



Manual de instalação e operação

Software Sonelastic® 3.0

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



ATCP Engenharia Física

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

Telefone: +55 (16) 3289-9481

www.atcp.com.br

Manual de Instalação e Operação

Software Sonelastic® 3.0

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

Fabricado por:

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

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.atcp.com.br

Copyright

Copyright © 2009-2014 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 3.1
Abril/2015

ÍNDICE

1. Introdução	5
2. Definições	5
3. Aplicação e características	5
4. Especificações	6
5. Requisitos para o computador	6
6. Instalação do Software e dos acessórios	7
6.1 Instalando o Software no computador pela primeira vez	7
6.2 Atualizando o Software (usuários que já possuem a licença)	18
6.3 Conectando o captador acústico	19
6.4 Instalando o Sistema Pulsador Sonelastic IED	22
6.5 Instalando o suporte de corpos de prova	22
7. Corpos de prova	23
7.1 Proporções recomendadas e dimensões típicas	23
7.2 Preparação do corpo de prova	24
8. Operação do Software	33
8.1 Módulo: Aquisição - fazendo a aquisição de uma medida	34
8.2 Módulo: Módulos Elásticos - obtenção das propriedades elásticas	49
8.3 Módulo: Amortecimento - obtenção do Amortecimento	54
8.4 Módulo: Amortecimento-TF - obtenção do Amortecimento tempo-frequência	58
8.5 Módulo: Resultados - processamento dos resultados	62
8.6 Módulo: Espectrograma - visualização do espectrograma do sinal	67
8.7 Modo de aquisição automático	68
8.8 Menu Arquivo	72
8.9 Menu Configurações	72
8.10 Menu Simulações	75
8.11 Menu idioma	77
8.12 Sair do Software	77
9. Advertências	77
10. Solução de problemas	78
11. Assistência técnica	79
12. Termo de garantia	79
13. Termo de responsabilidade	79
Apêndice A - Guia rápido de medição com o Sonelastic®	80
Apêndice B - Cálculo da incerteza pelo Software Sonelastic®	81
Apêndice C - Detalhamento sobre os cálculos do amortecimento	87

1. Introdução

Os equipamentos e produtos da empresa ATCP Engenharia Física 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 equipamento.



Leia atentamente este manual antes de utilizar o equipamento. A utilização imprópria pode ocasionar danos ao produto e comprometer seu desempenho.

2. Definições

Técnica de Excitação por Impulso: A Técnica de Excitação por Impulso (tradução do inglês *Impulse Excitation Technique*) é um ensaio não-destrutivo 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 pela norma ASTM E1876 e correlatas.

Frequência(s) de ressonância: Frequências naturais de vibração de um corpo de prova.

Módulo elástico: Módulo elástico é o coeficiente de proporcionalidade entre tensão e deformação mecânica no regime elástico, conforme descrito pela lei de Hooke.

Amortecimento: O amortecimento ou atrito interno é o fenômeno que descreve como se dá a dissipação da energia mecânica vibracional de um corpo. O amortecimento está diretamente ligado à presença de defeitos e às características microestruturais do material.

3. Aplicação e características

O Software Sonelastic® faz parte de uma linha de soluções desenvolvida para a caracterização não-destrutiva dos módulos elásticos e do amortecimento de materiais pela Técnica de Excitação por Impulso de acordo com a norma ASTM E1876 e correlatas.

O Software Sonelastic® consiste em 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 vibração e os respectivos amortecimentos mediante o processamento da resposta acústica do corpo a uma excitação mecânica por impulso (leve "pancada" no corpo de prova).

Para ser utilizado, o software deve ser instalado em um computador (desktop ou notebook) com sistema operacional Windows XP (ou superior) que possua placa de som com entrada de áudio.

4. Especificações

Faixa de análise de frequência	De 20 Hz a 96 kHz
Faixa de medição dos módulos elásticos	De 0,5 a 1000 GPa

5. Requisitos para o computador

Sistemas operacionais compatíveis	Windows XP, 7, 8 e 8.1
Taxa de amostragem da placa de som ¹	192 kHz
Resolução de tela ²	1280 x 1024; 1366 x 768; 1920 x 1080
Espaço livre no HD	4 Gigabytes
Portas USB disponíveis	01 porta
Entradas de áudio disponíveis	01 entrada P3 / 3,5 mm

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.
- Para medições em função do tempo ou temperatura, é aconselhável a instalação em um notebook ou PC com nobreak para evitar perdas no caso de queda de energia.
- O Software Sonelastic® deverá ser utilizado ao abrigo de ruídos excessivos, que podem comprometer a análise da resposta acústica.

Para utilizar as funcionalidades de exportar e processar dados para medições seriadas é imprescindível a instalação do Microsoft Excel 2007 ou superior, pois estas funcionalidades estão baseadas na utilização de planilhas deste software para realizar suas operações.

¹ O Software Sonelastic® realiza a digitalização da resposta acústica através da placa de áudio do computador em que está instalado.

² O Software Sonelastic® possui ajuste automático de sua interface para as resoluções descritas. Caso esteja trabalhando com uma resolução diferente, o Software fará um ajuste para a máxima resolução possível.

6. Instalação do Software e dos acessórios

6.1 Instalando o Software no computador pela primeira vez

As Soluções Sonelastic® são usualmente fornecidas com um computador tipo desktop marca DELL com o Software Sonelastic® já instalado e configurado. 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®.

6.1.1 Instalação passo a passo no Windows XP

Para que a instalação no Windows XP seja bem sucedida, verifique se o seu sistema operacional está atualizado. Visite o site [HTTP://update.microsoft.com](http://update.microsoft.com), siga as instruções para fazer o download e instalar as devidas atualizações.

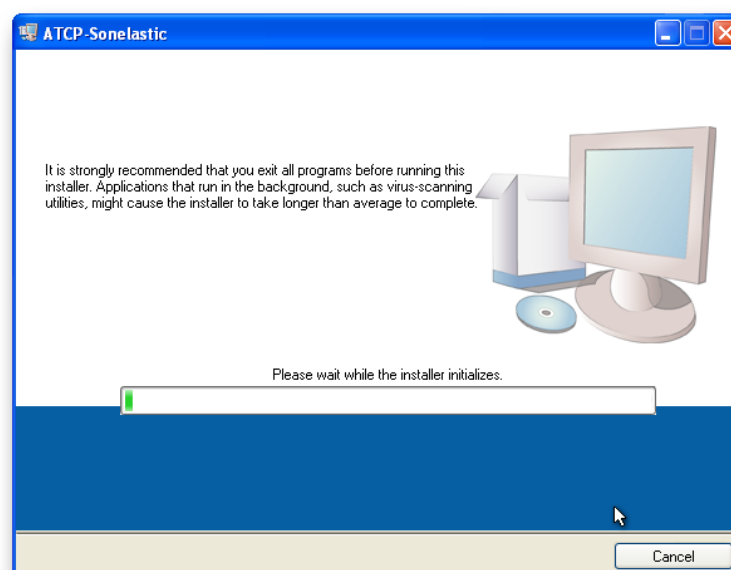
É importante realizar a instalação do Software Sonelastic® utilizando uma conta com direitos administrativos. O Software Sonelastic® realiza modificações no registro do Windows e outras operações que requerem esse nível de privilégio para serem bem sucedidas.

Passo 01 – Utilize o DVD de instalação ou solicite o link para download do instalador por e-mail (ha@atcp.com.br).

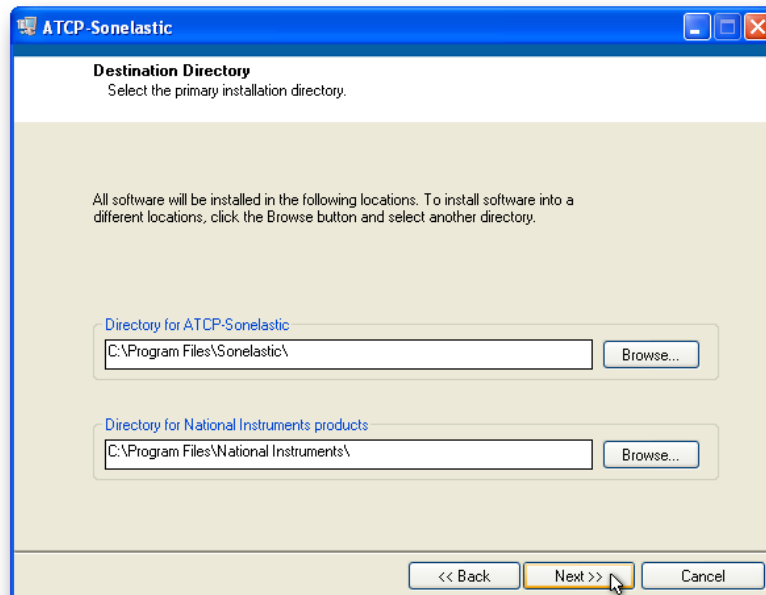
Passo 02 – Na pasta “*Instalador Sonelastic 3.0*”, execute o arquivo “*setup.exe*”.

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

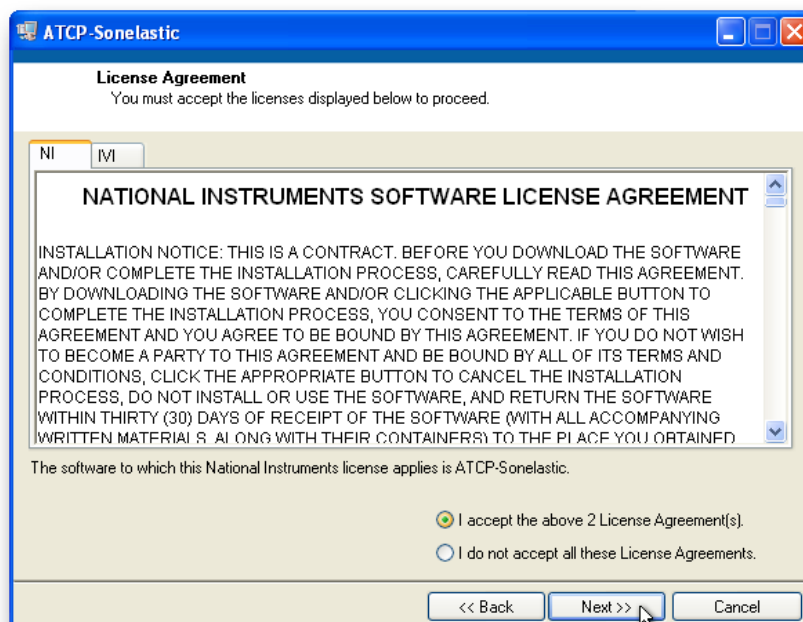
Passo 03 – Aguarde a evolução da tela apresentada.



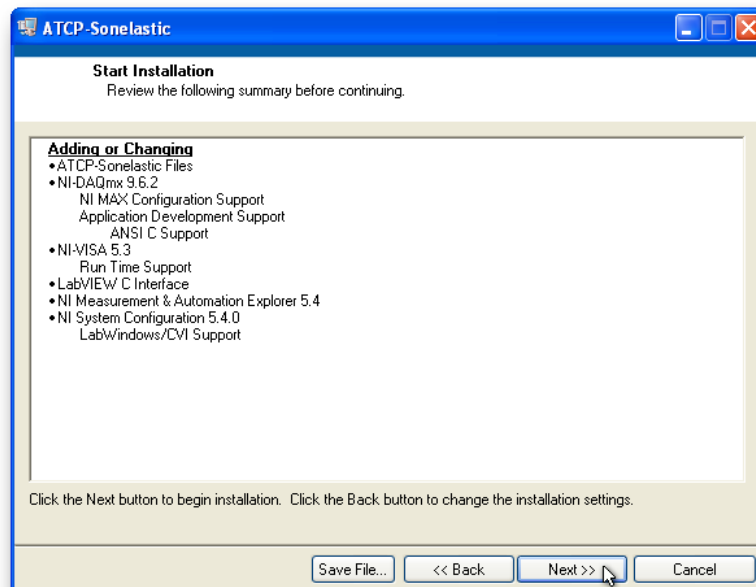
Passo 04 – Selecione o diretório de destino dos arquivos referentes à instalação. Recomendase não alterar estes diretórios, para isso clique no botão “Next”.



Passo 05 – Leia os acordos de licença da National Instruments, relativos aos *plug-ins* utilizados pelo Software Sonelastic®. Aceite os termos clicando na opção “I accept the above 2 License Agreement(s)” e clique no botão “Next”.

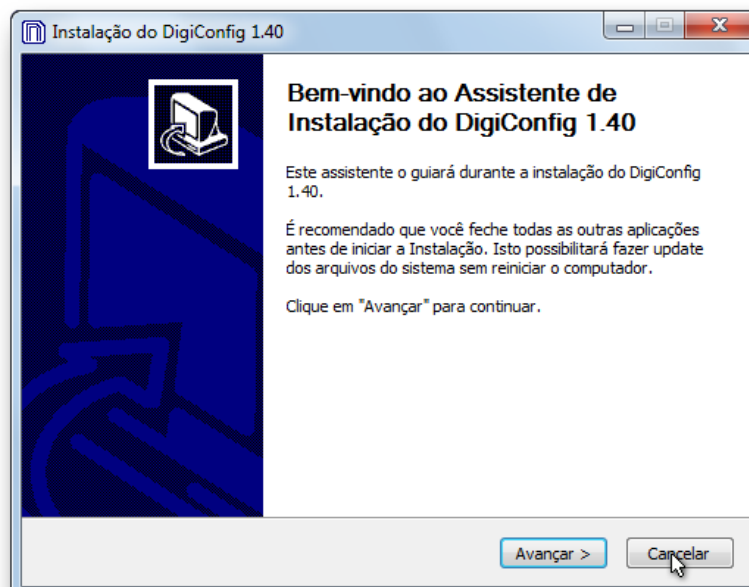


Passo 06 – Clique no botão “Next” para iniciar a instalação.

