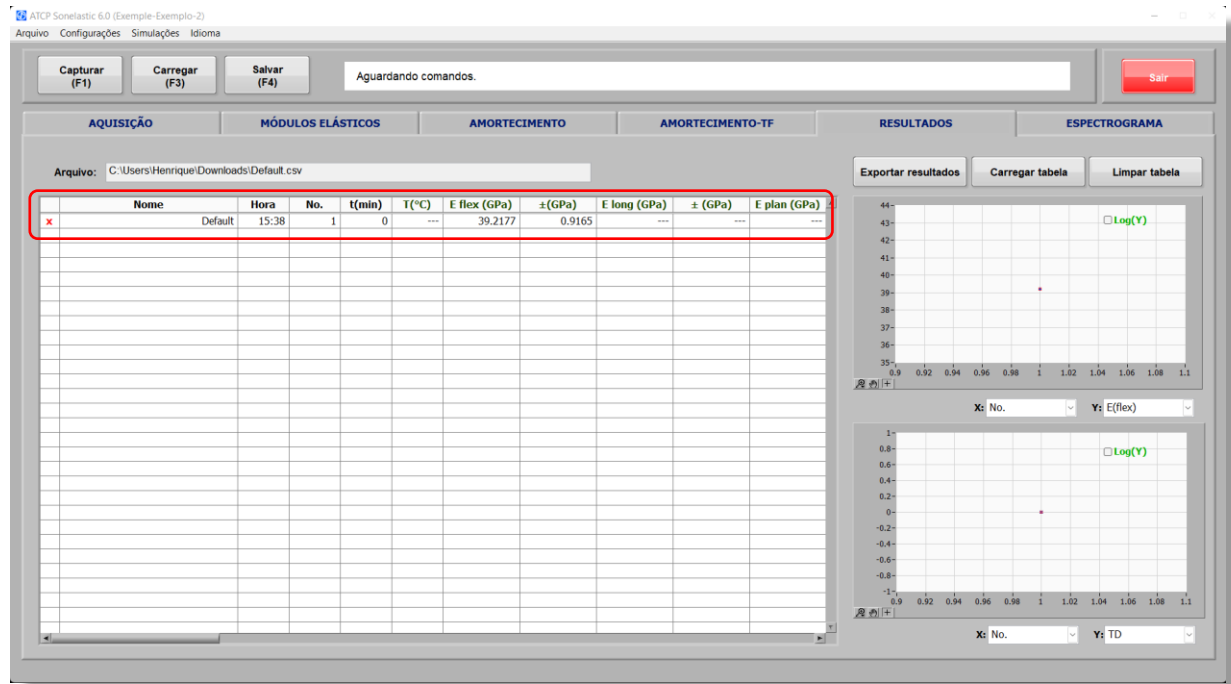


Figura 77 - Tela do Software Sonelastic® com os dados da medição exportados para a tabela.

*Nota: A opção "Exportar resultados" exporta os resultados da medição para a planilha do Software Sonelastic® e salva um arquivo .csv para ser lido posteriormente por outros programas. No entanto, não salva o arquivo da medição como um todo, para isso é necessário clicar na opção "Salvar (F4)" localizada acima da tela do Software Sonelastic®.*

Todos os resultados calculados da medição estarão na tabela após a exportação dos resultados. A Figura 77 mostra alguns destes dados: nome do corpo de prova ("Nome"); horário da medição ("Hora"); número da medição ("No."); tempo em minutos ("t(min)"); temperatura, caso a medição seja em função da temperatura ("T (°C)"); módulo de elasticidade flexional ("E flex (GPa)"), módulo de elasticidade longitudinal ("E long (GPa)") e módulo de elasticidade planar ("E plan (GPa)"). Os demais resultados disponíveis na tabela, tais como o módulo de cisalhamento ("G (GPa)"); coeficiente de Poisson ("μ (Ad.)"); frequência utilizada para calcular o amortecimento ("F. Amortecimento (Hz)"); amortecimento no domínio do tempo ("Amortecimento (Ad.)") e módulo de elasticidade tangente inicial estimado ("Eci (GPa)"), podem ser vistos movendo a visualização da planilha para a direita.

Ao realizar a segunda medida e clicar novamente na opção "Exportar resultados" uma mensagem aparecerá perguntando se deseja continuar salvando no mesmo arquivo (Fig. 78).

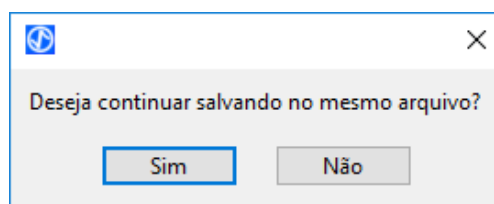


Figura 78 - Janela com a opção de continuar salvando as medições no mesmo arquivo.

Se sim, o usuário deve clicar em "Sim" e os valores serão armazenados na mesma tabela, na linha imediatamente abaixo da caracterização anterior. Se não, clique em "Não" e uma nova tabela será criada e salva em outro arquivo.

Caso queira apagar algum resultado, basta clicar no **x** da linha correspondente.

À direita da tabela é possível verificar os resultados obtidos na forma de gráfico. Para isso, escolha os parâmetros desejados nos campos "X" e "Y".

Na Figura 79, está representado um gráfico do módulo de Young ("E(flex)") em função do tempo de medição ("Tempo"). No caso, há um único resultado de medição.

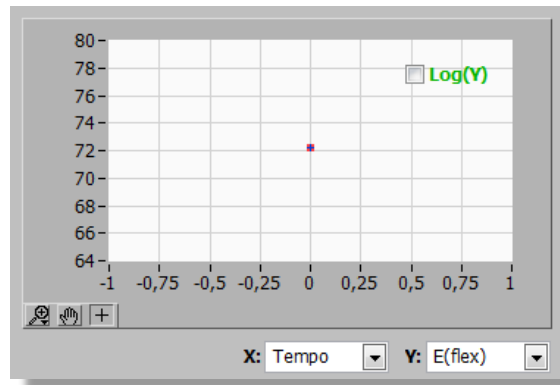


Figura 79 - Gráfico do módulo de Young ("E(flex)") versus tempo ("Tempo").

Já a Figura 80 apresenta um exemplo do gráfico do amortecimento no domínio da frequência ("TFD") versus tempo ("Tempo"). No caso, há um único resultado de medição.

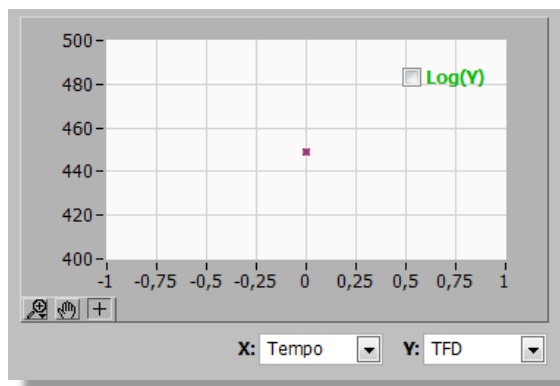


Figura 80 - Gráfico do amortecimento no domínio da frequência ("TFD") versus tempo ("Tempo").

Os gráficos podem ser apresentados na escala logarítmica selecionando a opção "Log(Y)". As opções de grandezas para o eixo x são: número de medições ("No."), tempo ("Tempo"), temperatura ("Temperatura") e tensão aplicada no pulsador ("VP"). Para selecionar a opção desejada, escolha a variável desejada na lista (Fig. 81).

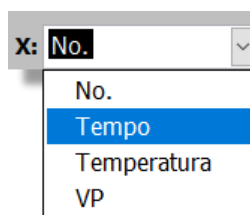


Figura 81 - Parâmetros a serem plotados no eixo x.

As opções de grandezas para o eixo y são: temperatura ("Temperatura"), amortecimento no domínio do tempo ("TD"), amortecimento no domínio da frequência ("TFD"), módulo de elasticidade obtido pelo ensaio de vibração na flexão ("E (flex)"), módulo de elasticidade longitudinal ("E (long)"), módulo de elasticidade planar ("E (plan)"), módulo tangente inicial estimado ("Eci"), módulo de cisalhamento ("G"), velocidade do som de ondas P ("Vp") e velocidade do som de ondas S ("Vs"). Para selecionar a opção desejada, escolha a variável desejada na lista (Fig. 82).

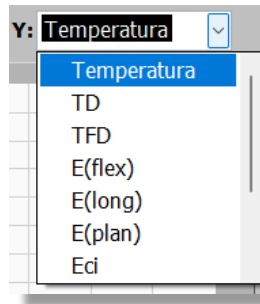


Figura 82 – Escolha do resultado a ser plotado no eixo Y.

Para carregar resultados salvos em outras planilhas, basta clicar na opção "Carregar planilha" e escolher a planilha que se deseja carregar.

Os arquivos gerados pelo software podem ser salvos clicando na aba "Salvar (F4)" no alto da tela.

**Salvar  
(F4)**

Uma tela se abrirá em seguida, com as opções de locais para que o arquivo seja salvo. Escolha o nome do arquivo, a pasta de destino e clique em "OK".

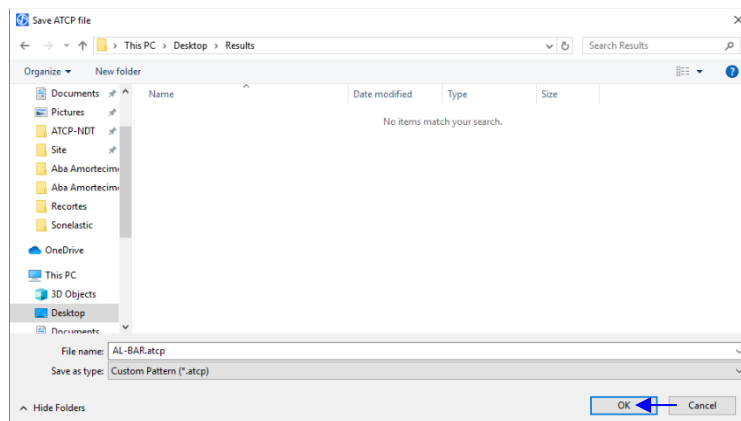


Figura 83 - Janela de diálogo mostrando onde o arquivo será salvo.

Os arquivos poderão ser futuramente consultados e/ou modificados pela opção "Carregar (F3)" que permite abrir estes arquivos.

**Carregar  
(F3)**

Basta clicar no botão "Carregar (F3)" e selecionar o arquivo que se deseja abrir.

*Nota: Os arquivos salvos poderão ser lidos somente pelo Software Sonelastic®, através da opção "Carregar (F3)". Os mesmos não poderão ser lidos em computadores nos quais o Software Sonelastic® não esteja instalado, diferentemente das tabelas geradas pela opção "Exportar dados", que poderão ser lidas por qualquer computador que possa ler o arquivo .CSV.*

## 8.6 Aba ESPECTROGRAMA

Aba de visualização 3D do sinal (Fig. 84).

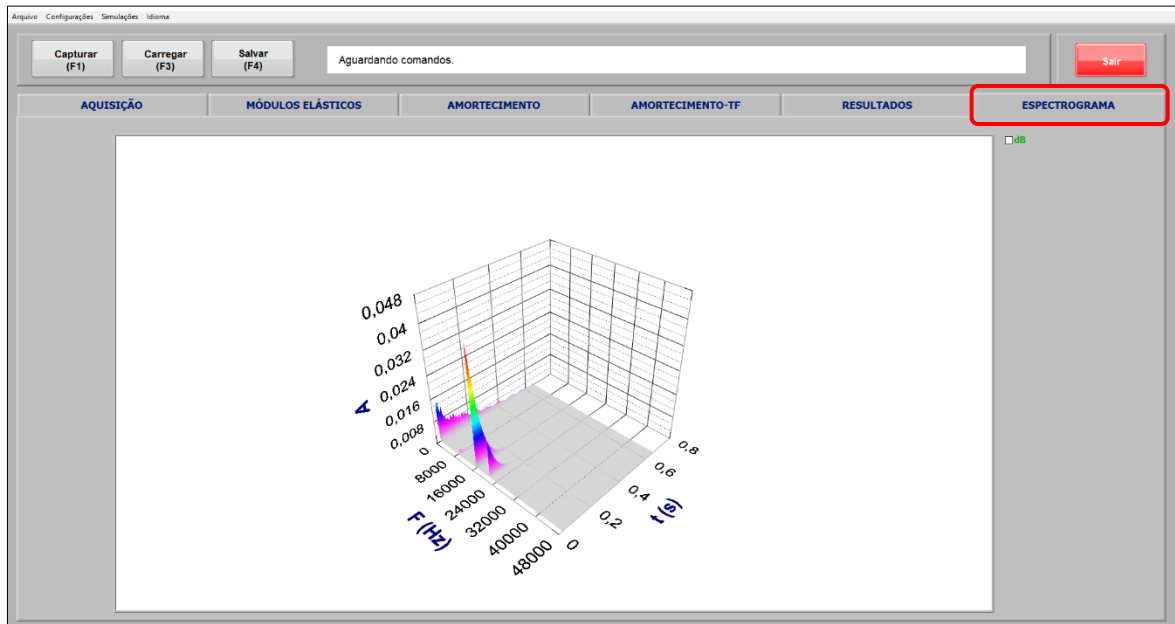


Figura 84 - Tela do Software Sonelastic® - Aba de visualização 3D do sinal em destaque.

Na Aba "Espectrograma" é apresentado um espectrograma 3D (amplitude x tempo x frequência) do sinal capturado. O usuário pode clicar em cima do gráfico e mover o mouse para visualizar o gráfico na direção que desejar. A opção "dB" permite a visualização em escala logarítmica (Fig. 85).

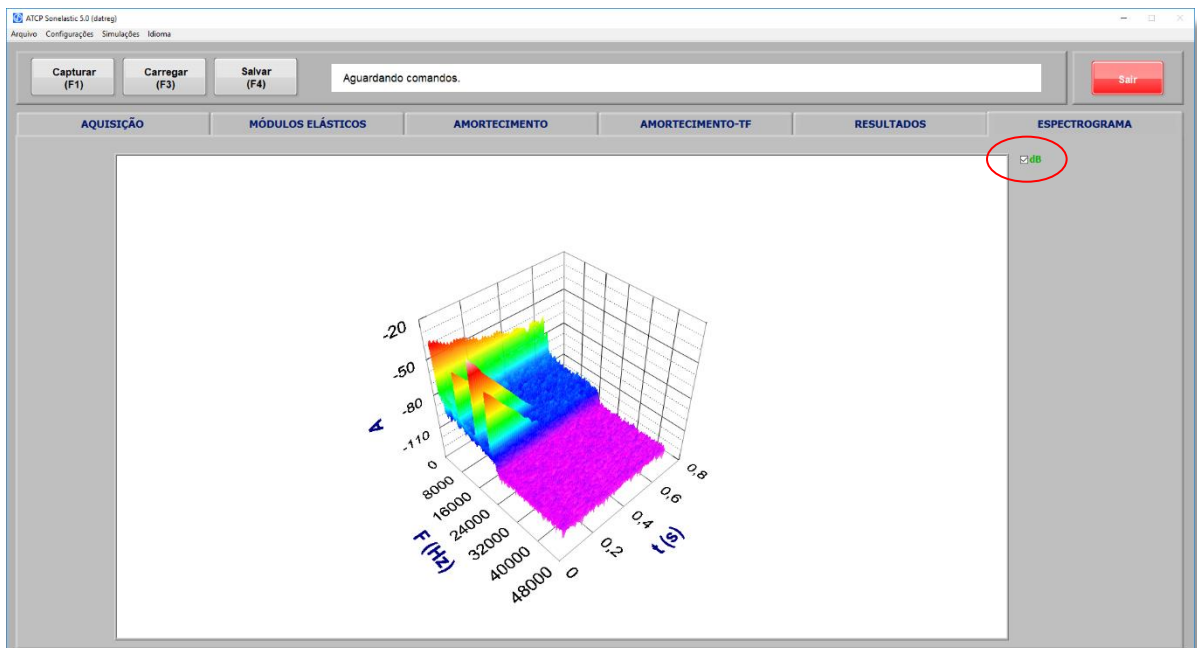


Figura 85 - Visualização do gráfico 3D em escala logarítmica.

## 8.7 Modo de aquisição automático

No modo de aquisição automático, o Software Sonelastic® realiza as medições automaticamente durante um intervalo tempo programável. Para alterar o modo de aquisição de “Manual” para “Automático”, clique em “Configurações” no Menu principal e selecione a opção “Automático” dentro de “Modo de aquisição” (Fig. 86).

*Nota: Para a utilização do modo de aquisição automático é necessário o Pulsador Automático IED.*

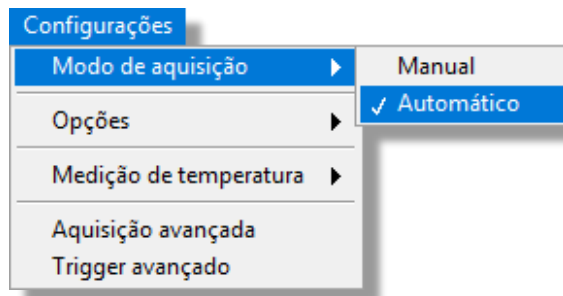


Figura 86 - Menu para escolha do modo de aquisição automático.

Após a seleção do Modo Automático, as opções no alto da tela serão alteradas e ficarão de acordo com a Fig. 87.

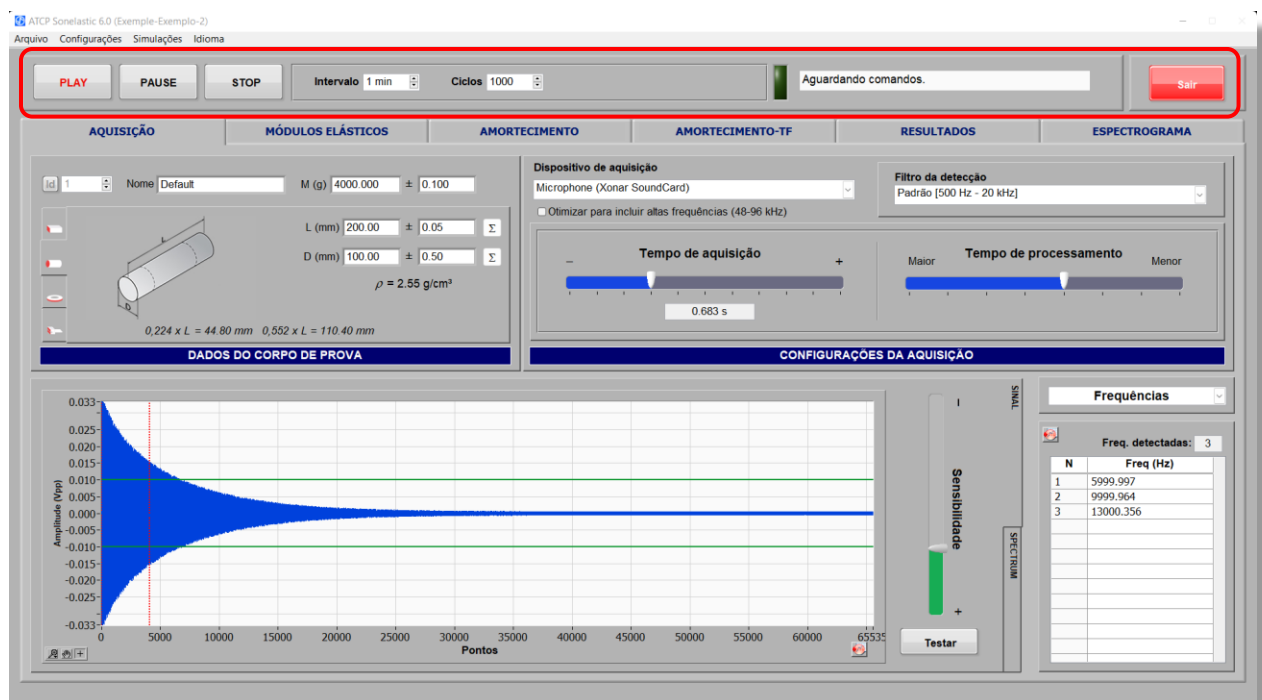


Figura 87 - Tela do Software Sonelastic® com o modo de aquisição automático em destaque.

Neste modo de aquisição o usuário deve configurar o intervalo das medições e o número de medições a serem realizadas. Os ajustes podem ser feitos através das setas, para cima e para baixo, ao lado de cada uma das opções: intervalo (“Intervalo”) e ciclos (“Ciclos”), como mostrado na Fig. 88.



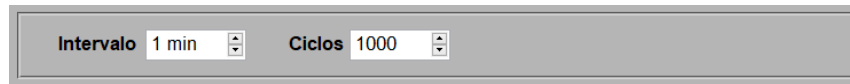


Figura 88 - Controles da aquisição automática.

Após clicar em "PLAY", uma caixa de diálogo se abrirá para que o usuário escolha o destino no qual deseja salvar as medições.

Imediatamente, a mensagem de status do Software Sonelastic® mudará para "Medindo automaticamente, ciclo 1". Esta mensagem será atualizada de acordo com o ciclo de medição.

Após especificar o local que o software deverá salvar os arquivos, o Software iniciará o processo de medição automaticamente.

A qualquer momento as medições poderão ser paradas por um instante através da opção "PAUSE".



Para que as medições sejam retomadas, o botão "PAUSE" deve ser desativado e, para isto, basta dar um clique no mesmo.

As medições podem ser interrompidas a qualquer momento clicando no botão "STOP".



Uma janela aparecerá perguntando se o usuário realmente deseja interromper a medição (Fig. 89).

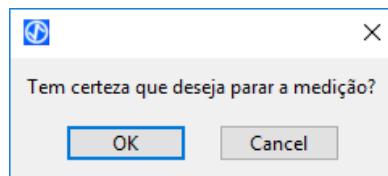


Figura 89 - Janela de diálogo para confirmar a parada da medição automática.

Se o usuário realmente desejar parar a medição automática, deve clicar em "OK", caso contrário, em "Cancel".

Cada ciclo será salvo em um novo arquivo, que poderá futuramente ser lido pelo Software Sonelastic®. Uma planilha com todos os resultados obtidos será gerada no formato .csv para consulta em outros softwares.

O software mostrará automaticamente a tela na qual ele está realizando os cálculos, de acordo com a seguinte ordem: "Aquisição", "Amortecimento", "Amortecimento-TF", "Módulos Elásticos" e "Resultados". Nesta última tela uma contagem regressiva aparecerá indicando o tempo restante para a próxima medição (Fig. 90).



Figura 90 - Contagem regressiva para que ocorra a próxima medição no modo de aquisição automática.