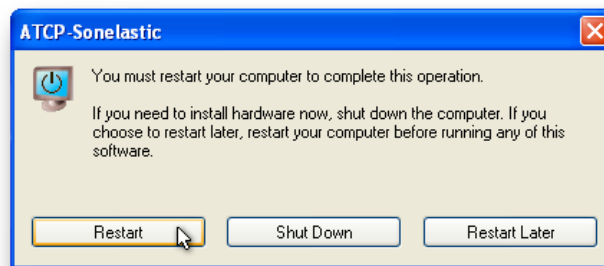


Passo 07 – Finalize o processo de instalação do Software Sonelastic®.

Passo 08 – É iniciada automaticamente a instalação do Software DigiConfig. Este software adicional é necessário caso haja um forno instrumentado associado ao equipamento fornecido. Se o forno não faz parte dos acessórios adquiridos, cancele a instalação do DigiConfig.



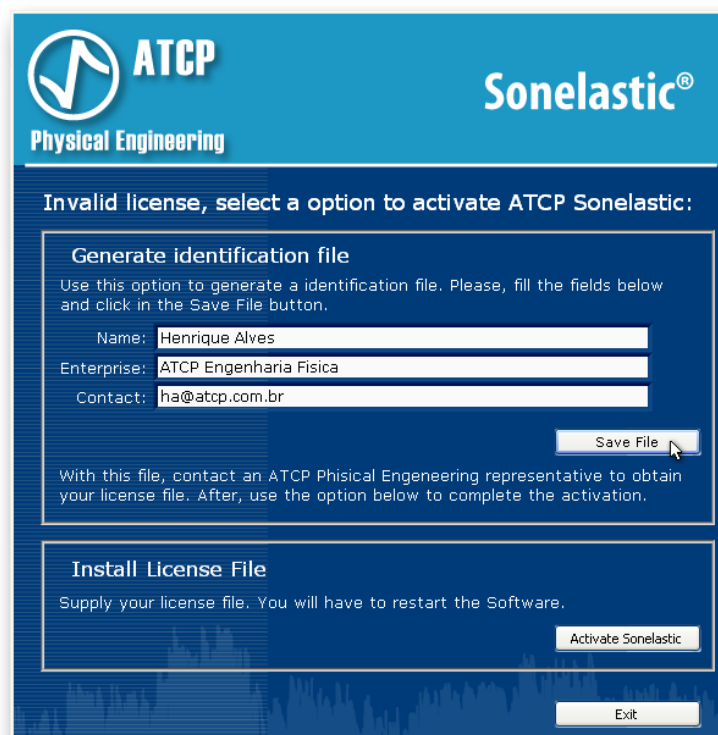
Passo 09 - Reinicie o computador para completar a instalação.



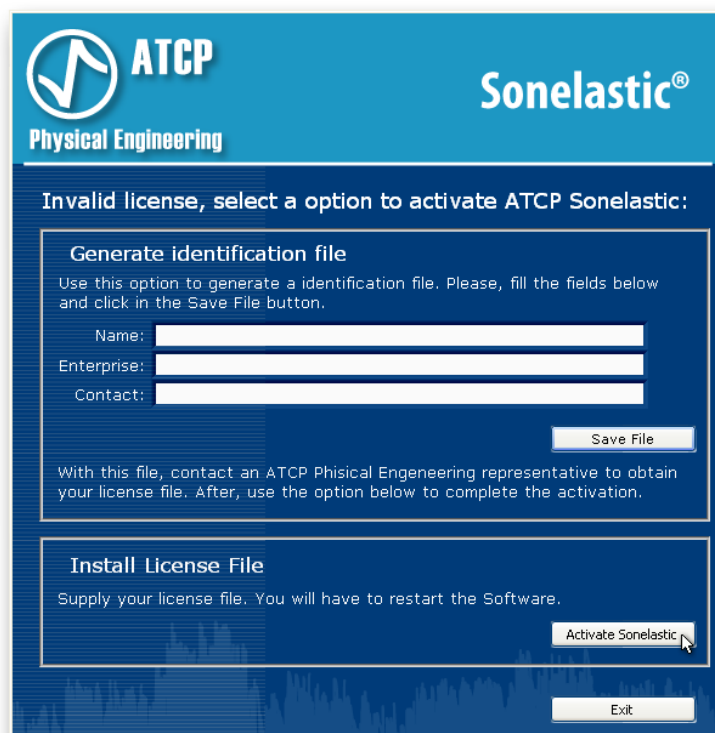
Passo 10 – Antes de operar o software, será necessário realizar sua ativação.

Para isso, abra o Software Sonelastic® e complete os campos "Name" (Nome), "Enterprise" (Empresa) e "Contact" (Endereço eletrônico). Uma vez concluído, clique no botão "Save File" para criar um arquivo com extensão XML. Este arquivo deve ser enviado por e-mail à ATCP Engenharia Física para que seja criado o arquivo de licença (ha@atcp.com.br).

Obs: As licenças serão somente válidas para o computador onde foi gerado o arquivo XML de identificação.



Passo 11 – Após o recebimento do arquivo de licença, execute novamente o Software Sonelastic® e carregue o arquivo de licença 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.



ATCP **Sonelastic®**
Physical Engineering

Invalid license, select a option to activate ATCP Sonelastic:

Generate identification file
Use this option to generate a identification file. Please, fill the fields below and click in the Save File button.

Name:
Enterprise:
Contact:

With this file, contact an ATCP Physical Engineering representative to obtain your license file. After, use the option below to complete the activation.

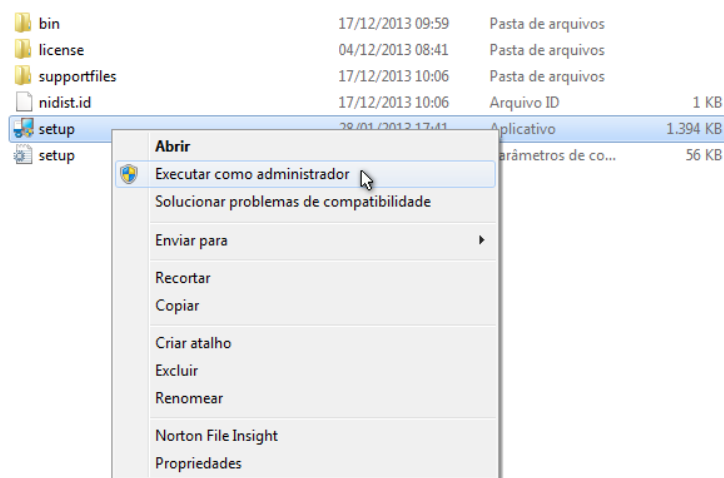
Install License File
Supply your license file. You will have to restart the Software.

6.1.2 Instalação passo a passo no Windows Vista, Windows 7 e Windows 8

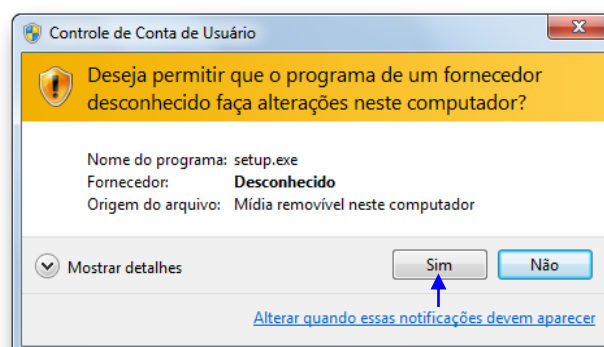
Passo 01 – Utilize o DVD de instalação ou solicite o link de download do instalador por e-mail (ha@atcp.com.br).

Passo 02 – Na pasta “*Instalador Sonelastic 3.0*”, clique com o botão direito do mouse no arquivo “*setup.exe*” e selecione a opção “*Executar como administrador*”.

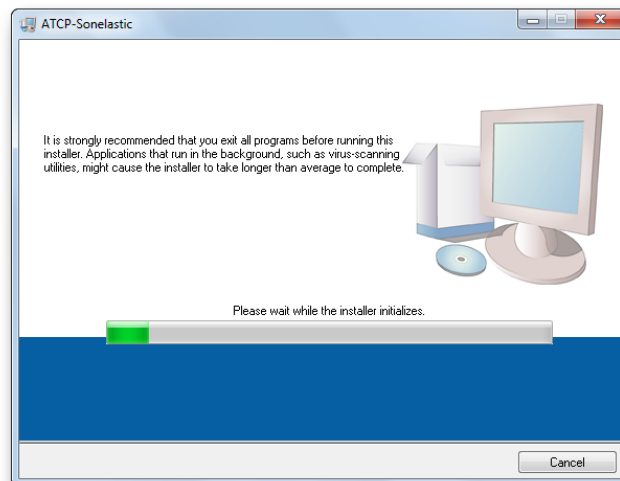
Recomenda-se fechar todos os programas que estejam sendo executados antes de iniciar o processo de instalação.



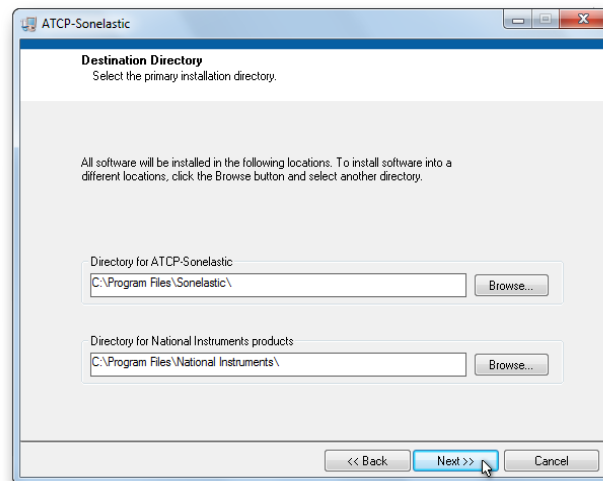
Passo 03 – Clique em “Sim” na janela de diálogo do “Controle de Conta de Usuário”.



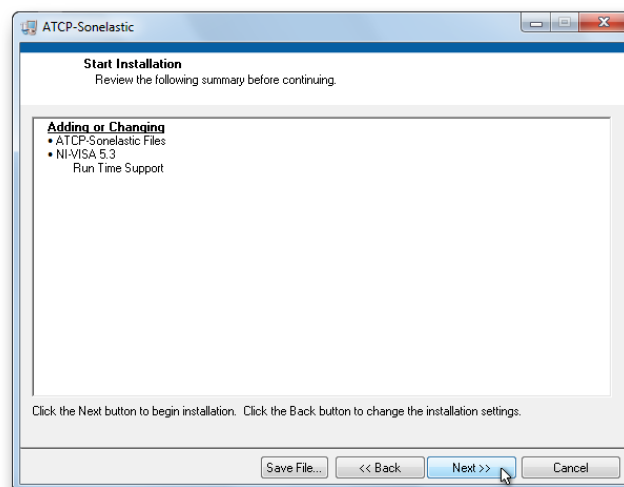
Passo 04 – Aguarde a evolução da tela apresentada a seguir.

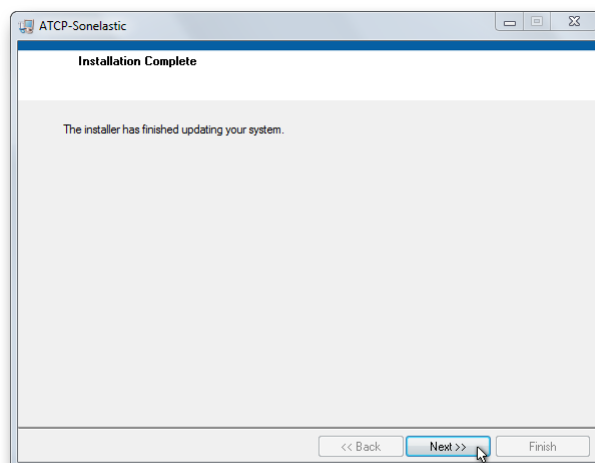


Passo 05 – Selecione o diretório de destino dos arquivos referentes à instalação. Recomenda-se não alterar estes diretórios, para isso clique no botão “Next”.

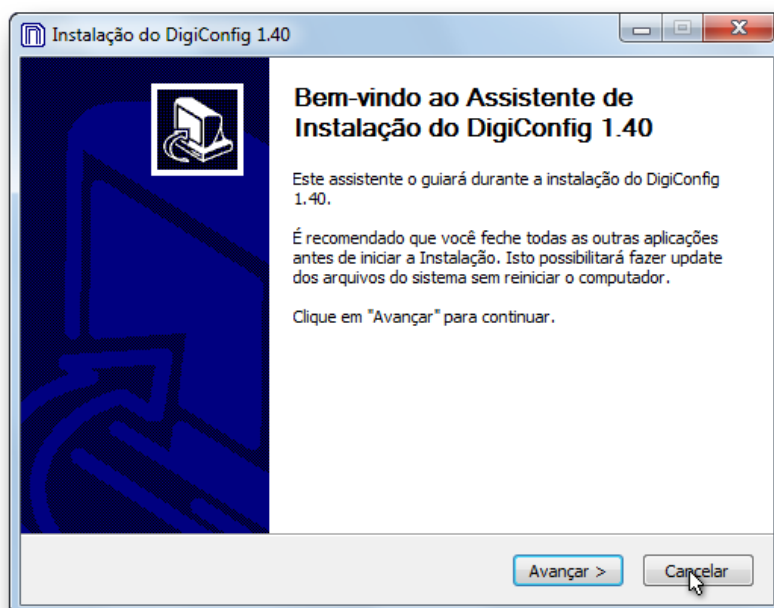


Passo 06 – Clique no botão “Next” para iniciar a instalação.