Cada ponto aparecerá nos gráficos da aba "Resultados" (item 8.5 Módulo: Resultados – processamento dos resultados), como ilustrado na Fig. 91.

	Nome	Hora	No.	t(min)	T(°C)	E flex (GPa)	±(GPa)	E long (GPa)	± (GPa)	E plan (GPa)	± (GPa)
x	AL-BAR Auto	11:15	1	0	---	69,9707	0,4918	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:15	2	0,3	---	69,9519	0,4917	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:16	3	1,3	---	69,9618	0,4917	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:17	4	2,3	---	69,9638	0,4917	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:18	5	3,3	---	69,9714	0,4918	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:19	6	4,3	---	69,9767	0,4918	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:20	7	5,3	---	69,9799	0,4919	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:21	8	6,3	---	69,9782	0,4918	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:22	9	7,3	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:23	10	8,3	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0
x	AL-BAR Auto	11:27	11	11,6	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0

Figura 91 - Tabela com os dados de uma medição automática em temperatura ambiente.

Nota: Se o ensaio for realizado em função da temperatura, a coluna "T (°C)" apresentará os valores das temperaturas de cada ciclo; caso contrário a coluna ficará em branco (ver item 8.1.5 Espectro e pré-processamento do sinal para o ajuste dos parâmetros relacionados ao forno).

A seguir (Fig. 92) é apresentado um exemplo de medição em função da temperatura para um corpo de prova cerâmico. O gráfico superior representa o amortecimento ("TD") em função do tempo ("Tempo"). Já o gráfico inferior realiza o acompanhamento da temperatura ("Temperatura") em função do tempo ("Tempo").

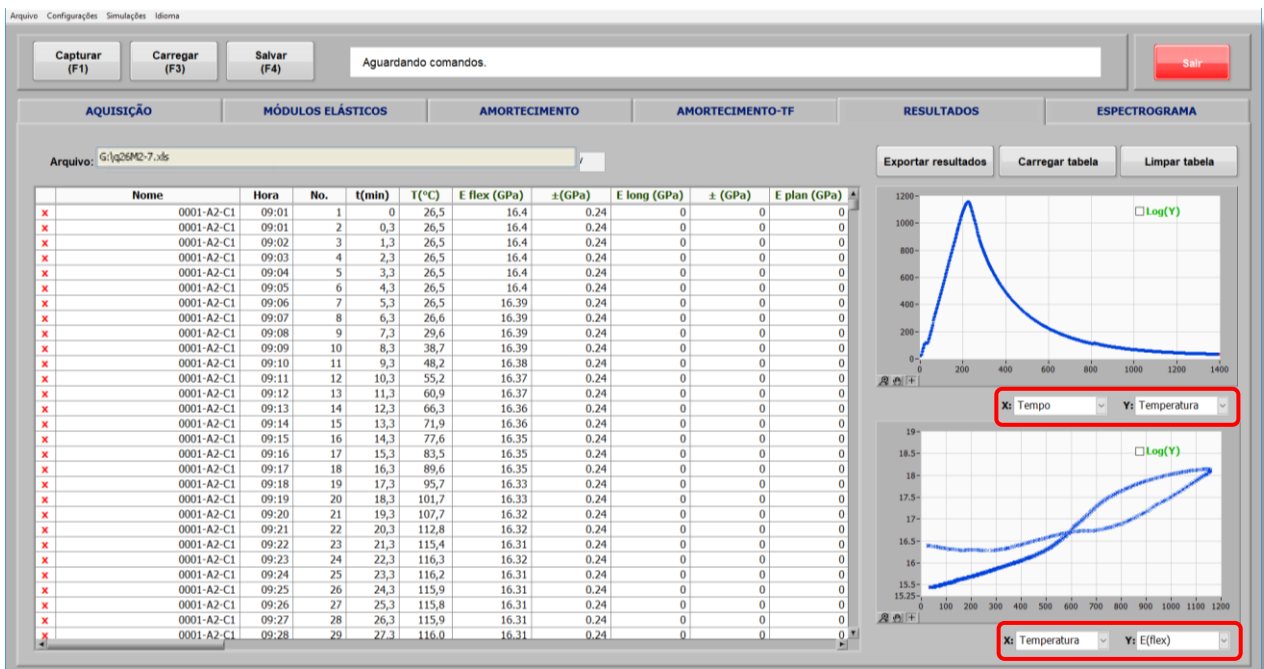


Figura 92 - Tela do Software Sonelastic® com dados e gráficos de medições automáticas em função da temperatura.

As Figuras 93 e 94 ilustram uma planilha gerada pelo Software Sonelastic®. Este formato de exportação dos dados (.csv) facilita o posterior tratamento dos dados e a importação para o Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
1	Name	Time	No.	t(min)	T(°C)	E flex (GPa)	ε(GPa)	E long (GPa)	ε(GPa)	E plan (GPa)	ε(GPa)	G (GPa)	ε(GPa)	μ(Ad.)	ε(Ad.)	F. Damping (Hz)	Damping (Ad.)	A (V)	F. Damping-TF (Hz)	Damping-TF (Ad. E-6)	A(V)	Vp (m/s)	ε(m/s)	Vs (m/s)	ε(m/s)	TimeStamp (s)	Actuator V (V)	Tan
2	AL-BAR Auto	11:15	1	0	---	69.9707	0.4918	0	0	0	0	26.4689	0.0652	0.3218	0.0086	8873.4	0.000368	0.003485	8873.446	400.5	0.003485	6168.1	53	3162.1	9	3654771327	4.8	
3	AL-BAR Auto	11:15	2	0.3	---	69.9519	0.4917	0	0	0	0	26.4686	0.0652	0.3214	0.0086	8872.4	0.000357	0.002498	8872.383	188.8	0.002498	6163.8	53	3162.1	9	3654771343	4.8	
4	AL-BAR Auto	11:16	3	1.3	---	69.9618	0.4917	0	0	0	0	26.4701	0.0652	0.3215	0.0086	8873	0.000355	0.002683	8872.966	392.4	0.002683	6165.4	53	3162.1	9	3654771403	4.8	
5	AL-BAR Auto	11:17	4	2.3	---	69.9638	0.4917	0	0	0	0	26.4707	0.0652	0.3215	0.0086	8873.1	0.000351	0.002457	8873.092	398.6	0.002457	6165.5	53	3162.2	9	3654771463	4.8	
6	AL-BAR Auto	11:18	5	3.3	---	69.9714	0.4918	0	0	0	0	26.4698	0.0652	0.3217	0.0086	8873.5	0.000346	0.002484	8873.507	389.4	0.002484	6167.9	53	3162.1	9	3654771523	4.8	
7	AL-BAR Auto	11:19	6	4.3	---	69.9767	0.4918	0	0	0	0	26.471	0.0652	0.3218	0.0086	8873.8	0.00034	0.003171	8873.824	415.5	0.003171	6168.5	53	3162.2	9	3654771583	4.8	
8	AL-BAR Auto	11:20	7	5.3	---	69.9799	0.4919	0	0	0	0	26.4716	0.0652	0.3218	0.0086	8874	0.000355	0.002591	8874.019	389.8	0.002591	6169	53.1	3162.2	9	3654771643	4.8	
9	AL-BAR Auto	11:21	8	6.3	---	69.9782	0.4918	0	0	0	0	26.4726	0.0652	0.3217	0.0086	8873.9	0.000364	0.002731	8873.939	442.1	0.002731	6168	53	3162.3	9	3654771703	4.8	
10	AL-BAR Auto	11:22	9	7.3	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4725	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002577	8874.03	402	0.002577	6168.5	53	3162.3	9	3654771763	4.8	
11	AL-BAR Auto	11:23	10	8.3	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4735	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002438	8874.049	408	0.002438	6167.9	53	3162.3	9	3654771823	4.8	
12	AL-BAR Auto	11:27	11	11.6	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4735	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002438	8874.049	408	0.002438	6167.9	53	3162.3	9	3654772021	4.8	

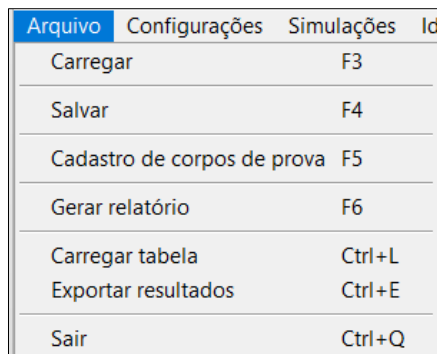
Figura 93 - Exemplo de tabela gerada pelo Software Sonelastic® e importada pelo programa MS Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Name	Time	No.	t(min)	T(°C)	E flex (GPa)	ε(GPa)	E long (GPa)	ε(GPa)	E plan (GPa)	ε(GPa)	G (GPa)	ε(GPa)	μ(Ad.)	ε(Ad.)	F. Damping (Hz)	Damping (Ad.)	A (V)
2	AL-BAR Auto	11:15	1	0	---	69.9707	0.4918	0	0	0	0	26.4689	0.0652	0.3218	0.0086	8873.4	0.000368	0.003485
3	AL-BAR Auto	11:15	2	0.3	---	69.9519	0.4917	0	0	0	0	26.4686	0.0652	0.3214	0.0086	8872.4	0.000357	0.002498
4	AL-BAR Auto	11:16	3	1.3	---	69.9618	0.4917	0	0	0	0	26.4701	0.0652	0.3215	0.0086	8873	0.000355	0.002683
5	AL-BAR Auto	11:17	4	2.3	---	69.9638	0.4917	0	0	0	0	26.4707	0.0652	0.3215	0.0086	8873.1	0.000351	0.002457
6	AL-BAR Auto	11:18	5	3.3	---	69.9714	0.4918	0	0	0	0	26.4698	0.0652	0.3217	0.0086	8873.5	0.000346	0.002484
7	AL-BAR Auto	11:19	6	4.3	---	69.9767	0.4918	0	0	0	0	26.471	0.0652	0.3218	0.0086	8873.8	0.00034	0.003171
8	AL-BAR Auto	11:20	7	5.3	---	69.9799	0.4919	0	0	0	0	26.4716	0.0652	0.3218	0.0086	8874	0.000355	0.002591
9	AL-BAR Auto	11:21	8	6.3	---	69.9782	0.4918	0	0	0	0	26.4726	0.0652	0.3217	0.0086	8873.9	0.000364	0.002731
10	AL-BAR Auto	11:22	9	7.3	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4725	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002577
11	AL-BAR Auto	11:23	10	8.3	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4735	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002438
12	AL-BAR Auto	11:27	11	11.6	---	69.9798	0.4919	0	0	0	0	26.4735	0.0652	0.3217	0.0086	8874	0.000358	0.002438

Figura 94 - Exemplo de tabela gerada pelo Software Sonelastic®, importada pelas planilhas do Google.

## 8.8 Menu Arquivo

O menu "Arquivo" (Fig. 95) é uma forma alternativa para salvar e carregar arquivos, bem como para carregar e exportar dados para uma planilha. Através desse menu também é possível acessar a planilha de cadastro de corpos de prova e gerar relatório dos ensaios.



Arquivo	Configurações	Simulações	Id
Carregar		F3	
Salvar		F4	
Cadastro de corpos de prova		F5	
Gerar relatório		F6	
Carregar tabela		Ctrl+L	
Exportar resultados		Ctrl+E	
Sair		Ctrl+Q	

Figura 95 - Menu Arquivo.

Para carregar um arquivo, clique em "Carregar". Para salvar uma medição no formato do Software Sonelastic® (.atcp), clique em "Salvar". Para carregar uma planilha com dados prévios de uma caracterização, clique em "Carregar planilha". Por fim, para exportar os principais resultados para uma planilha, clique em "Exportar dados".

Neste menu também é possível fechar a janela do Software Sonelastic® clicando em "Sair".

## 8.9 Menu Configurações

No menu "Configurações" (Fig. 96) é possível selecionar o modo de aquisição do sinal (manual ou automático), ajustar a aquisição, habilitar a apresentação dos resultados de velocidade, ajustar as configurações de medições em função da temperatura e, por fim, realizar ajustes finos nas configurações de processamento e de aquisição dos dados.

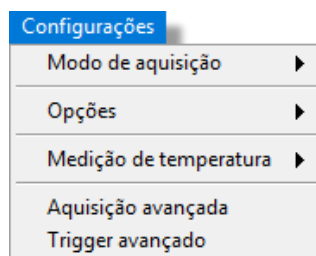


Figura 96 - Menu Configurações.

### 8.9.1 Modo de aquisição

A aquisição pode ser "Manual", conforme descrito nos itens 8.1 a 8.6, ou "Automática" conforme descrito no item 8.7 *Modo de aquisição automático*.

O modo de aquisição automático é recomendado para usuários que desejam realizar medições seriadas em função do tempo e/ou da temperatura (caso haja um sistema de medição acoplado). Para empregar o modo automático é necessário o Pulsador Automático IED.

### 8.9.2 Opções

No menu "Configurações/Opções" (Fig. 97) é possível "Permitir valores nulos para incertezas", "Mostrar Valores de Vp e Vs", "Estimar o Eci por Popovics (ABNT NBR 8522-1:2021)" e "Dimensões de cilindros pela ABNT NBR 8522-2:2021".

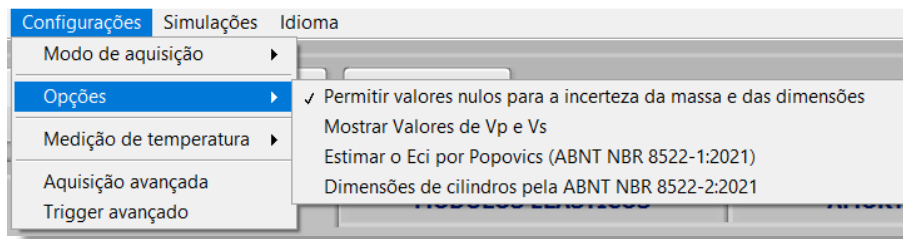


Figura 97 - Opções do menu "Configurações/Opções".

A opção "Permitir valores nulos para erros" permite que os valores das incertezas dos parâmetros de entrada sejam nulos, ou seja, o usuário poderá deixar os campos reservados às incertezas das dimensões e da massa com valores iguais a zero.

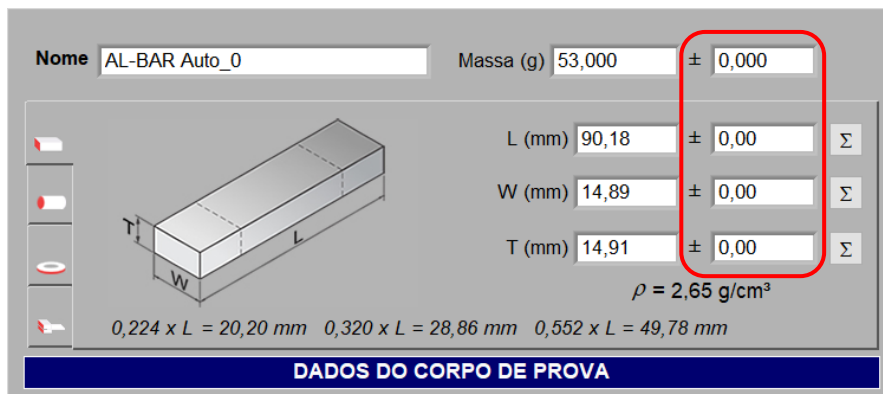


Figura 98 - Campos para a inserção das incertezas.

Se a opção "Permitir valores nulos para incertezas" estiver desativada, o usuário precisa necessariamente informar as incertezas, caso contrário, o Software não permitirá o prosseguimento para a aba dos módulos elásticos e mostrará a seguinte mensagem (Fig. 99).

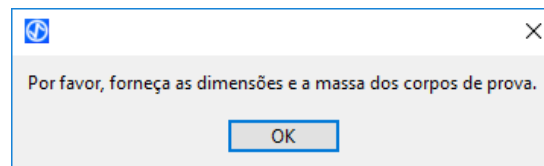


Figura 99 - Janela de diálogo do Software para quando a opção "Permitir valores nulos para erros" está desativada e o usuário tenta acessar a tela de cálculo dos módulos elásticos.

A opção "Mostrar valores de Vp e Vs" ativa o cálculo e a exibição da velocidade do som para ondas P ("Vp") e da velocidade do som para ondas S ("Vs") juntamente com os valores dos módulos elásticos na aba MÓDULOS ELÁSTICOS (Fig. 100-[a]). A opção "Estimar o Eci por Popovics (ABNT NBR 8522-1:2021)" ativa a estimativa e exibição do módulo tangente inicial (Eci) (Fig. 100-[b]). Esta opção deve ser considerada somente para concretos e materiais cimentícios.

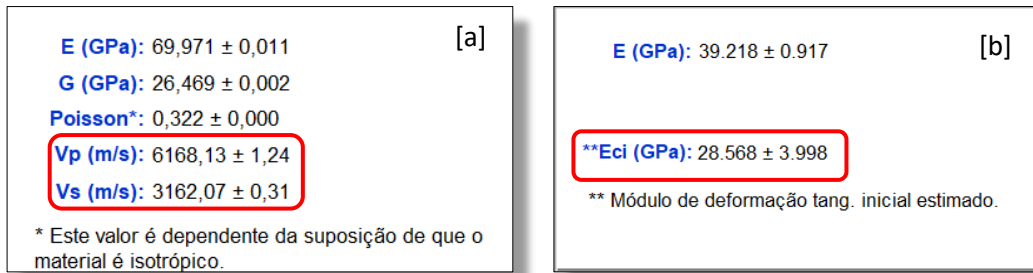


Figura 100 – [a]: Seção dos resultados dos módulos elásticos apresentando os valores da velocidade do som para ondas P (“Vp”) e para ondas S (“Vs”); [b]: Seção dos resultados dos módulos elásticos apresentando o módulo de elasticidade tangente inicial estimado (Eci).

A opção “Estimar o Eci por Popovics (ABNT NBR 8522-1:2021)” ativa a estimativa e apresentação do módulo tangente inicial (Eci) na aba de resultados. Esta opção deve ser considerada somente para concretos e materiais cimentícios.

### 8.9.3 Medição de temperatura

Neste campo, é selecionado o dispositivo para a medição de temperatura (Fig. 101). Para isso, escolha a opção que represente a forma de comunicação do controlador do Forno que realizará o ensaio.

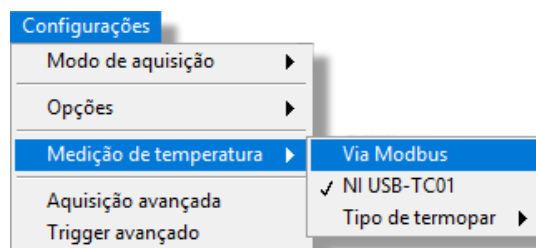


Figura 101 – Opções relacionadas a “Medição de temperatura” do Menu “Configurações”.

### 8.9.4 Aquisição avançada

O modo de “Aquisição avançada” permite ajustes finos no processamento do sinal (Fig. 102).

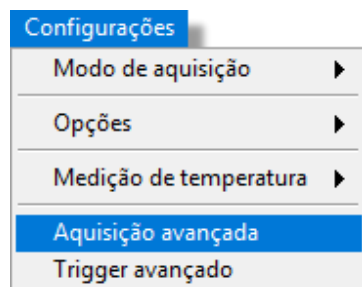
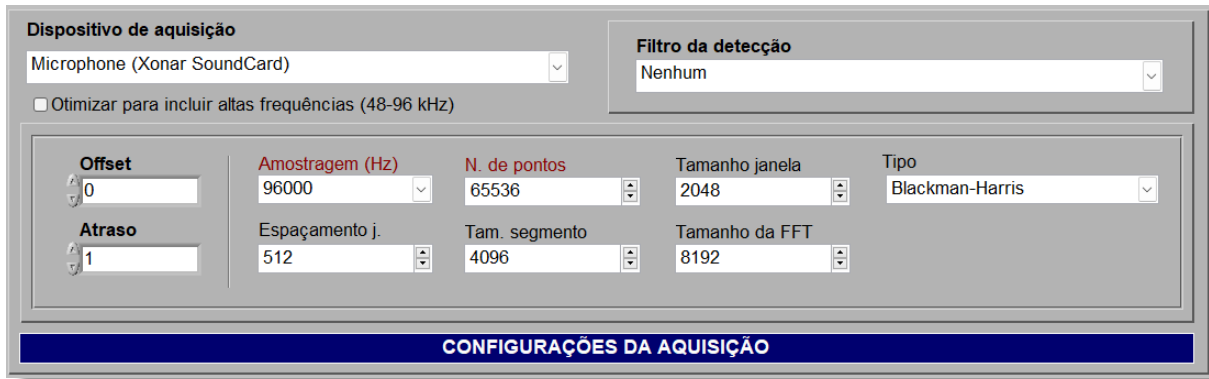


Figura 102 - Menu para seleção do modo de aquisição avançada.

Assim que esta opção é habilitada, uma nova tela aparecerá no campo “Configurações da aquisição” no módulo de “Aquisição”. Esta nova tela contém os ajustes finos avançados referentes ao processamento do sinal. Este recurso somente deve ser utilizado por usuários avançados com conhecimento de processamento digital de sinais.



Dispositivo de aquisição		Filtro da detecção		
Microphone (Xonar SoundCard)		Nenhum		
<input type="checkbox"/> Otimizar para incluir altas frequências (48-96 kHz)				
Offset	Amostragem (Hz)	N. de pontos	Tamanho janela	Tipo
0	96000	65536	2048	Blackman-Harris
Atraso	Espaçamento j.	Tam. segmento	Tamanho da FFT	
1	512	4096	8192	

**CONFIGURAÇÕES DA AQUISIÇÃO**

Figura 103 - Seção para configuração dos ajustes avançados do processamento do sinal.

### 8.8.5 Trigger avançado

Para selecionar o modo avançado do Trigger, habilite a opção "Trigger avançado" em "Configurações" (Fig. 104). Este campo altera a janela referente ao *Filtro da detecção* presente em "Configurações da aquisição" (ver item 8.1.3 *Ajustando a aquisição de sinal*).

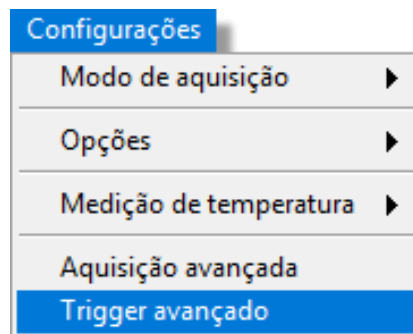
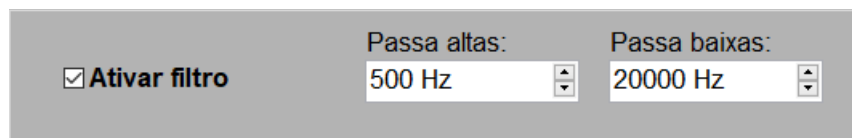


Figura 104 - Menu para seleção da opção "Trigger avançado".