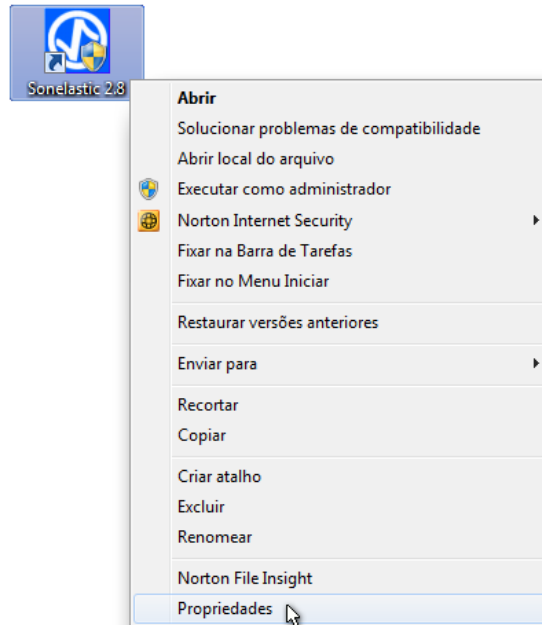




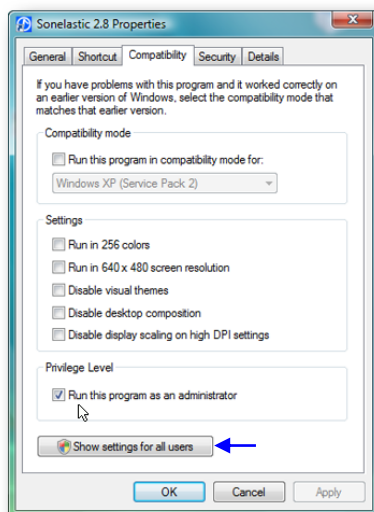
Passo 07 – É iniciada automaticamente a instalação do Software DigiConfig. Este software adicional é necessário caso haja um forno instrumentado associado ao equipamento fornecido. Se o forno não faz parte dos acessórios adquiridos, cancele a instalação do DigiConfig.



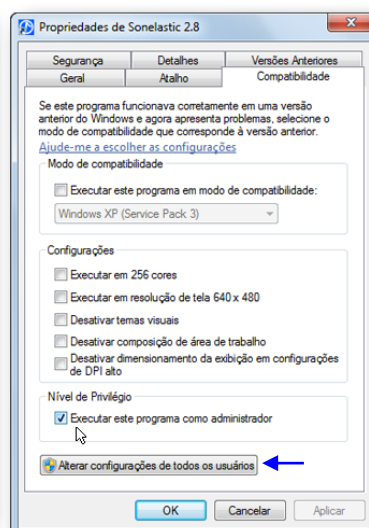
Passo 08 – Atribua direitos administrativos ao Software Sonelastic®. Para isso, clique com o botão direito do mouse no ícone Sonelastic® que está na área de trabalho e selecione a opção "Propriedades".



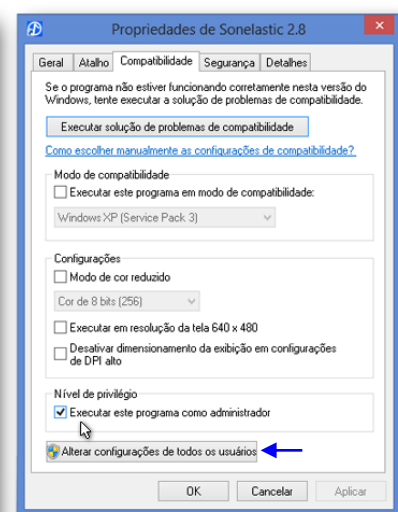
Passo 09 – Selecione a aba “Compatibilidade” e ative a opção “Executar este programa como administrador”. Em caso de um sistema operacional com mais de um usuário, clique no botão “Alterar configurações de todos os usuários” e selecione a opção “Executar este programa como administrador” na nova janela. Clique em “OK” para aceitar as alterações feitas.



Windows Vista



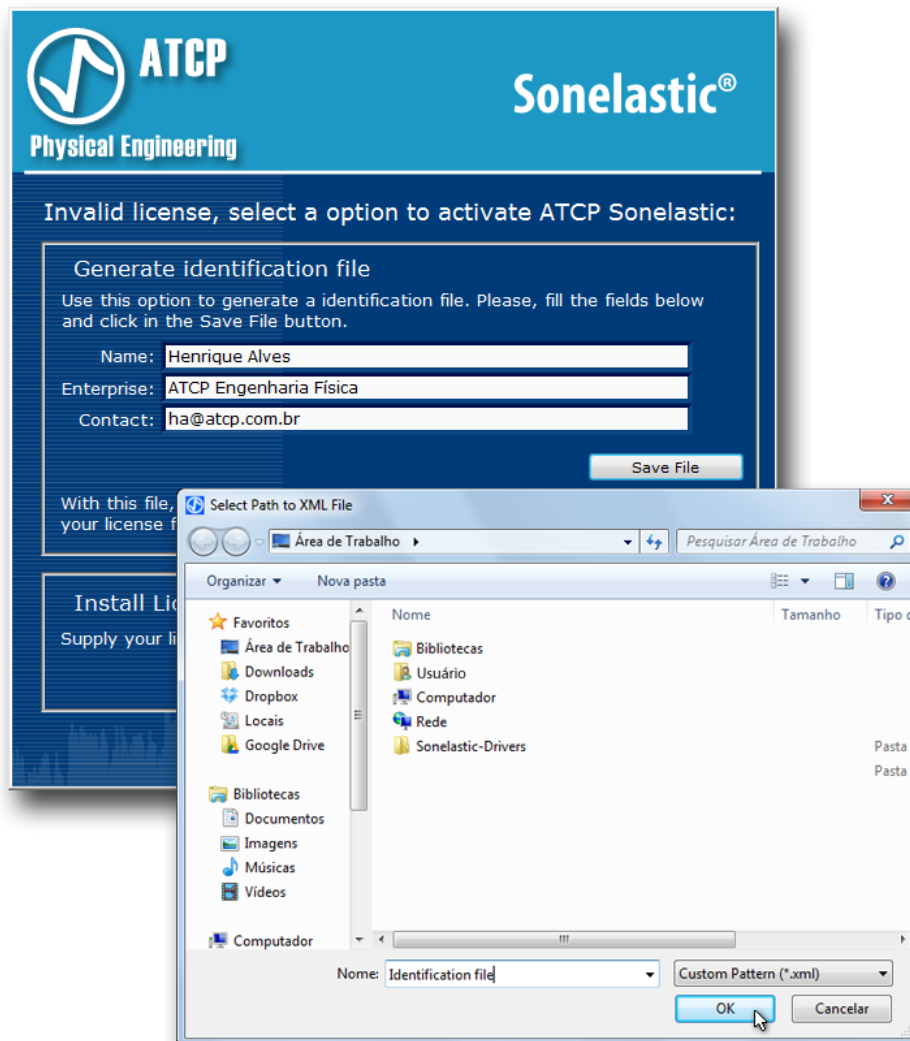
Windows 7



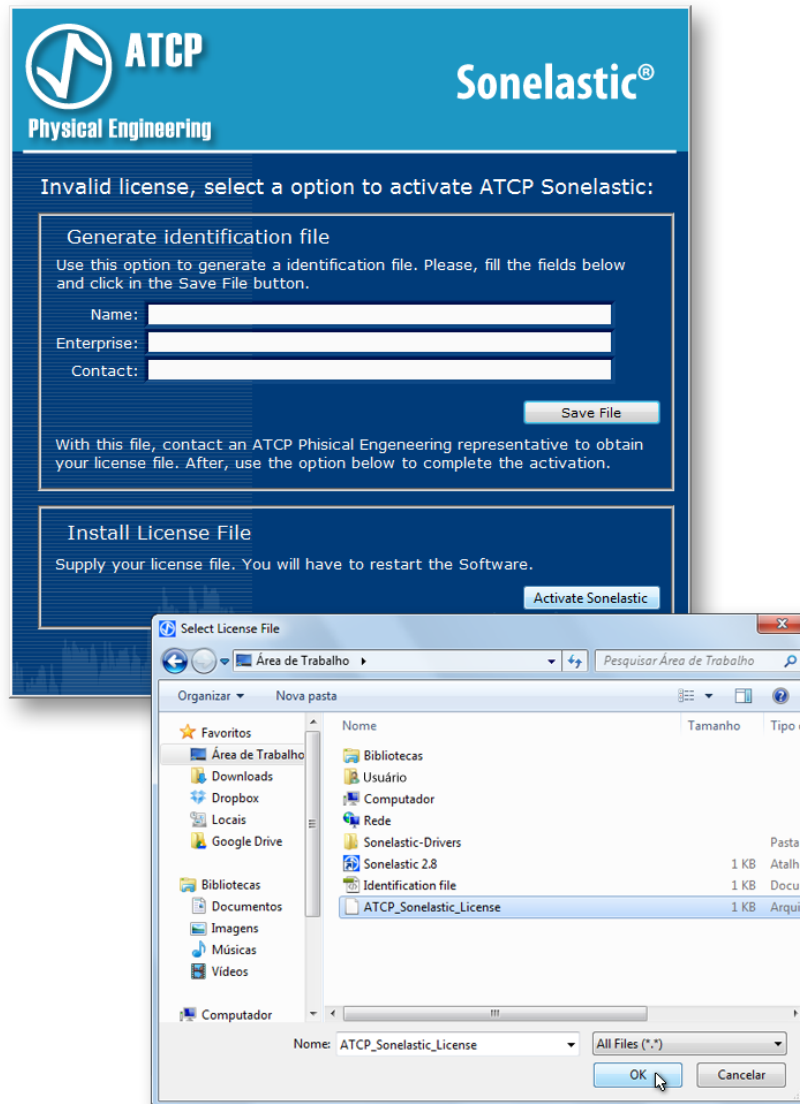
Windows 8

Passo 10 – Antes de operar o software, será necessário realizar sua ativação. Para isso, abra o Software Sonelastic® e complete os campos “Name” (Nome), “Enterprise” (Empresa) e “Contact” (Endereço eletrônico). Uma vez concluído, clique no botão “Save File” para criar um arquivo com extensão XML. Este arquivo deve ser enviado por e-mail à ATCP Engenharia Física para que seja criado o arquivo de licença (ha@atcp.com.br).

Obs: As licenças serão somente válidas para o computador onde foi gerado o arquivo XML de identificação.



Passo 11 – Após o recebimento do arquivo, execute novamente o Software Sonelastic® e carregue o arquivo de licença 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.



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

Passo 01 – Desinstale a versão antiga do Software Sonelastic®, seguindo os passos descritos abaixo:

Windows XP

Abra o “Painel de Controle” e selecione a opção “Adicionar ou remover programas”. Na lista de programas instalados, selecione “ATCP-Sonelastic” e clique no botão “Remover”. Siga com a desinstalação do software.

Windows 7, 8 e 8.1

Abra o “Painel de Controle” e clique no link “Desinstalar um programa” presente na categoria “Programas”. Na lista de Programas e Recursos do sistema, localize o item “ATCP-Sonelastic”. Clique com o botão direito do mouse sobre o ícone e selecione a opção “Desinstalar”. Siga com a desinstalação do software.

Passo 02 – 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

Passo 01 – Conecte o Captador Acústico CA-PD ou equivalente na entrada de áudio do computador. Use sempre o Captador fornecido pela ATCP Engenharia Física.



Figura 1. Conector do Captador Acústico.



Figura 2. Exemplos de entrada de áudio em um Desktop e em um Notebook.

Passo 02 – Configure as opções de áudio.

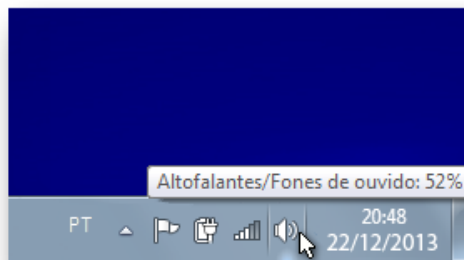
Para que o sinal sonoro processado pelo software não sofra distorções, é necessário que tanto o sistema operacional quanto o software de gerenciamento de áudio não apliquem melhorias ou filtragens no sinal. Para isso, siga as instruções a seguir de acordo com o sistema operacional utilizado.

Windows XP

O Windows XP não faz melhorias no áudio capturado. Apesar disso, muitas placas de áudio vêm com um software gerenciador que é encarregado de aplicar estas alterações. Verifique as configurações deste software para se certificar de que não são aplicadas melhorias no sinal capturado.

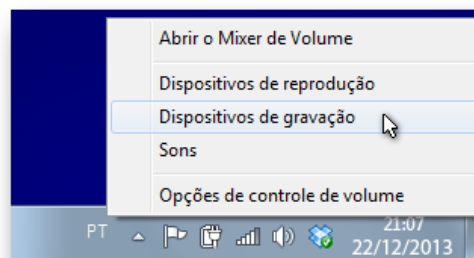
Windows Vista, Windows 7 e Windows 8

Passo 1 - Na Área de notificações, localize e clique com o botão direito do mouse no ícone referente aos Alto-falantes/Fones de ouvido.

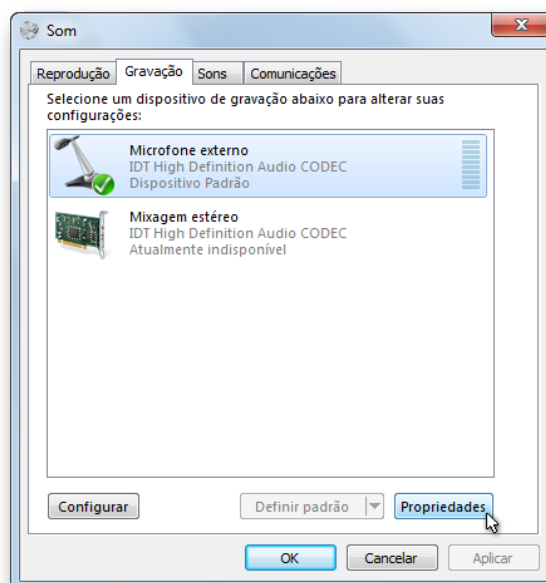


Nota: Se este ícone não aparece na Área de notificações do Windows, é possível abrir as opções de configuração de som pelo Painel de controle. Neste caso, clique na categoria "Hardware e Sons" e, posteriormente, no ícone "Som", identificado pela imagem de um alto-falante.

Passo 2 - No menu de contexto, selecione a opção "Dispositivos de gravação".