Uma nova tela substituirá o campo "Filtro de detecção", permitindo que a faixa de frequências possa ser ajustada livremente. Selecione o intervalo das frequências de interesse, utilizando as setas para cima e para baixo ao lado das opções "Passa altas" e "Passa baixas" (Fig. 105). Se o usuário não quiser aplicar nenhum filtro, basta desativar a opção "Ativar filtro".



<input checked="" type="checkbox"/> <b>Ativar filtro</b>	Passa altas:	Passa baixas:
	500 Hz	20000 Hz

Figura 105 - Seção para ajuste da janela de frequências.

## 8.10 Menu Simulações

O Software Sonelastic® permite que o usuário estime as frequências fundamentais de vibração de um determinado corpo de prova a partir dos módulos elásticos esperados. Para selecionar esta opção, clique no menu "Simulações", e então em "Estimador de frequência" (Fig. 106).

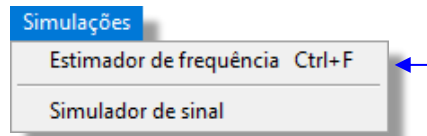


Figura 106 - Menu para simulações no Software.

Há duas opções neste menu: "Estimador de frequência" e "Simulador de sinal". A primeira opção possibilita ao usuário estimar as frequências naturais fundamentais de vibração flexional, torcional, longitudinal e planar de um determinado corpo de prova. Já a segunda opção foi criada para uso exclusivo da ATPC Engenharia Física em testes e calibrações.

Para habilitar o estimador de frequências, clique em "Estimador de frequências". Uma nova janela irá se abrir contendo os parâmetros de entrada necessários para a cálculo das frequências (Fig. 107). Preencha os campos destinados ao módulo de elasticidade aproximado do material (GPa), à densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) e às dimensões (mm).

A opção "Estimar" possibilita que o usuário defina se deseja que o Software Sonelastic® estime os valores de módulo de cisalhamento (G) e de coeficiente de Poisson ( $\mu$ ) para o cálculo da frequência fundamental torcional. Caso esta opção esteja habilitada, o Software considerará que o módulo de cisalhamento do material é igual a 40% do módulo de Young e o coeficiente de Poisson igual a 0,25. Caso o corpo de prova não atenda a estes valores, é possível desabilitar esta função e informar os valores para estas propriedades.

Após inserir as informações necessárias, clique em "Calcular". O Software informará um valor aproximado para as frequências flexional, torcional e longitudinal para barras retangulares e cilindros; somente flexional para barras engastadas; e, somente planar para discos e anéis.

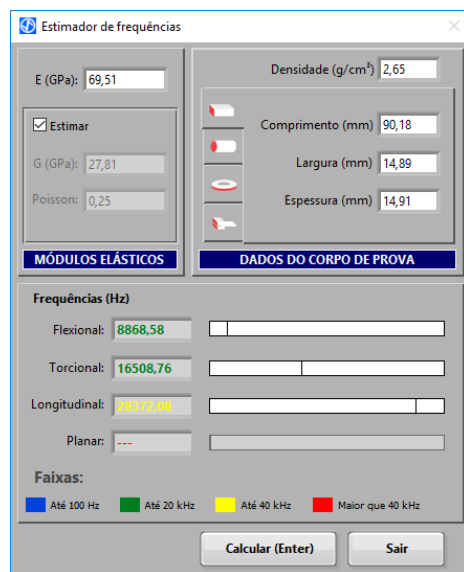


Figura 107 - Estimador de frequências.



A legenda no canto inferior da tela ajuda o usuário na identificação da faixa de frequência que o corpo de prova vibrará. Frequências que aparecerem na cor azul (até 100 Hz) são críticas e podem necessitar de ajustes finos para serem captadas (veja o item 8.9.4 *Modo de aquisição avançada*). Frequências acima de 40 kHz (cor vermelha) necessitam de captadores acústicos e dispositivos de aquisição especiais para serem detectadas. *Nota: Os Captadores Acústicos CA-DP e CA-DP-S da ATCP, bem como a placa de aquisição Xonar, estão aptos a captar frequências até 96 kHz.*

O “Estimador de frequências” permite que o usuário avalie se o corpo de prova apresentará frequências detectáveis pelo Software e pelo aparato experimental. Além disso, auxilia o usuário na identificação do modo de vibração das frequências detectadas.

Para fechar a tela do “Estimador de frequências”, clique em “Sair”.

### 8.11 Menu idioma

É possível alterar o idioma principal do Software Sonelastic®, escolhendo a opção desejada no menu “Idioma” (Figura 108). As opções disponíveis são: Inglês e Português.

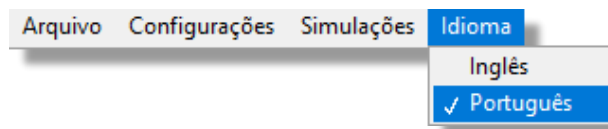


Figura 108 - Menu "Idioma".

### 8.12 Módulo para o cadastro de corpos de prova

É possível realizar o cadastro prévio das dimensões e da massa dos corpos de prova utilizando o módulo de “Cadastro de corpos de prova”. Para acessá-lo, você pode clicar no botão **Id** da aba aquisição (Fig. 109), ou ir no menu “Arquivo/Cadastro de corpos de prova” ou utilizar a tecla de atalho [F5].

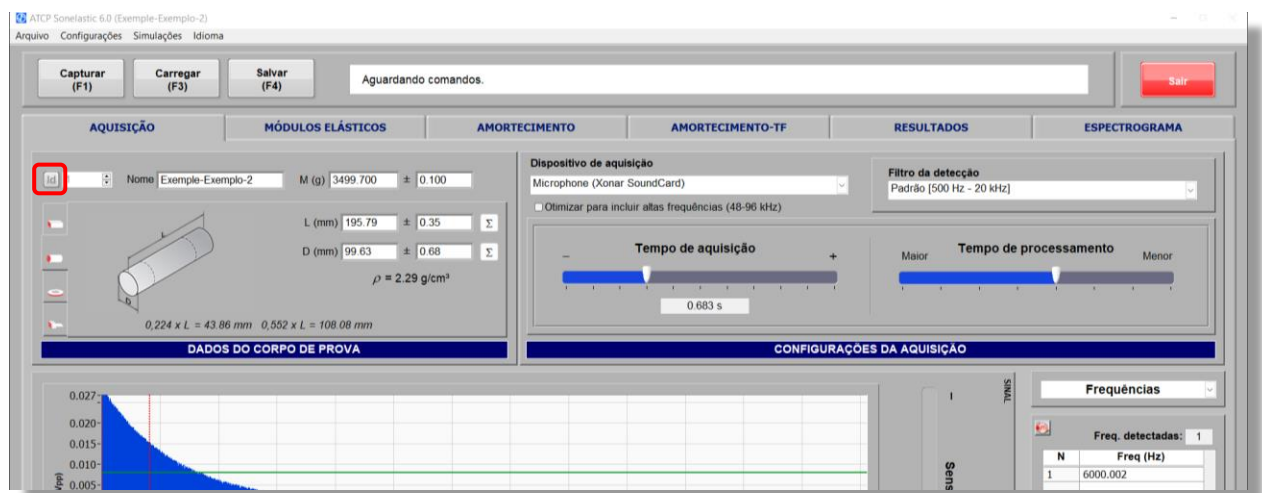



Figura 109 – Botão “Id” para acessar o módulo de cadastro prévio das dimensões e massa dos corpos de prova.

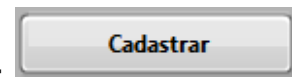
A Figura 110 mostra a interface do módulo de cadastro de corpos de prova, que compreende uma planilha e os campos para a entrada da massa e das dimensões dos corpos de prova.



Figura 110 – Interface do módulo de cadastro de corpos de prova.


- Ao se clicar no botão  para a abertura do módulo de cadastro, os dados do campo "DADOS DO CORPO DE PROVA" da Aba Aquisição são trazidos para a interface.

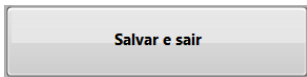
- Para cadastrar um corpo de prova, informe os dados e clique em:



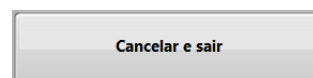
Ao se clicar no botão [Cadastrar], será criada uma nova linha no final da planilha. Ao se clicar no botão [Cadastrar] combinado com a tecla [Shift], os dados serão sobrescritos na linha em destaque na planilha. A Capacidade máxima da planilha é de 9.999 linhas.

- Para apagar uma linha de dados da planilha, clique no [X] da primeira coluna.

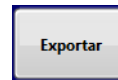
- Para cadastrar um corpo de prova diretamente do campo "DADOS DO CORPO DE PROVA" da Aba Aquisição, clique no botão  segurando a tecla [Shift].

- Parar salvar as alterações e sair, clique em: . Ao salvar e sair, os dados da linha da planilha em destaque serão lançados no campo "DADOS DO CORPO DE PROVA" da Aba Aquisição.

- Para descartar as alterações e sair, clique em:



- Para exportar os dados da planilha para um arquivo csv, clique em:



- Para importar os dados de um arquivo csv para a planilha, clique em:



- Para apagar o conteúdo da planilha, clique em:



- Para editar o conteúdo da planilha, clique em:



- Para utilizar os dados do cadastro de corpos de prova, altere o índice do controle mostrado na Fig. 111 clicando nas setas ou digitando. Os dados do cadastro serão lançados nos campos do "DADOS DO CORPO DE PROVA".

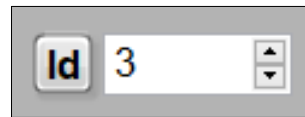


Figura 111 – Controle para a seleção dos dados do cadastro de corpos de prova.

O botão [Id] ficará acinzentado quando os dados "DADOS DO CORPO DE PROVA" importados do cadastro forem editados.

### 8.13 Geração de relatório de ensaio

O Software Sonelastic pode gerar relatório de ensaio, essa função pode ser acessada pelo menu "Arquivo/Gerar relatório" ou pela tecla de atalho [F6]. Para gerar o relatório, é necessário informar as informações da interface mostrada na Fig. 112.

Gerar relatório

Nome: CP

Fabricante: Leo.

Material: Concreto

Identificação: 0001

Operador: Henrique

Observações: >28 dias

Limpar Exportar Cancelar

Figura 112 – Interface de dados para o relatório de ensaio.

A Figura 113 apresenta um exemplo de relatório de ensaio gerado pelo Software Sonelastic.

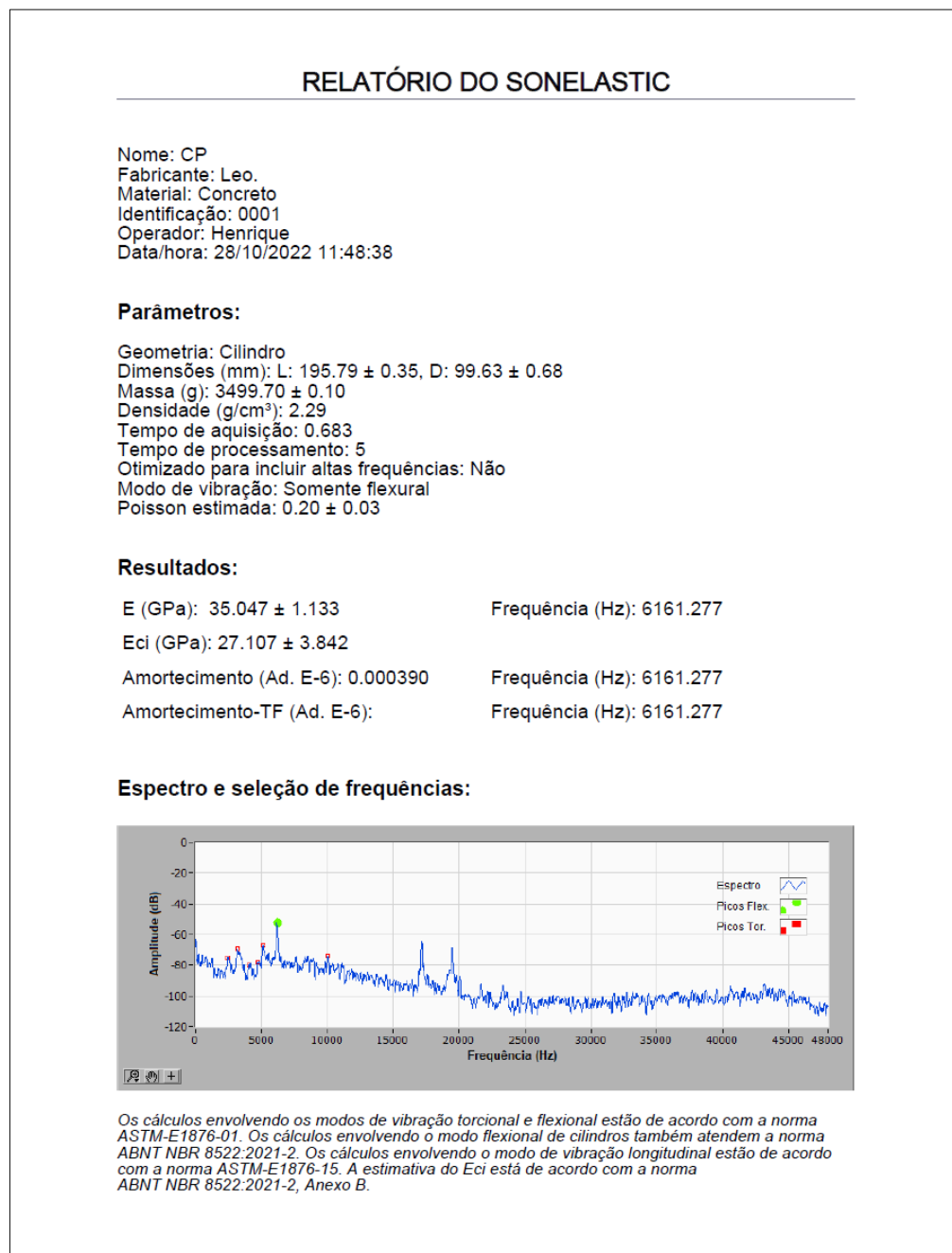


Figura 113 – Exemplo de relatório de ensaio para um corpo de prova cilíndrico de concreto.

## 8.14 Sair do Software

Para fechar o Software Sonelastic®, clique na opção "Sair" presente no canto superior direito da interface principal ou escolha a opção "Sair" do menu "Arquivo".

É altamente recomendado que o Software Sonelastic® seja fechado por uma das opções descritas acima para que a última configuração seja salva e recuperada na próxima abertura.

## **9. Advertências**

- ▲ A leitura das informações contidas neste manual de instalação e operação é indispensável para a correta utilização do Software Sonelastic®.
- ▲ A rede de energia elétrica onde serão conectados o computador, os acessórios e os opcionais para uso do Software Sonelastic® deverá possuir obrigatoriamente um sistema de aterramento.
- ▲ O não cumprimento das instruções descritas neste manual durante a utilização do Software Sonelastic® poderá fazer com que o período de garantia seja reduzido ou cancelado.

## 10. Solução de problemas

Problema	Possível causa	Solução
O Software não abre.	Instalação incorreta.	Verifique se todos os passos descritos no item 6 deste manual foram seguidos corretamente e se a licença para uso do Software está correta.
O Software não reconhece o Pulsador Automático IED ou o módulo de aquisição de sinais ADAC conectado ao sistema.	O Pulsador IED ou o ADAC foi conectado após a inicialização do Software.	Retire o IED ou o ADAC da correspondente entrada e reinicie o Software. Conecte-o novamente e clique na opção "Testar" correspondente ao Pulsador do ADAC.
Ao fazer a aquisição do sinal, o Software demora para exibir os resultados.	O tempo de aquisição está muito elevado.	Diminua o "Tempo de aquisição".
	O Software não estava pronto para iniciar a medição.	Clique na opção "Parar" para parar a medição e faça a aquisição novamente.
Nenhum sinal é detectado pelo Software ou a aquisição não dispara.	A escala ("Sensibilidade") está incorreta.	Modifique a escala ("Sensibilidade") para que a resposta acústica do corpo de prova seja capaz de disparar a aquisição.
Nenhum pico de frequência foi detectado.	Os ajustes para a medição não estão corretos.	Confira os ajustes feitos para a aquisição da medida conforme o item 8.1.3 deste manual.
Durante uma medição automática o Software emitiu um som "bip" e na tabela de resultados um dos parâmetros ficou igual à zero.	O Software selecionou a frequência errada.	Pause a medição e faça um ajuste da região de interesse do espectro, conforme o item 8.1.5 deste manual.
	O Software perdeu a comunicação com os itens opcionais.	Pause a medição e depois retorne.
Durante uma medição automática em função da temperatura o Software parou de salvar a temperatura.	O Software perdeu a comunicação com o forno.	Pause a medição e refaça o ajuste da aquisição de temperatura conforme descrito no item 8.1.5 deste manual, atualizando e salvando o valor da temperatura. Se o problema se repetir, pause a medição, desconecte e reconecte o forno.

Os resultados das medições parecem não estar coerentes com o material caracterizado ou não são calculados.	Corpo de prova mal posicionado para realização das medições.	Posicione o corpo de prova corretamente conforme descrito no manual de instalação e operação do suporte utilizado.
	Suporte inadequado para o tipo de corpo de prova utilizado.	Utilize um modelo de suporte adequado.
	As frequências selecionadas estão incorretas.	Selecione as frequências flexional e torcional corretas.

---

## 11. Assistência técnica

---

Caso o software apresente alguma manifestação fora do normal, verifique se o problema está relacionado com algum dos problemas listados no quadro do item 10. *Solução de problemas*. Se mesmo assim não for possível solucionar o problema, entre em contato com a ATCP Engenharia Física obter suporte ([info@sonelastic.com](mailto:info@sonelastic.com)).

## 12. Termo de garantia

---

A ATCP Engenharia Física oferece para este software a garantia de 12 meses a partir da data de compra. Fatores que podem implicar na perda da garantia:

- 1- Inobservância dos cuidados recomendados neste manual com relação à instalação e operação do Software;
- 2- Instalação inadequada ou outro dano provocado por uso incorreto;
- 3- Violação ou alteração executada no Software por pessoal não autorizado pela ATCP Engenharia Física.

Após o vencimento do período de garantia, todos os serviços e despesas serão cobrados conforme norma vigente da empresa.

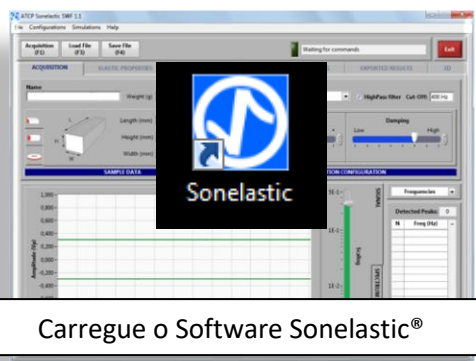
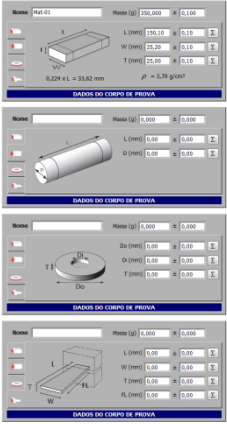
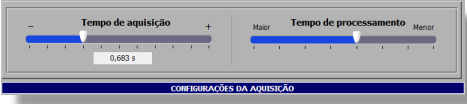

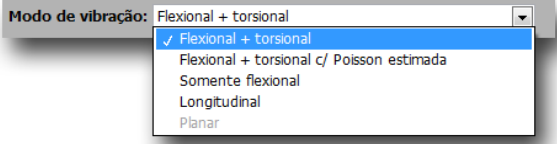

## 13. Termo de responsabilidade

---

A empresa ATCP Engenharia Física, Divisão Sonelastic®, assume a total responsabilidade técnica e legal pelo produto Software Sonelastic® e afirma que todas as informações aqui prestadas são verdadeiras.



**Apêndice A – Guia rápido de medição com o Sonelastic®**

<p>1</p>  <p>Carregue o Software Sonelastic®</p>	<p>2</p> <p><b>AQUISIÇÃO</b></p> <p>Escolha a geometria do corpo de prova: barra retangular, cilindro, anel ou barra engastada. Insira o nome, as dimensões e a massa com as respectivas incertezas.</p> 																																																															
<p>3</p>  <p>Calibre a duração do sinal (“Tempo de aquisição”) e o “Tempo de processamento”.</p>	<p>4</p> <p><b>Capturar (F1)</b></p>  <p>Faça a aquisição do sinal clicando na opção “Capturar (F1)”.</p>																																																															
<p>5</p> <p><b>MÓDULOS ELÁSTICOS</b></p>  <p>Na aba “MÓDULOS ELÁSTICOS” escolha o tipo de análise a ser realizada.</p>	<p>6</p> <table border="1" data-bbox="944 1124 1353 1397"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>Freq (Hz)</th> <th>Amp (Vpp)</th> <th>F</th> <th>T</th> <th>L</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>506,710</td><td>0,000444</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>8537,126</td><td>0,000717</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>9710,789</td><td>0,000485</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>9868,362</td><td>0,072028</td><td>x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>18322,986</td><td>0,001385</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>18404,907</td><td>0,090421</td><td></td><td>x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>24035,868</td><td>0,011216</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>28273,119</td><td>0,000588</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <p>Selecione a(s) frequência(s).</p>	N	Freq (Hz)	Amp (Vpp)	F	T	L	P	1	506,710	0,000444					2	8537,126	0,000717					3	9710,789	0,000485					4	9868,362	0,072028	x				5	18322,986	0,001385					6	18404,907	0,090421		x			7	24035,868	0,011216					8	28273,119	0,000588				
N	Freq (Hz)	Amp (Vpp)	F	T	L	P																																																										
1	506,710	0,000444																																																														
2	8537,126	0,000717																																																														
3	9710,789	0,000485																																																														
4	9868,362	0,072028	x																																																													
5	18322,986	0,001385																																																														
6	18404,907	0,090421		x																																																												
7	24035,868	0,011216																																																														
8	28273,119	0,000588																																																														
<p>7</p> <p><b>AMORTECIMENTO</b></p> <p><b>AMORTECIMENTO-TF</b></p> <p>Passa para as abas de cálculo do amortecimento: “AMORTECIMENTO” e “AMORTECIMENTO-TF”.</p>	<p>8</p> <p><b>RESULTADOS</b></p> <p>Passa para a aba de processamento dos resultados (“RESULTADOS”) e exporte os dados através do botão “Exportar dados”.</p> <p><b>Exportar dados</b></p>																																																															
<p>9</p> <p><b>Salvar (F4)</b></p> 	<p>Para mais informações, visite:</p> <p><a href="http://www.sonelastic.com">www.sonelastic.com</a></p>																																																															

## Apêndice B – Equações utilizadas para o cálculo das propriedades elásticas

### 1. Corpos de prova no formato de barras retangulares

#### 1.1 Cálculo do Módulo de Young (Flexional):

$$E = 0.9465(mf_f^2/b)(L^3/t^3)T_1$$

Onde:

$E$  = Módulo de Young (Pa);

$m$  = Massa da barra (g);

$b$  = Largura da barra (mm);

$L$  = Comprimento da barra (mm);

$t$  = Espessura da barra (mm);

$f_f$  = Frequência fundamental para a barra em modo flexional (Hz);

$T_1$  = Fator de correção (ASTM E1876-01).