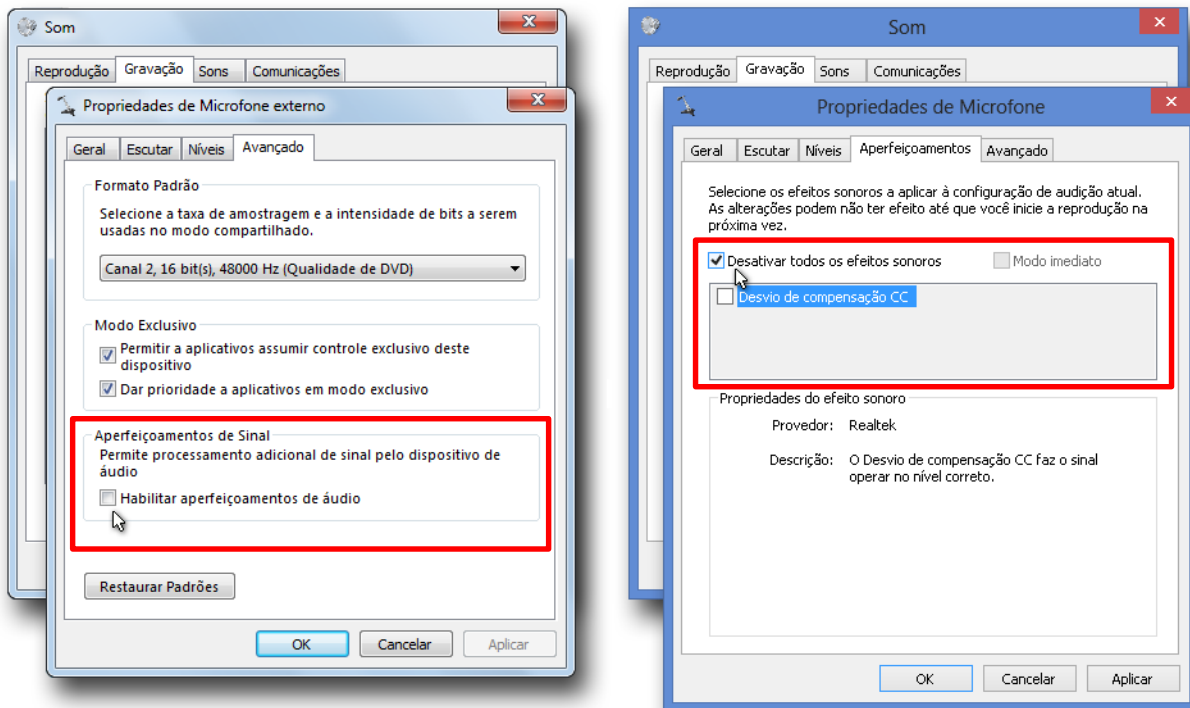
Passo 3 - Na janela "Som", aba "Gravação", selecione o Microfone que possui o símbolo  no canto inferior direito. Posteriormente, clique no botão "Propriedades", como descrito na figura a seguir.



Passo 4 - 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 descrito 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”.



6.4 Instalando o Sistema Pulsador Sonelastic IED

As informações referentes à instalação e operação do Sistema Pulsador Sonelastic IED encontram-se detalhadas no [Manual de Instalação e Operação](#) que acompanha o respectivo produto.



Atenção! Para que a caracterização seja feita de forma segura e satisfatória, é recomendável a utilização dos produtos desenvolvidos pela ATCP Engenharia Física correspondente às linhas de soluções Sonelastic®.

6.5 Instalando o suporte de corpos de prova

As informações referentes à instalação e operação dos suportes fabricados pela ATCP Engenharia Física para utilização em conjunto 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](#), [SA-AG](#)).

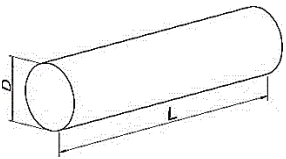
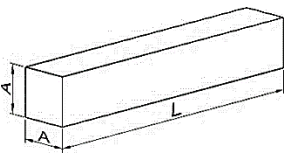
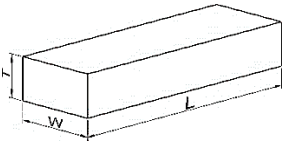
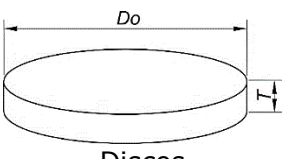
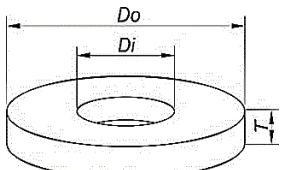


Atenção! A escolha correta do suporte para a caracterização depende exclusivamente das características físicas e dimensionais do corpo de prova. Para maiores informações sobre as características de cada modelo disponível, visite o site www.atcp.com.br ou entre em contato conosco (ha@atcp.com.br).

7. Corpos de prova

7.1 Proporções recomendadas e dimensões típicas

Há proporções mínimas que devem ser observadas para que não ocorra o acoplamento entre os modos de vibração. As dimensões determinam o padrão do espectro de frequência da resposta acústica. A tabela abaixo apresenta as proporções recomendadas e as dimensões típicas para cilindros, barras, discos e anéis.

Geometria	Proporções recomendadas	Dimensões típicas
 Cilindro	$\frac{L}{D} \geq 2$ A razão entre o comprimento (L) e o diâmetro (D) deve ser maior ou igual a 2.	(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	$\frac{L}{A} \geq 3$ A razão entre o comprimento (L) e a aresta (A) deve ser maior ou igual a 3.	(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 40 x 40 mm - 500 x 50 x 50 mm
 Barra de secção retangular	$\frac{L}{W} \geq 4$ A razão entre o comprimento (L) e a largura (W) deve ser maior ou igual a 4. $\frac{W}{T} \leq 8$ A razão entre a largura (W) e a espessura (T) deve ser menor ou igual a 8.	(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
 Discos	$\frac{D_o}{T} \geq 10$ A razão entre o diâmetro (D_o) e a espessura (T) deve ser maior ou igual a 10.	(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	$\frac{D_o}{T} \geq 10$ A razão entre o diâmetro (D_o) e a espessura (T) deve ser maior ou igual a 10. $\frac{D_o}{D_i} \geq 2$ A razão entre o diâmetro externo (D_o) e o diâmetro interno (D_i) deve ser maior ou igual a 2.	

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

- A tolerância dimensional recomendável para as dimensões é de 2%;
- As faces devem ser plano-paralelas;
- Os cantos não devem ser arredondados.

7.2 Posicionamento e dimensões do corpo de prova

Juntamente com o Software Sonelastic®, a ATCP Engenharia Física fornece diversos tipos de suporte de amostras. A seguir estão descritas as principais informações sobre como se dá a utilização de cada tipo de suporte, bem como suas especificações com relação às dimensões máximas e mínimas permitidas.

7.2.1 Posicionamento do corpo de prova

- Suporte de amostras modelo SB-AP

Dimensões máximas para corpos de prova cilíndricos (L x D) 120 x 60 mm

Dimensões mínimas para corpos de prova cilíndricos (L x D) 20 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) 20 x 2 x 2 mm

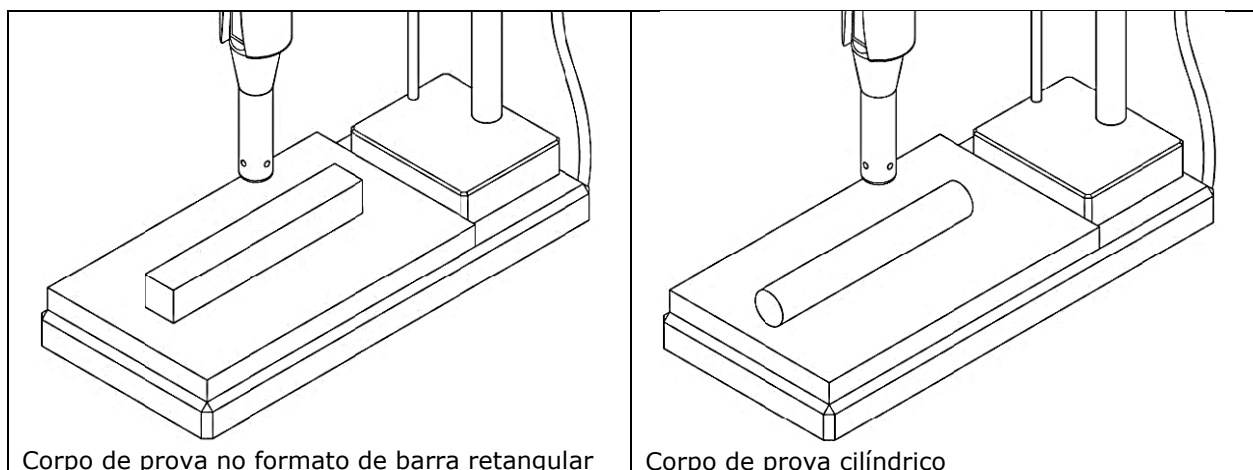
Dimensões máximas para os corpos de prova engastados (L x W x T) 200 x 25 x 5 mm

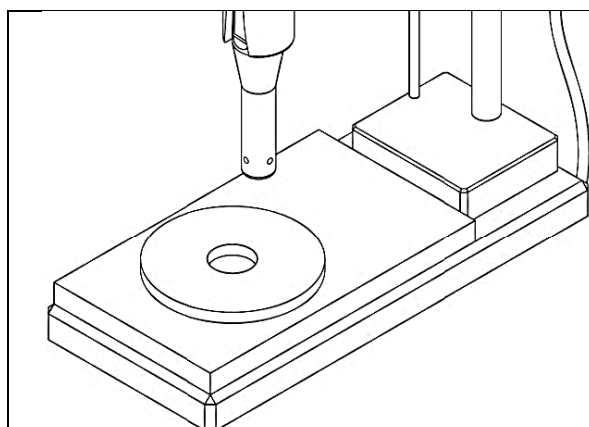
Dimensões mínimas para os corpos de prova engastados (L x W x T) 120 x 10 x 0,5 mm

Dimensões máximas para discos e anéis (D x T) 80 x 8 mm

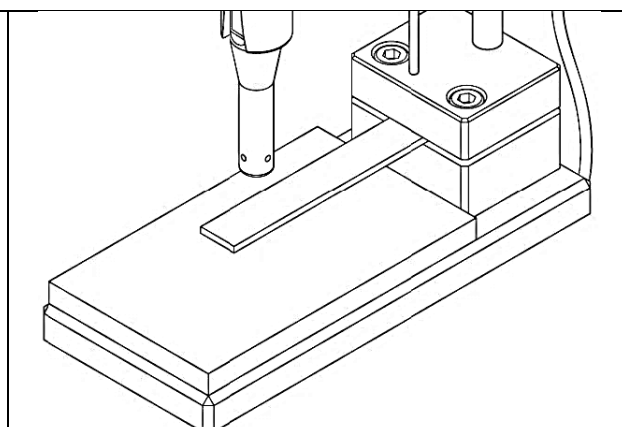
Dimensões mínimas para discos e anéis (D x T) 15 x 1 mm

O suporte de amostras modelo SB-AP não exige locais específicos de apoio do corpo de prova. Dessa forma, a amostra deve ser apoiada sobre o bloco de espuma e posicionada de acordo com o modo de vibração desejado. Para realizar o posicionamento dos demais acessórios, veja o item **7.2.2 Modos de excitação e captação**.





Corpo de prova no formato de anel



Corpo de prova no formato de régua (engaste)

Para maiores informações com relação ao suporte, acesse o **Manual de Instalação e Operação do Suporte para amostras de pequeno porte – modelo SB-AP**.

- Suporte de amostras modelo SA-BC

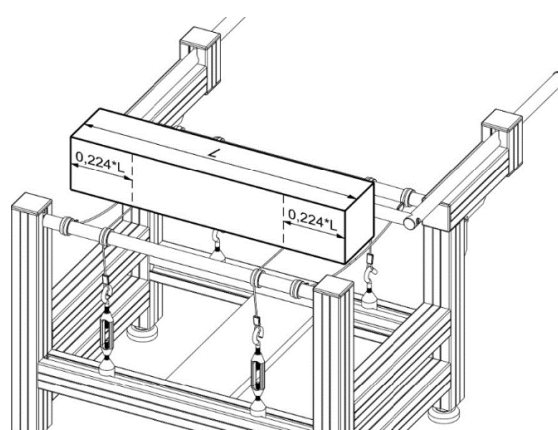
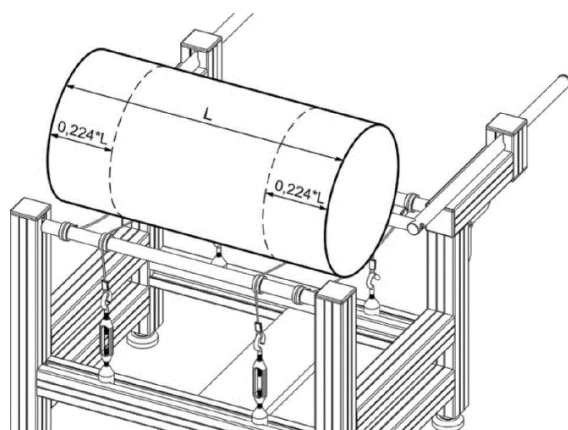
Dimensões máximas para corpos de prova cilíndricos (L x D) 550 x 200 mm

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) 550 x 170 x 170 mm

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

O corpo de prova deve ser apoiado pelos cabos do suporte a uma distância de $0,224L$ de suas extremidades, sendo L o comprimento da amostra. O cálculo da distância de apoio é realizado automaticamente e informado pelo Software Sonelastic®. Para realizar o posicionamento dos demais acessórios, veja o item **7.2.2 Modos de excitação e captação**.



Para maiores informações com relação ao suporte, acesse o **Manual de Instalação e Operação do Suporte ajustável para barras e cilindros – modelo SA-BC**.

- Suporte de amostras modelo SX-PD

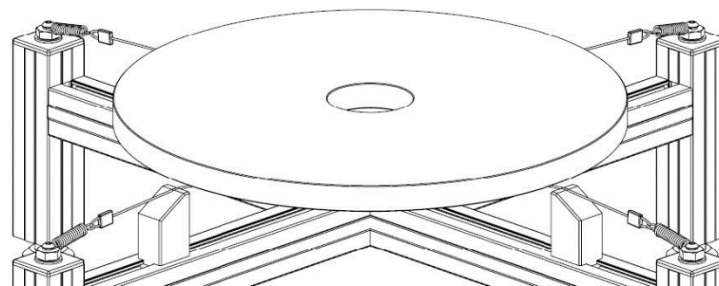
Dimensões máximas para corpos de prova circulares (D x T) 380 x 60 mm

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

O corpo de prova deve ser posicionado de forma a alinhar o seu respectivo centro com o centro do suporte, conforme mostrado na figura a seguir. Para realizar o posicionamento dos demais acessórios, veja o item **7.2.2 Modos de excitação e captação**.



Para maiores informações com relação ao suporte, acesse o **Manual de Instalação e Operação do Suporte ajustável para discos e anéis – modelo SX-PD**.

- Suporte de amostras modelo SA-AG

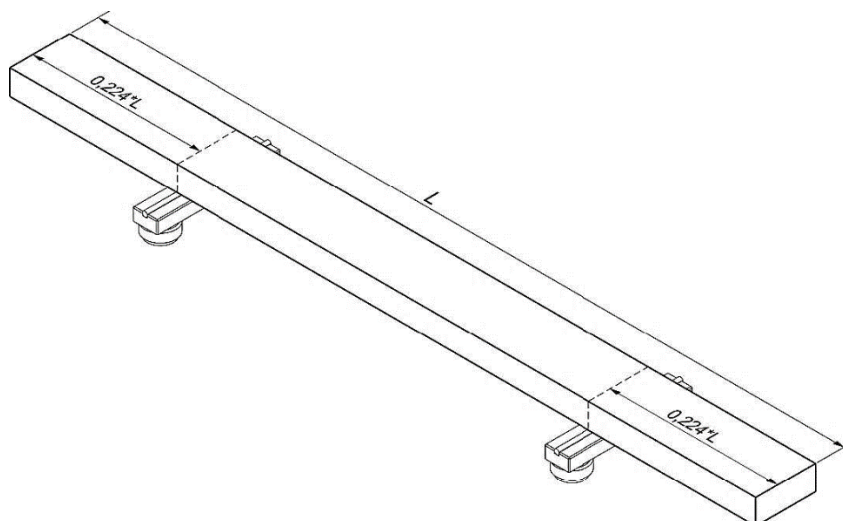
Dimensões máx. para corpos de prova retangulares (L x W x T) 5.300 x 200 x 200mm

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

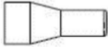
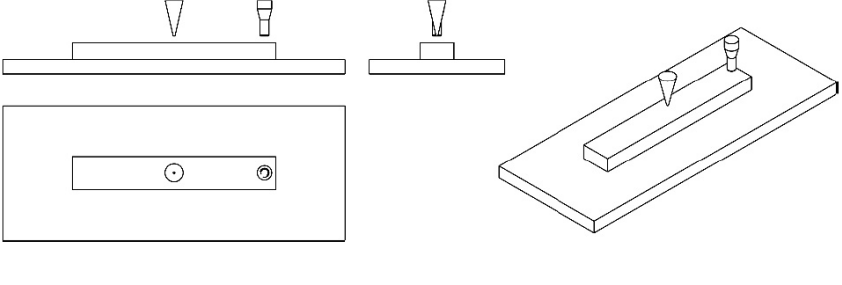
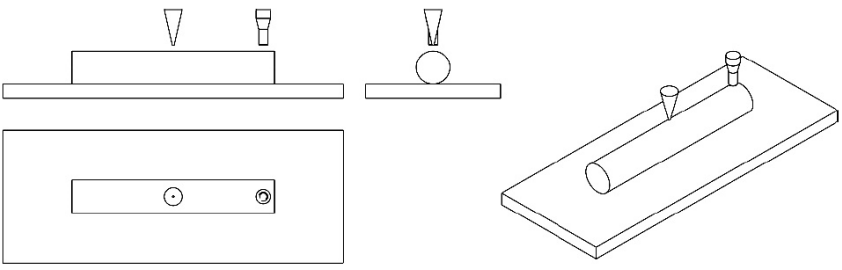
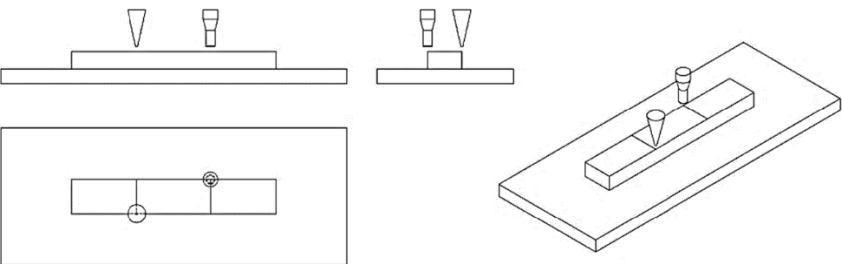
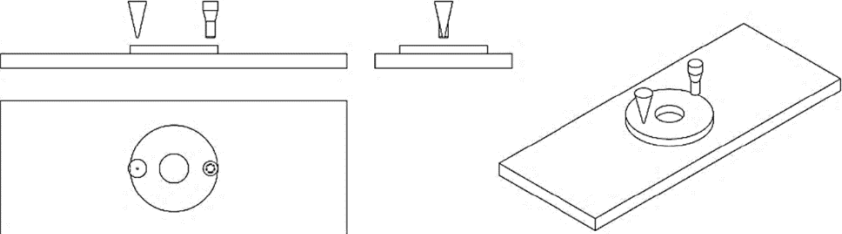
O corpo de prova é apoiado de forma simétrica a uma distância $0,224L$ de suas extremidades, sendo L o comprimento da amostra. O cálculo da distância de apoio é realizado automaticamente e informado pelo Software Sonelastic®. Para realizar o posicionamento dos demais acessórios, veja o item **7.2.2 Modos de excitação e captação**.



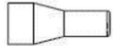
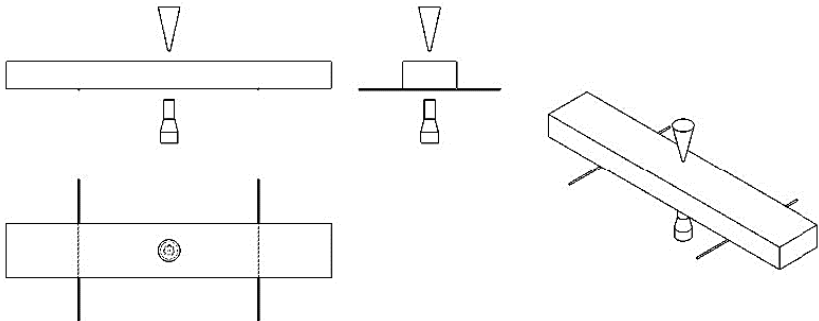
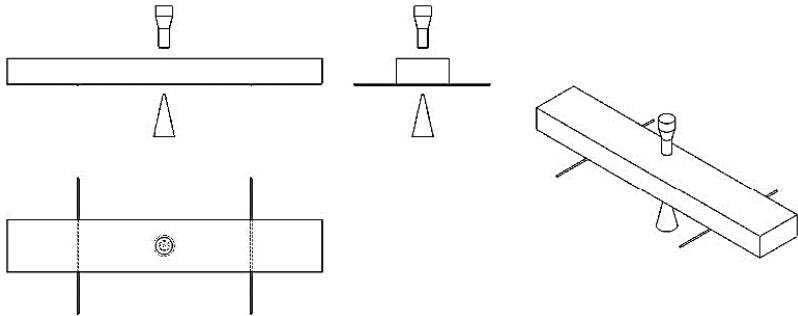
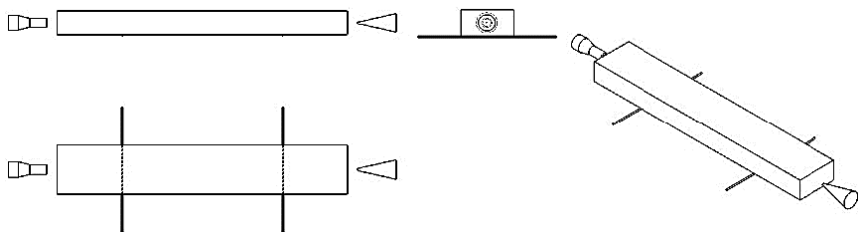
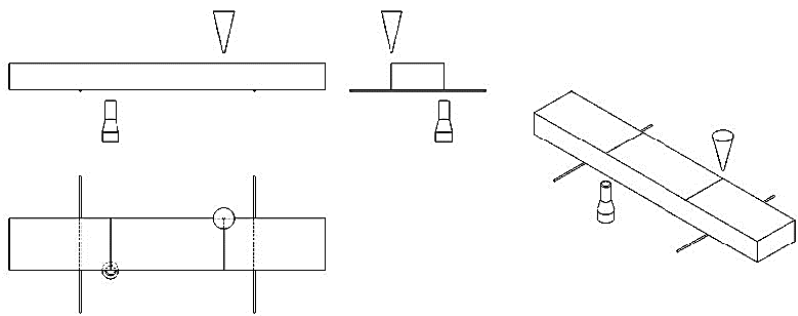
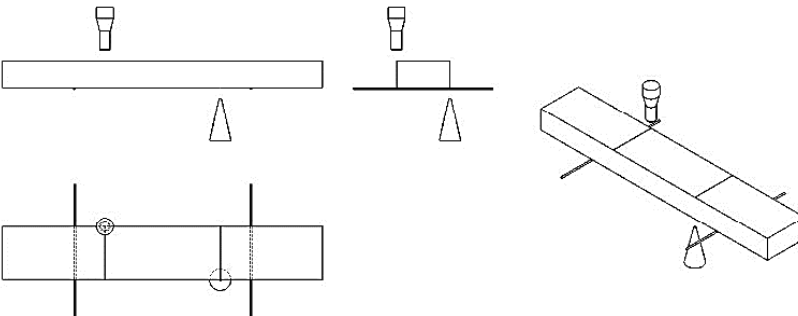
Para maiores informações com relação ao suporte, acesse o **Manual de Instalação e Operação do Suporte ajustável para corpos de prova de grande porte – modelo SA-AG**.

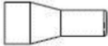
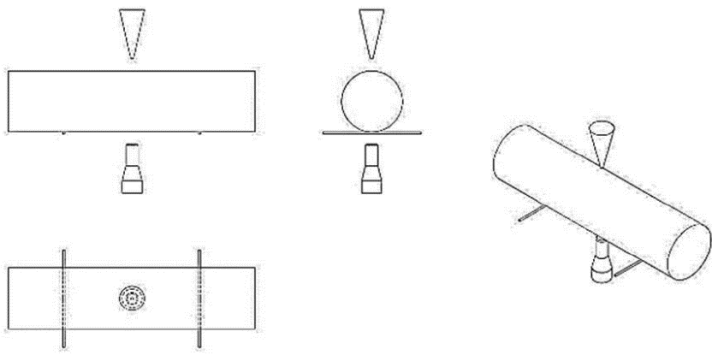
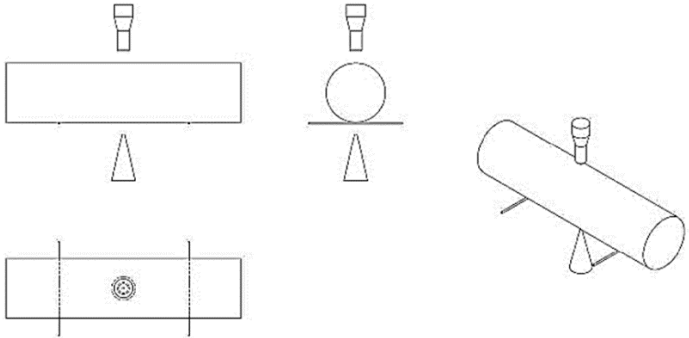
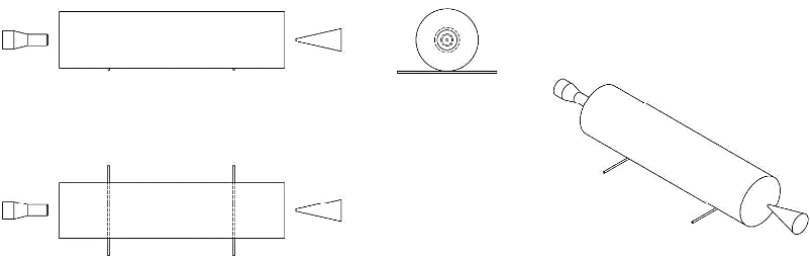
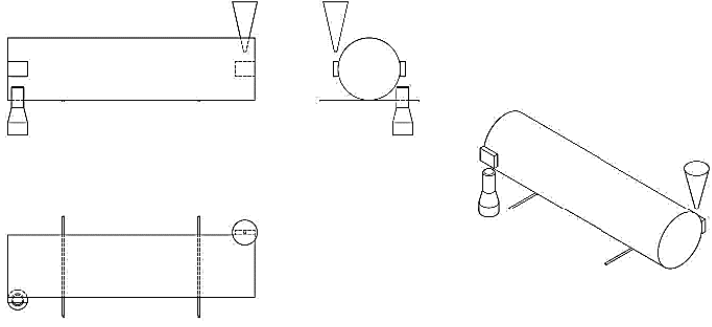
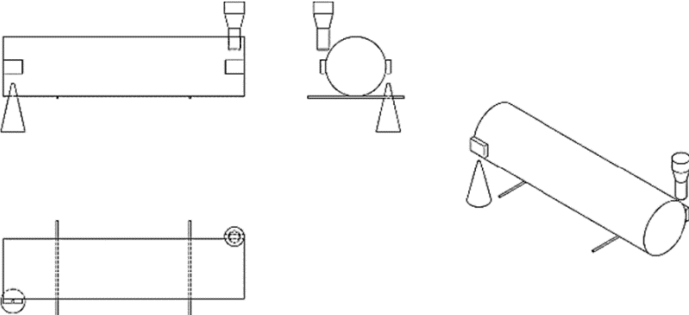
7.2.2 Modos de excitação e captação