#### • Cálculo da incerteza do Módulo de Young (Flexional):

$$\Delta E = \frac{2E}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_f}{f_f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(3\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(3\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{1}{40}\frac{\Delta \mu^*}{\mu}\right)^2}$$

#### 1.2 Cálculo do Módulo de Cisalhamento (Torcional):

$$G = \frac{4Lmf_t^2}{bt}R$$

Onde:

$G$  = Módulo de Cisalhamento (Pa);

$m$  = Massa da barra (g);

$b$  = Largura da barra (mm);

$L$  = Comprimento da barra (mm);

$t$  = Espessura da barra (mm);

$f_t$  = Frequência fundamental para a barra em modo torcional (Hz);

$R$  = Fator de correção (ASTM E1876-01).

#### • Cálculo da incerteza do Módulo de Cisalhamento (Torcional):

$$\Delta G = \frac{2G}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_t}{f_t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2}$$

### 1.3 Cálculo do Módulo de Young (Modo longitudinal):

$$E = 4mf_t^2[L/(btK)]$$

Onde:

$E$  = Módulo de Young (Pa);

$m$  = Massa da barra (g);

$L$  = Comprimento da barra (mm);

$b$  = Largura da barra (mm);

$t$  = Espessura da barra (mm);

$f_t$  = Frequência fundamental para a barra em modo longitudinal (Hz);

$K$  = Fator de correção (ASTM E1876-15).

- Cálculo da incerteza para o Módulo de Young (Longitudinal):

$$\Delta E = \frac{2E}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_t}{f_t}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(\frac{1}{40} \frac{\Delta \mu^*}{\mu}\right)^2}$$

## 2. Corpos de prova no formato cilíndrico

### 2.1 Cálculo do Módulo de Young (Flexional):

$$E = 1,6067(L^3/D^4)(mf^2)T_1'$$

Onde:

$E$  = Módulo de Young (Pa);

$L$  = Comprimento do cilindro (mm);

$D$  = Diâmetro do cilindro (mm);

$m$  = Massa do cilindro (g);

$f$  = Frequência fundamental para o cilindro em modo flexional (Hz);

$T_1'$  = Fator de correção (ASTM E1876-01).

- Cálculo da incerteza para o Módulo de Young (Flexional):

$$\Delta E = \frac{2E}{1,73205} \sqrt{\left(3\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(4\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_f}{f_f}\right)^2 + \left(\frac{1}{40} \frac{\Delta \mu^*}{\mu}\right)^2}$$

## 2.2 Cálculo do Módulo de Cisalhamento (Torcional):

$$G = 16mf_t^2[L/(\pi D^2)]$$

Onde:

$G$  = Módulo de Cisalhamento (Pa);

$m$  = Massa do cilindro (g);

$D$  = Diâmetro do cilindro (mm);

$L$  = Comprimento do cilindro (mm);

$f_t$  = Frequência fundamental para o cilindro em modo torcional (Hz).

- Cálculo da incerteza para o Módulo de Cisalhamento (Torcional):

$$\Delta G = \frac{2G}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_t}{f_t}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta D}{D}\right)^2}$$

## 2.3 Cálculo do Módulo de Young (Longitudinal):

$$E = 16mf_l^2[L/(\pi D^2 K)]$$

Onde:

$E$  = Módulo de Young (Pa);

$m$  = Massa da barra (g);

$L$  = Comprimento da barra (mm);

$D$  = Diâmetro da barra (mm);

$f_l$  = Frequência fundamental para a barra em modo longitudinal (Hz);

$K$  = Fator de correção (ASTM E1876-15).

- Cálculo da incerteza para o Módulo de Young (Longitudinal):

$$\Delta E = \frac{2E}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta f_l}{f_l}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{1}{40} \frac{\Delta \mu^*}{\mu}\right)^2}$$

### 3. Corpos de prova no formato de discos

#### 3.1 Cálculo do Módulo de Young:

$$E = \frac{C_e C_d m f^2}{t(1 - \frac{h^2}{d^2})\mu^2}$$

Onde:

$E =$ módulo elástico;	$\beta =$ beta;
$d =$ diâmetro externo (mm);	$\gamma =$ gamma;
$t =$ espessura (mm);	$\delta =$ delta;
$h =$ diâmetro interno (mm);	$\varepsilon =$ épsilon;
$m =$ massa (g);	$\omega =$ ômega;
$f =$ Frequência (primeiro modo flex.);	$\psi =$ psi;
$\alpha =$ alpha;	$\mu =$ mu.

Tabela 1: Valores das constantes para o disco

$C_1 = 59.8713$	$C_7 = 67.758$	$C_c = 0.0049$
$C_4 = 61.00$	$C_8 = 9.42$	$C_d = 1273.24$
$C_5 = 1.5$	$C_9 = 42.443$	$C_e = 12983.95$
$C_6 = 0.63$	$C_0 = -26.0$	$C_c = 0.0049$

Tabela 2: Sequência de equações para o disco

$\alpha = (5 t/d)^2$	$\varepsilon = \delta - \alpha (C_5 + \alpha / C_6)$
$\beta = (h/d)^2$	$\omega = \beta (\varepsilon - C_4)$
$\gamma = (C_0\alpha - C_9) \beta$	$\psi = \alpha (\alpha - 8) + \omega + C_1$
$\delta = (C_7 + C_8\alpha^2 + \gamma) \beta$	$\mu = \psi t/d - C_c$

• Cálculo da incerteza para o Módulo de Young:

$$\Delta E = \frac{2E}{1,73205} \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta f_t}{f_t}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta t}{t}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(2 \frac{\Delta d}{d}\right)^2}$$

#### 4. Cálculo do coeficiente de Poisson

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1$$

- Cálculo da incerteza do coeficiente de Poisson:

$$\Delta\mu = \frac{2\mu}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2}$$

#### 5. Cálculo da velocidade do som para ondas P (Vp)

$$V_p = \sqrt{\frac{4G - E}{\rho(3 - E/G)}}$$

- Cálculo da incerteza para a velocidade do som de ondas P (Vp):

$$\Delta V_p = \frac{2V_p}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2}$$

- Cálculo do Erro de Vp para cilindros e barras quando apenas E é conhecido:

$$\Delta V_p = \frac{2V_p \Delta E}{\sqrt{3} E}$$

#### 6. Cálculo da velocidade do som para ondas S (Vs)

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

- Cálculo da incerteza para a velocidade de ondas S (Vs)

$$\Delta V_s = \frac{2V_s \Delta G}{\sqrt{3} G}$$

#### 7. Cálculo do módulo de elasticidade tangente inicial estimado (Eci)

$$E_{ci} = \frac{0,4275}{\rho} E_{cd}^{1,4}$$

Onde:

*Eci* = módulo tangente inicial estimado pelo modelo de Popovics para concretos e materiais cimentícios (Anexo B, ABNT NBR 8522-1:2021);

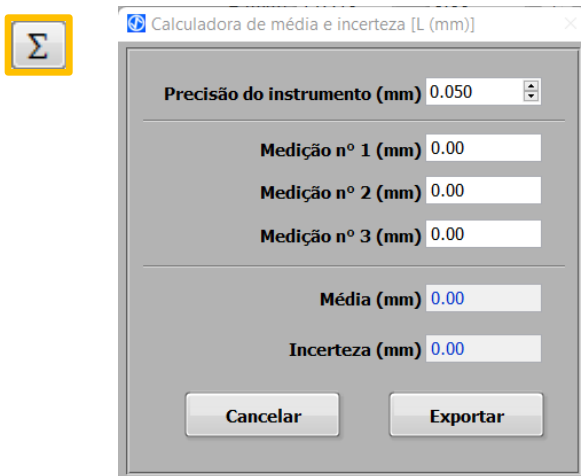
*Ecd* = módulo de Young (GPa), ou módulo dinâmico, determinado com o Sonelastic.

- Cálculo da incerteza para o módulo tangente inicial estimado ( $E_{ci}$ ):

$$\Delta E_{ci} = E_{ci} \sqrt{\left(\frac{\Delta E_{cd}}{E_{ci}}\right)^2 + (0,138)^2}$$

A constante 0,138 (13,8%) corresponde a soma do erro sistemático (6,7%) e do desvio padrão (7,1%) típicos da estimativa do  $E_{ci}$  a partir do  $E_{cd}$  empregando o modelo de Popovics, conforme especificado no Anexo B da ABNT NBR 8522-1:2021 (ver item B2-a, página 22).

## 8. Cálculo da incerteza através da interface auxiliar



$$Incerteza = \sqrt{P^2 + \frac{\sum_3 (Medida_n - Média)^2}{3}}$$

Onde:

$P$  = precisão do instrumento.

Para os casos onde são tomadas somente duas medições é empregada a equação abaixo. Isso ocorre para o comprimento e diâmetro de cilindros quando a opção de menu "Dimensões de cilindros pela ABNT NBR 8522-2:2021" está ativada.

$$Incerteza = \sqrt{P^2 + \frac{\sum_2 (Medida_n - Média)^2}{2}}$$

## Apêndice C – Detalhamento sobre os cálculos do amortecimento

### ➤ Amortecimento (E-6)

- Refere-se ao fator de amortecimento ou “damping ratio”;
- É uma grandeza adimensional;
- Corresponde a taxa de atenuação da oscilação;
- A informação entre parênteses “(E-6)” significa  $\times 10^{-6}$ .

Considerando que a oscilação em questão possa ser descrita pelo produto de uma cossenóide por uma exponencial decrescente, o damping ou “fator de amortecimento” corresponde ao parâmetro  $\zeta$  da equação (A) [2]:

$$x(t) = A_0 \cdot e^{-\zeta\omega_0 t} \cdot \cos(\omega_d t + \varphi) \quad (A)$$

Em que  $A_0$  é a amplitude inicial de vibração,  $\varphi$  é a fase inicial da vibração e  $\omega_d$  é chamada de frequência natural amortecida e é dada por:

$$\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (B)$$

### ➤ Fator Q

- Refere-se ao fator de qualidade mecânico.
- É uma grandeza adimensional.
- Está correlacionado com o consumo de energia por ciclo de oscilação.