- Suporte de amostras modelo SB-AP

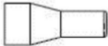
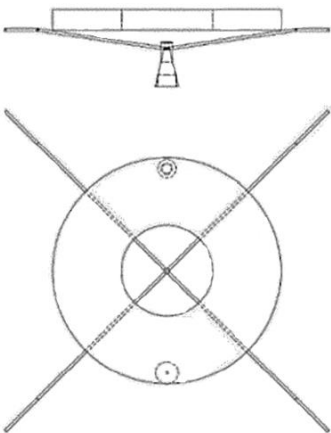
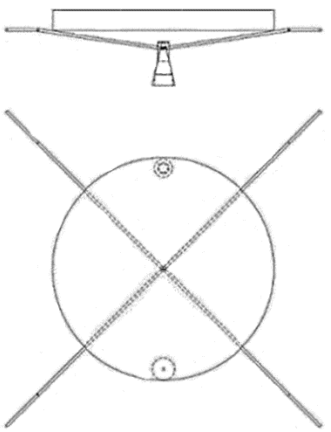
Excitação: 	Captação: 
Modo flexional <i>Excitação no centro c/ captação na extremidade, ambas centralizadas com relação à largura. Permite a caracterização do módulo de Young (E).</i>	 
Modo flexional + torcional <i>Excitação e captação em laterais opostas na posição 0,32L (L = comprimento). Permite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

- Suporte de amostras modelo SA-BC

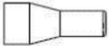
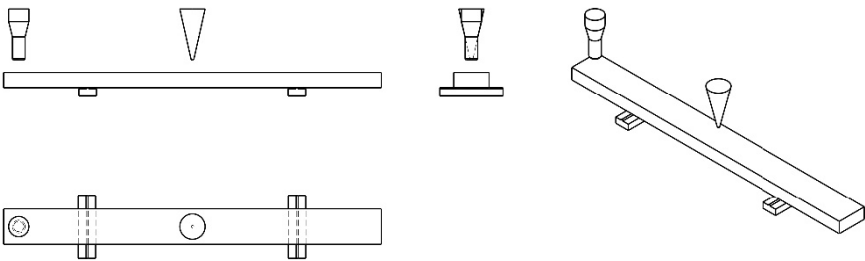
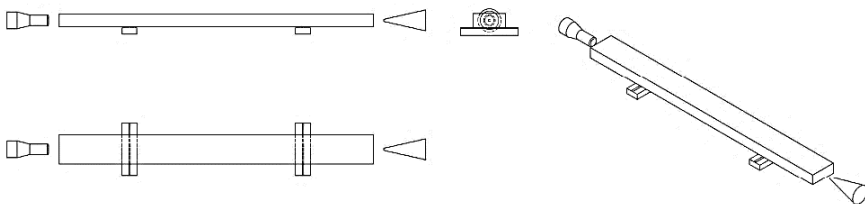
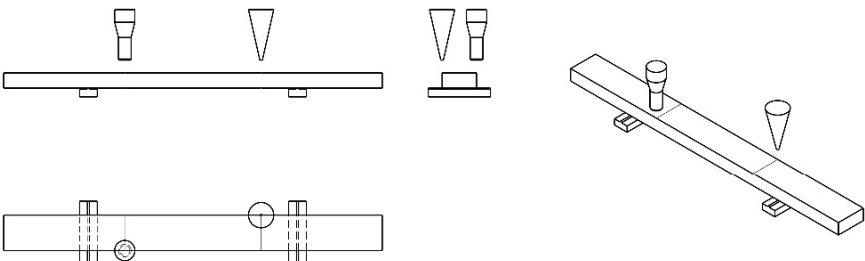
Excitação:  Captação: 	
Modo flexional - I <i>Excitação por cima c/ captação por baixo, ambas no centro do corpo de prova.</i> Cabos na posição 0,224L.	
Modo flexional - II <i>Excitação por baixo c/ captação por cima, ambas no centro do corpo de prova.</i> Cabos na posição 0,224L.	
Modo longitudinal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

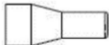
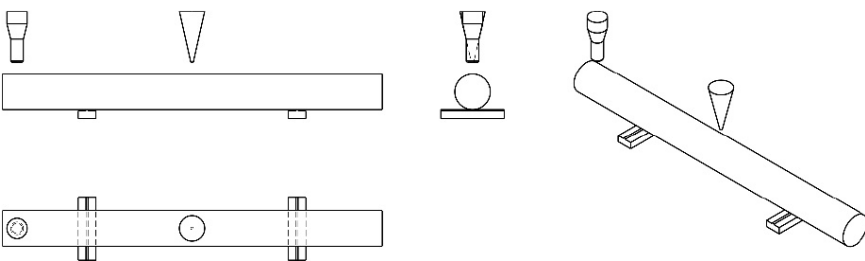
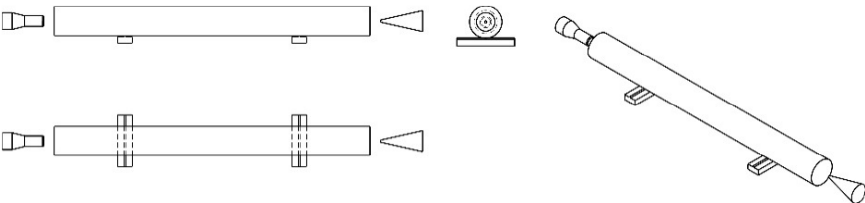
Excitação: 	Captação: 
Modo flexional - I <i>Excitação por cima c/ captação por baixo, ambas no centro do corpo de prova.</i> <i>Cabos na posição 0,224L.</i>	
Modo flexional - II <i>Excitação por baixo c/ captação por cima, ambas no centro do corpo de prova.</i> <i>Cabos na posição 0,224L.</i>	
Modo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

- Suporte de amostras modelo SX-PD

Excitação:  Captação: 	
Modo planar - Anel <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>	
Modo planar - Disco <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>	

- Suporte de amostras modelo SA-AG

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

Excitação:  Captação: 	
Modo flexional p/ cilindros <i>Excitação no centro c/ captação na extremidade, ambas centralizadas com relação à largura. Apoios na posição 0,224L.</i>	
Modo longitudinal p/ cilindros <i>Excitação e captação centradas nos topos e contrapostas. Apoios na posição 0,224L.</i>	

8. Operação do Software

Antes de começar a operar o software, verifique se:

- A versão 3.0 do Software Sonelastic® está corretamente instalada no computador;
- O corpo de prova e os acessórios das Soluções Sonelastic® estão posicionados de acordo com o item **7. Corpos de prova**;
- O Sistema Pulsador Sonelastic IED está ligado e corretamente instalado (se aplicado).

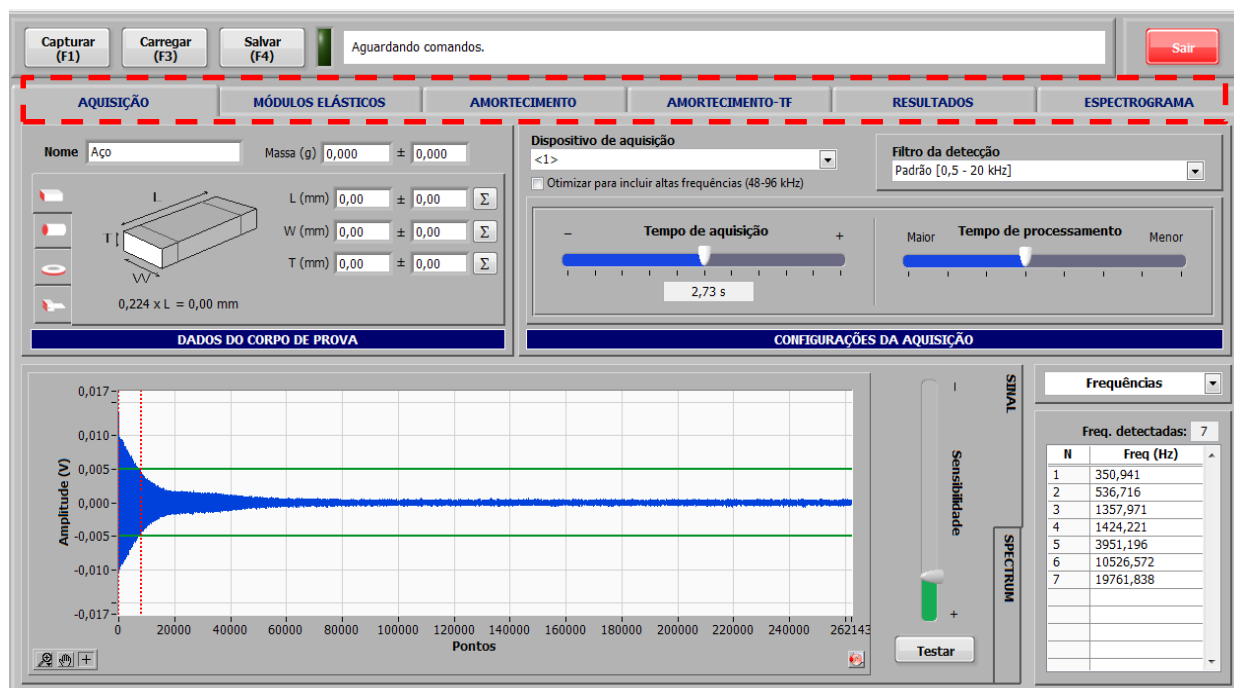
Após todos esses itens serem verificados, o sistema estará pronto para o início das caracterizações.

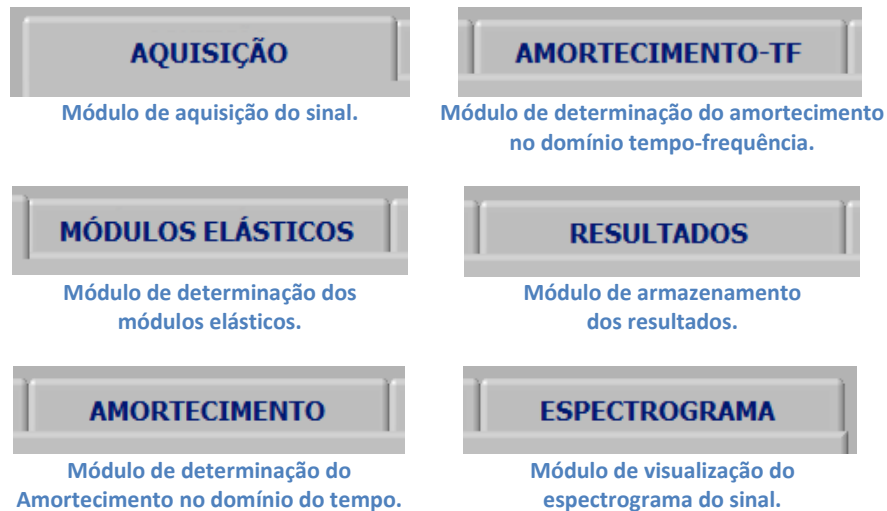
O Software Sonelastic® foi especialmente desenvolvido para possibilitar ao usuário uma maneira fácil, rápida e interativa de realizar os trabalhos de caracterização de materiais. A seguir serão apresentadas todas as informações para a correta operação e configuração do Software Sonelastic®.

Nota: Um guia rápido de medição com o Sonelastic® encontra-se no **Apêndice A** deste manual.

O Software Sonelastic® está estruturado em módulos (abas) que realizam o processamento sequencial da resposta acústica, conforme mostrado na Figura 1 e fragmentos a seguir.

Figura 3. Tela principal do Software Sonelastic® com os módulos (abas) principais em destaque.





8.1 Módulo: Aquisição - fazendo a aquisição de uma medida

8.1.1 Fornecendo as dimensões do corpo de prova

Módulo de aquisição (tela principal do Software Sonelastic®):

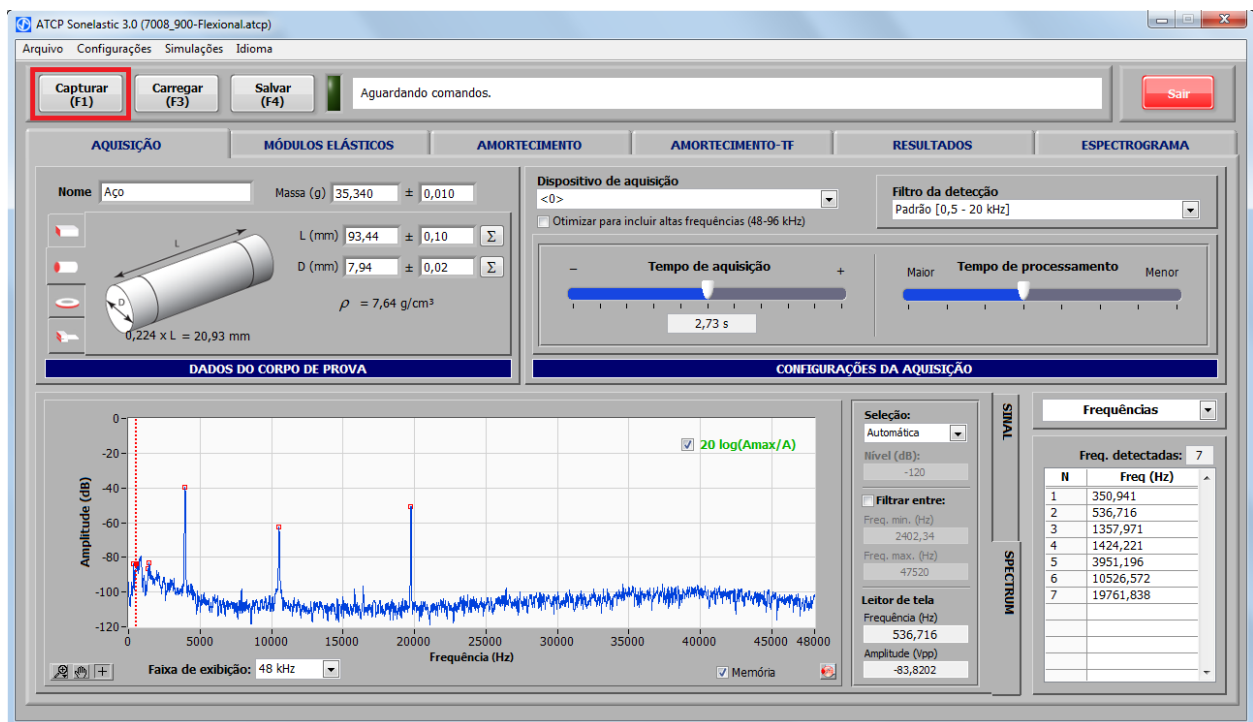
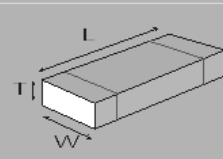


Figura 4. Tela principal do Software Sonelastic® com o botão capturar em destaque.

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

Nome
Massa (g) ±

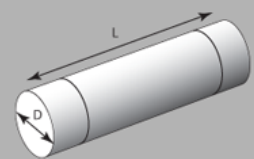


L (mm) ± Σ
W (mm) ± Σ
T (mm) ± Σ

0,224 x L = 33,62 mm $\rho = 3,70 \text{ g/cm}^3$

DADOS DO CORPO DE PROVA

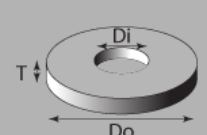
Nome
Massa (g) ±



L (mm) ± Σ
D (mm) ± Σ

DADOS DO CORPO DE PROVA

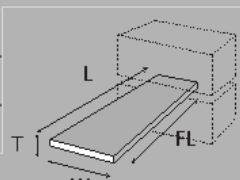
Nome
Massa (g) ±



Do (mm) ± Σ
Di (mm) ± Σ
T (mm) ± Σ

DADOS DO CORPO DE PROVA

Nome
Massa (g) ±



L (mm) ± Σ
W (mm) ± Σ
T (mm) ± Σ
FL (mm) ± Σ

DADOS DO CORPO DE PROVA

Figura 5. Domínio para escolha da geometria e inserção dos dados da amostra.

Onde:

"Nome": nome/referência do corpo de prova a ser ensaiado;

"Massa (g)": massa da amostra, 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 milímetro (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 / disco, em milímetros (mm);

"Di (mm)": diâmetro interno do anel / disco, em milímetros (mm). **Obs.:** Para um disco, este valor é igual a zero;

"FL (mm)": comprimento livre da barra engastada, em milímetros (mm).

Passo 02 – Insira o nome da amostra no local correspondente.

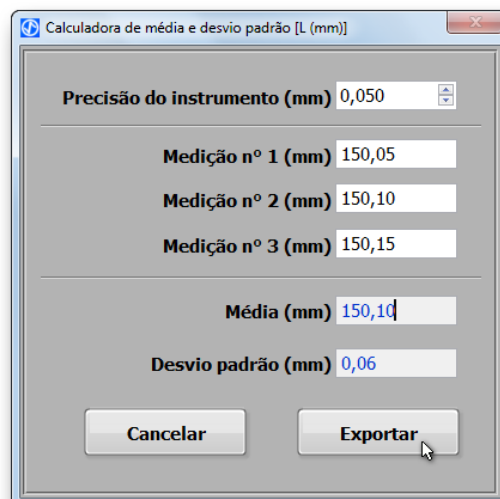
Passo 03 – Insira as dimensões do corpo de prova, seguindo as recomendações a seguir.

Utilize o instrumento mais preciso possível para se obter as dimensões (paquímetro, régua, trena) e uma balança de precisão para obter a massa. As dimensões: comprimento, largura, espessura e diâmetro devem ser mensuradas em três pontos diferentes.

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 da amostra. Na medida em que os valores são introduzidos, o software calcula automaticamente o valor da “Média (mm)” e “Desvio padrão (mm)”. Para atualizar os valores no quadro “Dados do corpo de prova”, basta clicar no botão “Exportar”.



Caso já tenha realizado o cálculo das médias e desvios anteriormente, é possível adicionar os valores diretamente nos campos reservados a cada dimensão.

Nota: É possível fazer com que o software aceite desvios iguais a zero (“Permitir valores nulos para erros”), veja o item **8.9 Menu configurações** deste manual.

Ao inserir todas as dimensões, o Software calcula automaticamente a densidade aparente (ρ), em gramas/cm³, e mostra a localização dos pontos nodais, em mm, para barras e cilindros (nos quais o corpo de prova deve ser apoiado). Veja na Figura 5 o local onde aparecem essas informações.

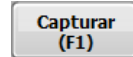
Observações:

- Separe sempre os números por vírgula e não por ponto.
- Sempre confira se a densidade aparente está coerente com o material caracterizado.

8.1.2 Realizando uma aquisição preliminar

Antes de realizar a medição, é necessário verificar se os parâmetros e configurações do software estão adequadas ao corpo de prova a ser caracterizado.

Para iniciar uma medição, clique no botão “Capturar (F1)”, no alto da tela.



O software entrará no modo de aquisição contínua e estará pronto para realizar a captura do sinal acústico. Caso o Sistema Pulsador Sonelastic 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 a amostra, faça modificações na intensidade conforme mostrado no item **8.1.5 Espectro e pré-processamento do sinal adquirido**). Caso o Sistema Pulsador Sonelastic IED não fizer parte da configuração utilizada, faça a aquisição manualmente utilizando o pulsador manual.

Na interface, 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

CONFIGURAÇÕES DA AQUISIÇÃO

No campo “Dispositivo de aquisição” (Figura 6) é possível determinar a fonte do sinal.

Clique na seta ao lado e em seguida em “Atualize”. Automaticamente o Software Sonelastic® identificará a fonte de aquisição utilizada.

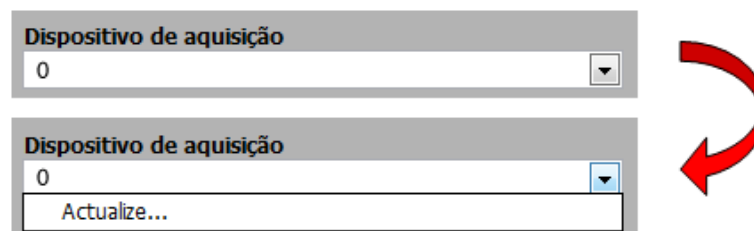


Figura 6. Controle para seleção da fonte de aquisição utilizada.

Dependendo do tipo de amostra a ser caracterizada, é necessário habilitar a opção: “Otimizar para incluir altas frequências (48-96 kHz)” (Figura 7). Isso ocorrerá caso a amostra seja de pequenas dimensões (da ordem de milímetros) e seja muito rígida. Esta opção aumenta a faixa de frequências detectáveis pelo equipamento, porém recomenda-se habilitá-la somente quando a frequência de ressonância requerida seja maior que 48 kHz, caso não seja necessário, deixe esta opção desabilitada.

Para verificar a frequência aproximada de vibração de sua amostra, utilize o recurso “Estimador de Frequências” (especificado no item **8.10 Menu simulações**).

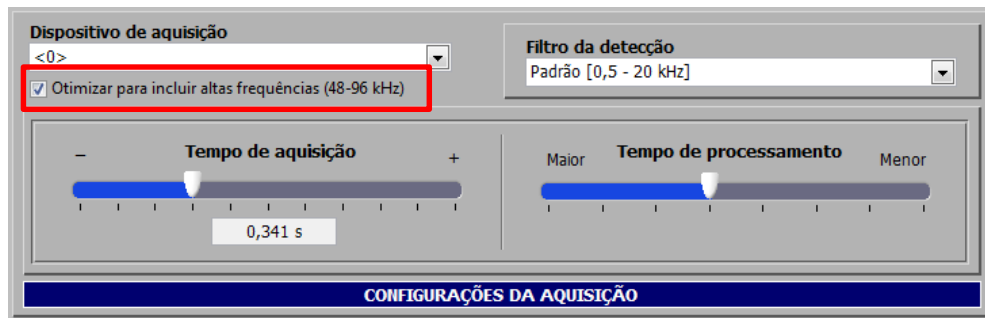


Figura 7 - Habilitando a opção para aumentar a faixa de frequências detectáveis.

No campo “Filtro da detecção” (Figura 8) é possível reduzir a influência de ruídos e interferências. A ativação deste filtro se dá através da escolha de uma faixa de frequências. Neste caso, aplica-se um filtro somente ao 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.

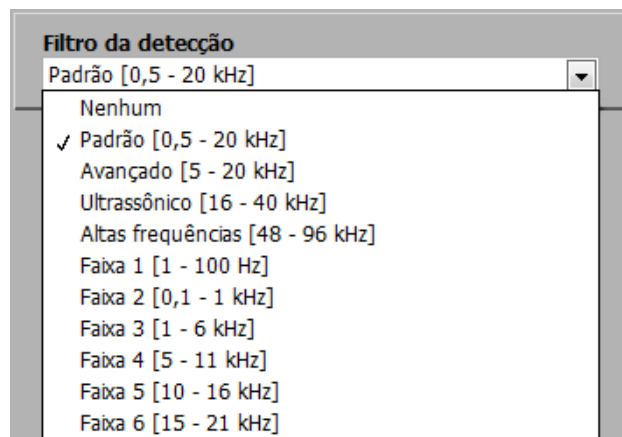


Figura 8. Controle para seleção da faixa de frequência para disparo da aquisição.

Exemplo: se o corpo de prova for pequeno e possuir frequências muito altas, selecione as faixas mais altas: “Ultrassônico [16 - 40 KHz]”, e, neste caso, somente as frequências dentro deste intervalo serão consideradas para o disparo da aquisição. **Observação:** Após a aquisição, todas as frequências estarão presentes no espectro, inclusive as que não foram consideradas anteriormente.

O ajuste do tempo de aquisição e do tempo de processamento podem ser realizados empregando os controles mostrados na Figura 9.

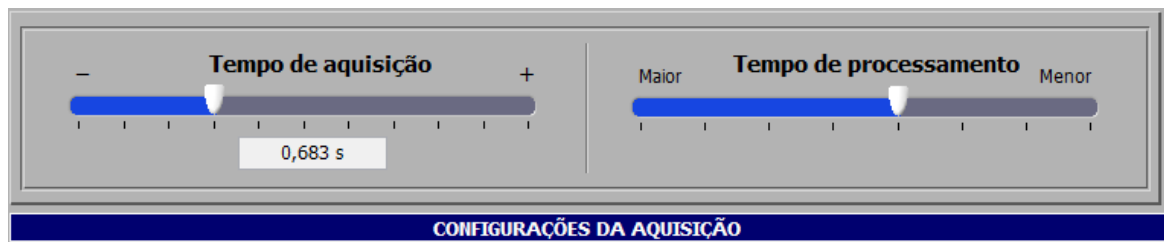


Figura 9. Ajuste do “Tempo de aquisição” e do “Tempo de processamento”.

O “Tempo de aquisição” varia de 0,0853 a 14,6 segundos* e é ajustado de acordo com a duração do sinal. O tempo de aquisição deve ser de 4 a 8 vezes maior que a duração aparente do sinal (Figura 10).

O “Tempo de processamento” controla o segmento do sinal que é processado para a obtenção do espectro de frequências. Esta região é indicada pelas linhas tracejadas vermelhas e verticais, mostradas no gráfico da Figura 10. A redução no tempo de processamento permite a detecção de frequências com baixa amplitude e é necessária no caso de materiais com alto amortecimento. Apesar disso, neste caso haverá um alargamento dos picos, reduzindo a resolução na determinação da frequência e até mesmo mergindo picos próximos. Por outro lado, se aumentar este valor além do ideal, é possível que haja o processamento de muito sinal (incluindo ruído), causando assim o desaparecimento dos picos de ressonância.

O ajuste do tempo de aquisição e de processamento devem ser realizados pelo usuário de acordo com o tipo de material e dimensões do corpo de prova. Na dúvida, inicie utilizando o “Tempo de aquisição” de 0,683 segundos e o “Tempo de processamento” na posição 5 (conforme mostrado na Figura 9). Esta configuração é próxima à ideal para materiais cerâmicos e de baixo amortecimento.

* Devido ao algoritmo utilizado pelo software para realização do processamento do sinal, o tempo de aquisição será dividido pela metade caso a opção “Otimizar para incluir altas frequências (48-96 kHz)” (Figura 7) esteja habilitado. O valor é automaticamente atualizado no display.

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 / Figura 10). Este ajuste também é importante para a otimização da visualização do sinal captado.

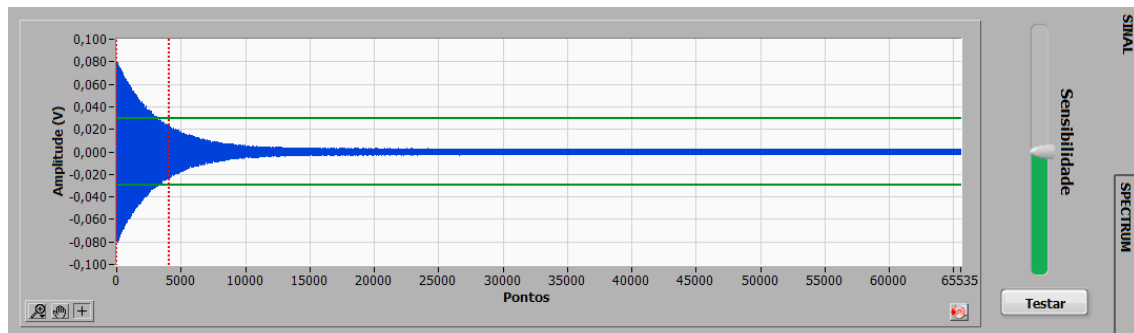


Figura 10. Gráfico e controle para ajuste da escala ("Sensibilidade").

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": 

Observação: O Software Sonelastic® pode exigir um ajuste de *offset* na escala de amplitude. Este ajuste é necessário para que a resposta acústica seja captada sem bias (Figura 10).