O fator de qualidade Q é definido como  $2\pi$  vezes a razão entre a energia vibracional total e a energia perdida a cada ciclo devido ao atrito por ciclo. O fator de qualidade Q está correlacionado com o damping ou “fator de amortecimento” pela equação (C) [1,2]:

$$Q = \frac{1}{2\zeta} \quad (C)$$

### ➤ Tan ( $\varphi$ )

- Esta é uma notação típica da área de polímeros e possui as seguintes relações com o fator de qualidade e o amortecimento:

$$\text{Tan}(\varphi) = \frac{1}{Q} \quad (D)$$

$$\text{Tan}(\varphi) = 2\zeta \quad (E)$$

Esta notação é comum na área de polímeros e denota a relação entre a componente complexa e real do módulo de elasticidade:

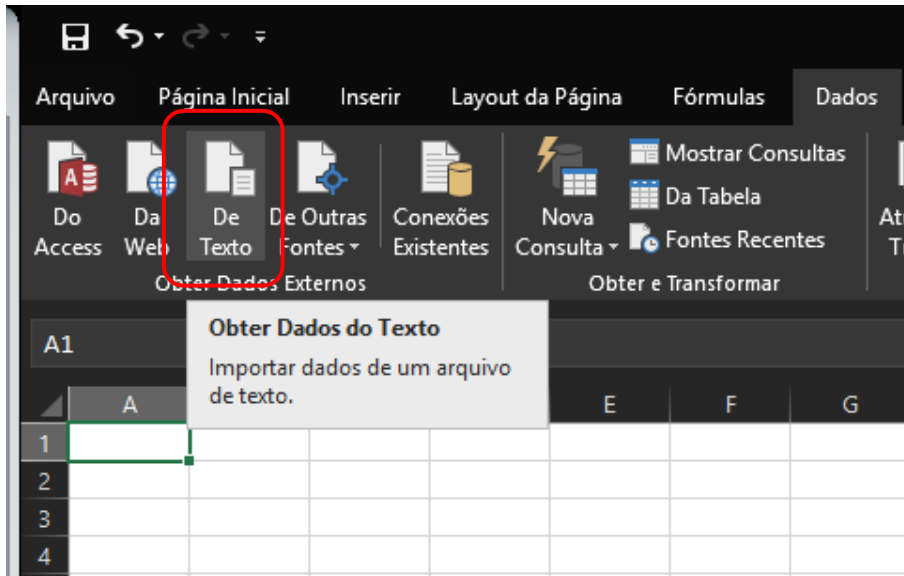
$$\text{Tan}(\varphi) = \frac{E''}{E'} \quad (F)$$



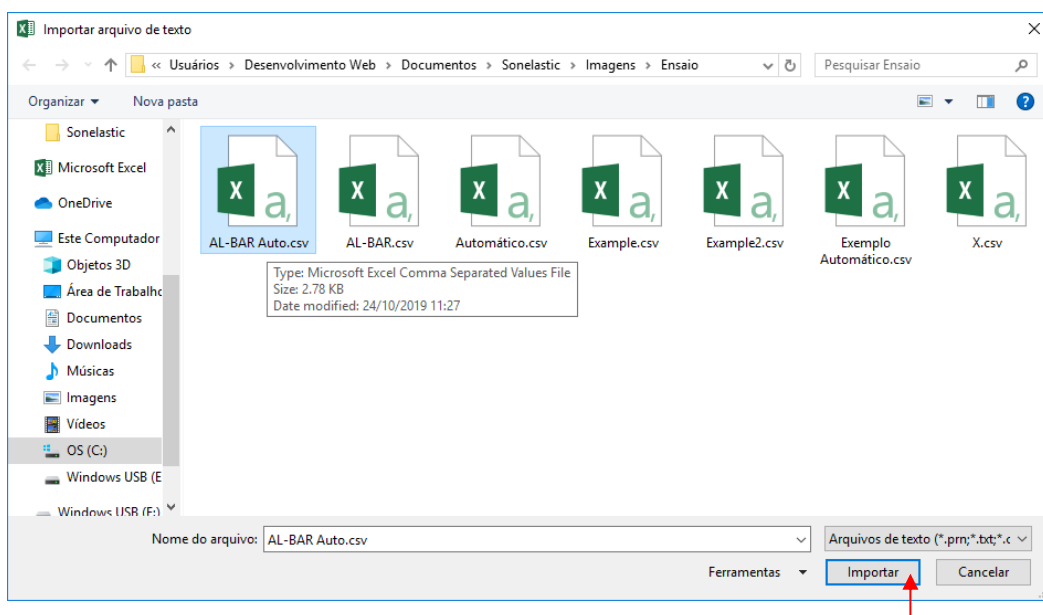
## Apêndice D – Importação de arquivo CSV no Microsoft Excel

Você pode importar dados de um arquivo de texto para uma planilha existente.

1. Clique na célula onde você deseja colocar os dados do arquivo de texto.
2. Clique em “Dados”.
3. No grupo “Obter Dados Externos”, clique em “De Texto”.



4. Na caixa de diálogo importar dados, localize e clique duas vezes no arquivo de texto que você deseja importar e clique em importar.



5. No assistente de importação, configure de acordo com as imagens a seguir e clique em avançar.

Assistente de Importação de Texto - etapa 1 de 3

O assistente de texto especificou os dados como Delimitado.  
 Se estiver correto, escolha 'Avançar' ou escolha o tipo que melhor descreva seus dados.

Tipo de dados originais

Escolha o tipo de campo que melhor descreva seus dados:

Delimitado - Caracteres como vírgulas ou tabulações separam cada campo.  
 Largura fixa - Campos são alinhados em colunas com espaços entre cada campo.

Iniciar importação na linha: 1 Origem do arquivo: 20269 : ISO-6937

Meus dados possuem cabeçalhos.

Visualização do arquivo C:\Users\Desenvolvimento Web\Documents\Sonelastic\Imagens\Ensaio\AL-BAR Auto.csv

1	Name	Time	No. t (min)	T (°C)	E flex (GPa)	± (GPa)	E long (GPa)	± (GPa)	E plan (GPa)	± (GPa)
2	AL-BAR Auto	11:15	1	0	69,9707	0,4918	0	0	0	0
3	AL-BAR Auto	11:16	3	1,3	69,9618	0,4917	0	0	0	0
4	AL-BAR Auto	11:17	4	0,3	69,9638	0,4917	0	0	0	0

Cancelar < Voltar Avançar > Concluir

Assistente de Importação de Texto - etapa 2 de 3

Esta tela permite que você defina os delimitadores contidos em seus dados. Você pode ver como seu texto é afetado na visualização abaixo.

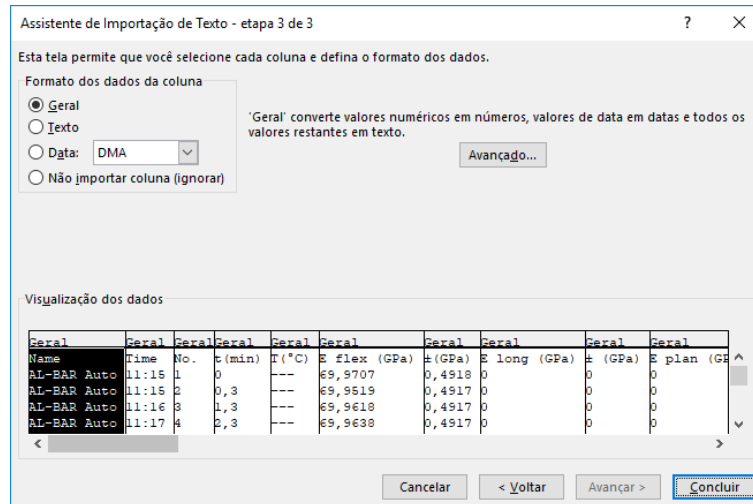
Delimitadores

Tabulação  Ponto e vírgula  Considerar delimitadores consecutivos como um só  
 Vírgula  Espaço Qualificador de texto: \*  
 Outros: [ ]

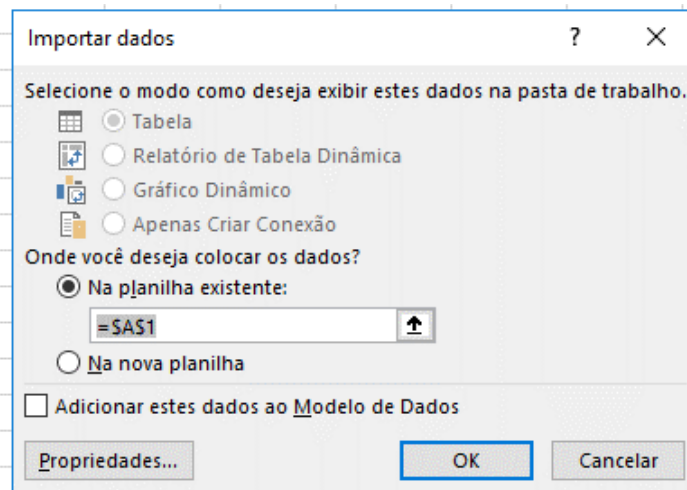
Visualização dos dados

Name	Time	No.	t (min)	T (°C)	E flex (GPa)	± (GPa)	E long (GPa)	± (GPa)	E plan (GPa)	± (GPa)
AL-BAR Auto	11:15	1	0	---	69,9707	0,4918	0	0	0	0
AL-BAR Auto	11:15	2	0,3	---	69,9519	0,4917	0	0	0	0
AL-BAR Auto	11:16	3	1,3	---	69,9618	0,4917	0	0	0	0
AL-BAR Auto	11:17	4	0,3	---	69,9638	0,4917	0	0	0	0

Cancelar < Voltar Avançar > Concluir



6. Clique em concluir. Na tela "Importar Dados", clique em OK.



7. Pronto!

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Name	Time	No.	t (min)	T (°C)	E flex (GPa)	± (GPa)	E long (GPa)	± (GPa)	E plan (GPa)	± (GPa)	G (GPa)	± (GPa)	μ (Ad.)	± (Ad.)	F. Damping (Hz)	Damping (Ad.)
2	AL-BAR Auto	11:15	1	0	---	69,9707	0,4918	0	0	0	0	26,4689	0,0652	0,3218	0,0086	8873,4	0,000368
3	AL-BAR Auto	11:15	2	0,3	---	69,9519	0,4917	0	0	0	0	26,4686	0,0652	0,3214	0,0086	8872,4	0,000357
4	AL-BAR Auto	11:16	3	1,3	---	69,9618	0,4917	0	0	0	0	26,4701	0,0652	0,3215	0,0086	8873,0	0,000355
5	AL-BAR Auto	11:17	4	2,3	---	69,9638	0,4917	0	0	0	0	26,4707	0,0652	0,3215	0,0086	8873,1	0,000351
6	AL-BAR Auto	11:18	5	3,3	---	69,9714	0,4918	0	0	0	0	26,4698	0,0652	0,3217	0,0086	8873,5	0,000346
7	AL-BAR Auto	11:19	6	4,3	---	69,9767	0,4918	0	0	0	0	26,4710	0,0652	0,3218	0,0086	8873,8	0,000340
8	AL-BAR Auto	11:20	7	5,3	---	69,9799	0,4919	0	0	0	0	26,4716	0,0652	0,3218	0,0086	8874,0	0,000355
9	AL-BAR Auto	11:21	8	6,3	---	69,9782	0,4918	0	0	0	0	26,4726	0,0652	0,3217	0,0086	8873,9	0,000364
10	AL-BAR Auto	11:22	9	7,3	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0	26,4725	0,0652	0,3217	0,0086	8874,0	0,000358
11	AL-BAR Auto	11:23	10	8,3	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0	26,4735	0,0652	0,3217	0,0086	8874,0	0,000358
12	AL-BAR Auto	11:27	11	11,6	---	69,9798	0,4919	0	0	0	0	26,4735	0,0652	0,3217	0,0086	8874,0	0,000358