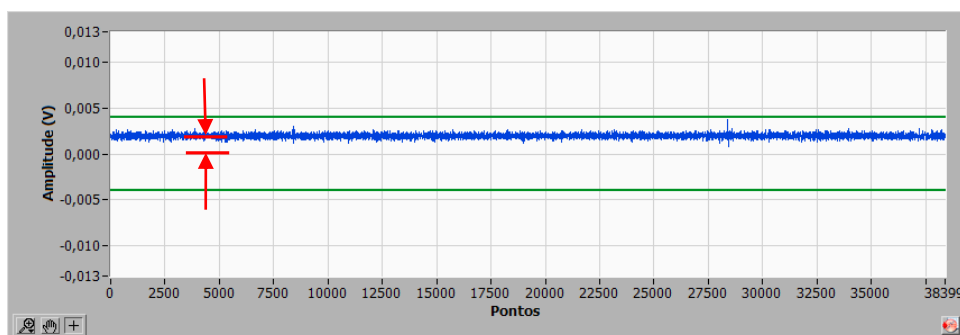


Figura 11. Gráfico de visualização do sinal indicando um offset de aproximadamente "+0,002 Volt".

Se a linha azul estiver no zero de amplitude, 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 sendo atualizada constantemente; observe se o valor médio do sinal coincide com o eixo x ($y=0,00$). Observe na Figura 11 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", selecione a opção "Aquisição avançada".

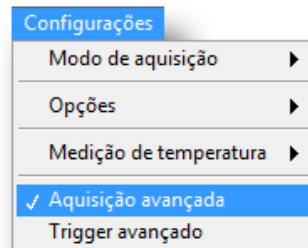


Figura 12. Menu para seleção do modo de aquisição avançada.

Uma nova tela em "CONFIGURAÇÕES DA AQUISIÇÃO" ficará disponível e permitirá o ajuste fino através do botão  na opção "Offset" (Figura 13).



Figura 13. Seção para ajuste do "Offset".

Passo 04: Realize ajustes sucessivos mudando o valor do "Offset" e visualizando o resultado pelo botão "Testar", até que o valor médio da linha azul encontre-se no zero de amplitude (Figura 14).

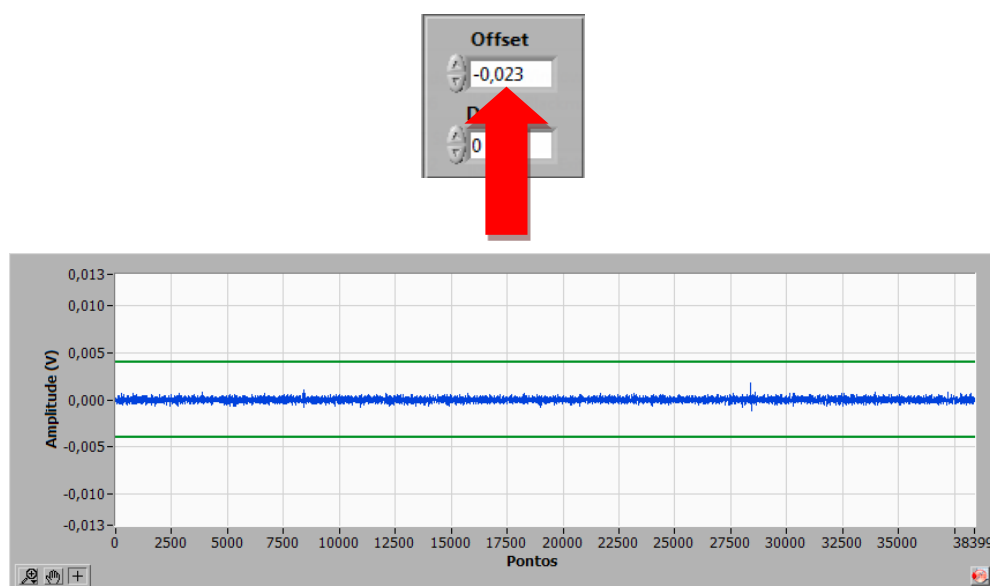


Figura 14. Detalhe do resultado da configuração da opção "Offset".

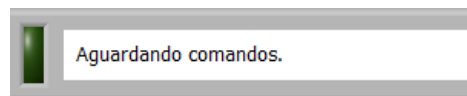
Passo 05: No menu “Configurações”, desmarque a opção “Aquisição avançada”. A tela do campo “Configurações da Aquisição” voltará para o modo simplificado.

As demais opções que aparecem no modo “Aquisição avançada” estão abordadas no item **8.9.4 Aquisição avançada**.

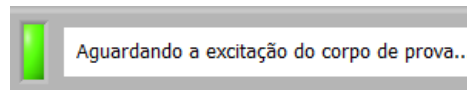
8.1.4 Feedbacks do software durante a aquisição de sinal

Na região superior da interface, ao lado do botão “Sair”, há a indicação do status do Software Sonelastic® e do processo de caracterização.

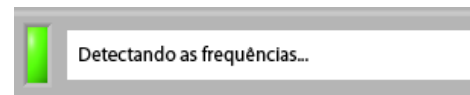
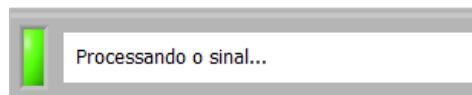
Enquanto o software está em modo de espera, a mensagem será: “Aguardando comandos”.



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



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...”.



8.1.5 Espectro e pré-processamento do sinal

Após a aquisição do sinal e através da aba "Spectrum", pode-se visualizar o espectro obtido com o processamento da resposta acústica. As frequências detectadas e selecionadas 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.

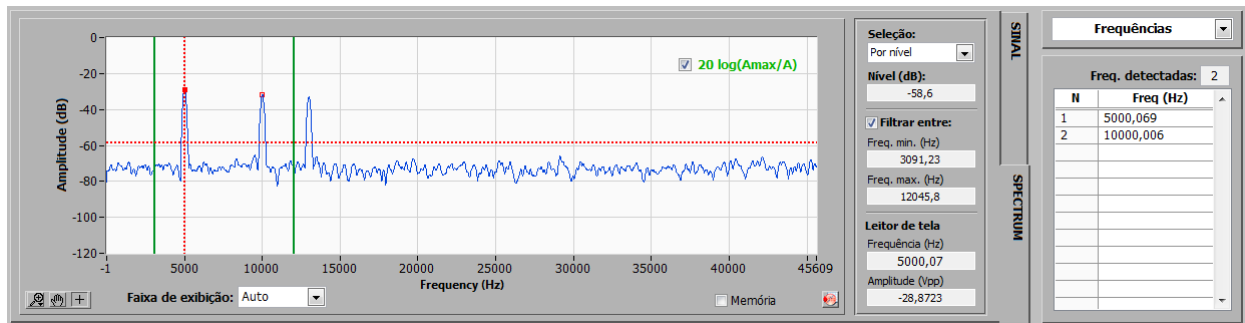


Figura 15. Módulo de exibição do espectro de frequências da resposta acústica e dos comandos para a seleção das frequências.

Pode-se realizar um pré-processamento manual para selecionar a região de interesse do espectro de frequências. É possível realizar ajustes tanto na amplitude mínima quanto na janela de frequências, de forma que o Software apenas avalie os picos de ressonância dentro deste intervalo.

Na opção "Seleção" (Figura 16) 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", em que é aplicado um algoritmo que detecta automaticamente os picos de ressonância.

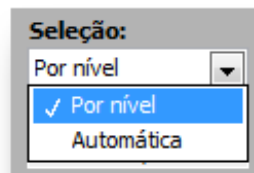


Figura 16. Seção para escolha do método de seleção dos picos: "Por nível" ou "Automática".

Também é possível delimitar a faixa de frequência a ser analisada com o recurso "Filtrar entre:". Para tanto, é necessário habilitar esta função e indicar as frequências mínima ("Freq. min. (Hz)") e máxima ("Freq. max. (Hz)").

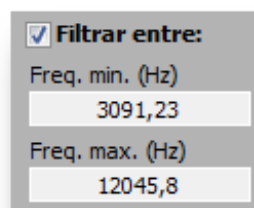


Figura 17. Seção que possibilita a seleção da região desejada do gráfico.

Também é possível fazer o ajuste destas configurações através do gráfico referente ao espectro de frequências. Para o ajuste da seleção da amplitude mínima, arraste a linha horizontal tracejada vermelha para o local desejado (assegure-se de que a opção: "Por nível" esteja selecionada no campo "Seleção"). Já para o ajuste da faixa de frequência, arraste as linhas verticais verdes conforme desejar (assegure-se de que a opção "Filtrar entre:" esteja habilitada).

Se a "Seleção" estiver na opção "Automática" e "Filtrar entre:" 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 (Figura 18).

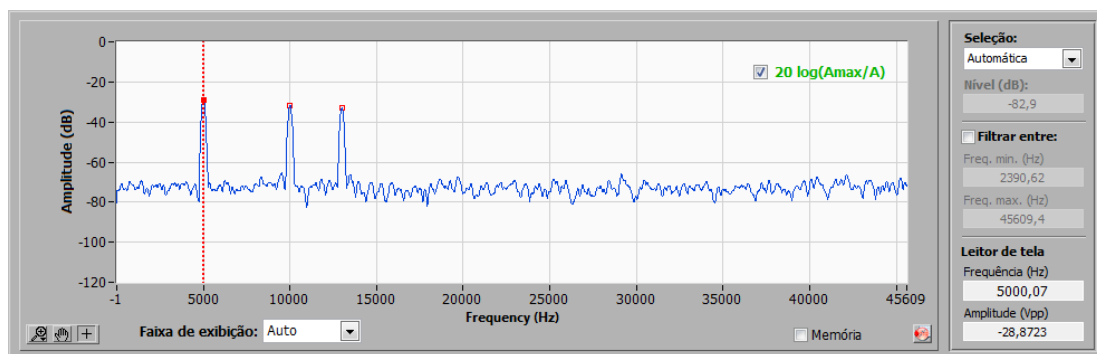


Figura 18. Exibição do espectro quando a opção "Filtrar entre:" está desativada e a "Seleção" está na opção "Automática"

A seção identificada como "Leitor de tela" mostra o valor da frequência selecionada pela linha vertical tracejada e sua respectiva amplitude:

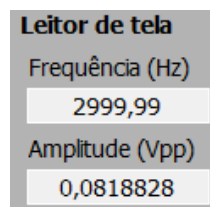


Figura 19. Identificação da frequência selecionada pela linha vertical tracejada vermelha e sua respectiva amplitude.

Na aba "Frequências" ao lado direito do gráfico, é possível escolher as opções: "Pulsador" ou "Forno" quando o Sistema Pulsador Sonelastic IED e forno estiverem disponíveis. Estes itens são fornecidos como opcionais das Soluções Sonelastic®.

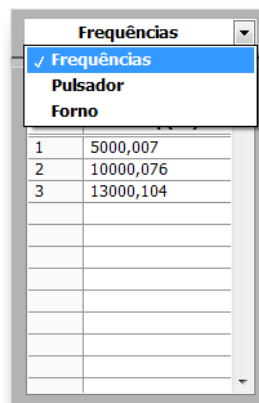


Figura 20. Controle para escolha entre Frequências, Pulsador ou Forno.

Se a opção "Pulsador" for ativada, a seguinte tela aparecerá.

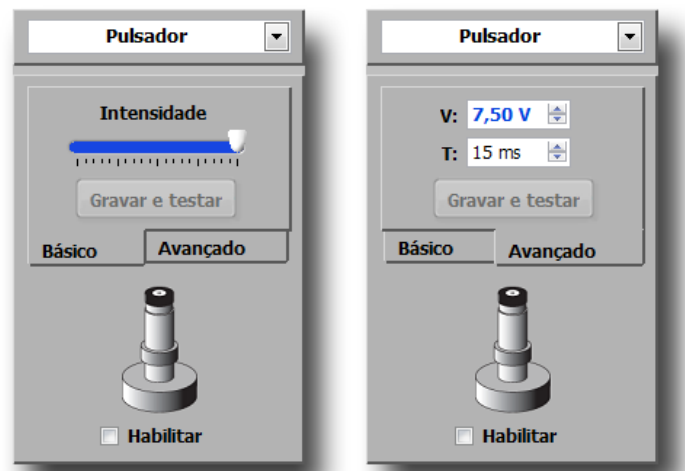


Figura 21. Aba para configuração do Pulsador.

Nesta tela é possível ajustar a intensidade do pulso aplicado. Na interface básica é possível fazer um ajuste simplificado através da barra de "Intensidade". Já na interface avançada, o parâmetro "V" corresponde à amplitude em Volts e o parâmetro "T" à duração em milissegundos (ms) do pulso elétrico aplicado ao pulsador, quanto maior o valor destes parâmetros, maior será a intensidade do pulso 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.

Observação: A intensidade do pulso será ajustada pelo usuário de acordo com o tipo de material e dimensões do corpo de prova a ser ensaiado, visando sempre uma excitação leve e com capacidade de gerar uma resposta acústica satisfatória.

Se não houver um Sistema Pulsador Sonelastic IED, estes ajustes não são necessários.

Se a opção "Forno" for ativada, a seguinte tela aparecerá:

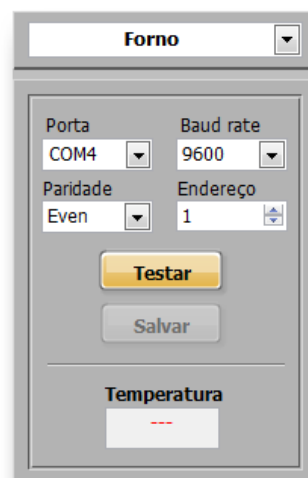


Figura 22. Aba para configuração da comunicação com o Forno.

A opção "Porta" seleciona a porta serial referente ao 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 Forno, mostrando no campo "Temperatura", o valor no qual se encontra a temperatura naquele instante. 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.

Na Figura 23, tem-se como exemplo a detecção de 3 picos de frequências ("Freq (Hz)").

É possível alterar a escala do gráfico desativando a opção " $20 \log(A_{\max}/A)$ " presente no canto superior direito do gráfico do espectro. A amplitude 0 dB corresponde a amplitude máxima.

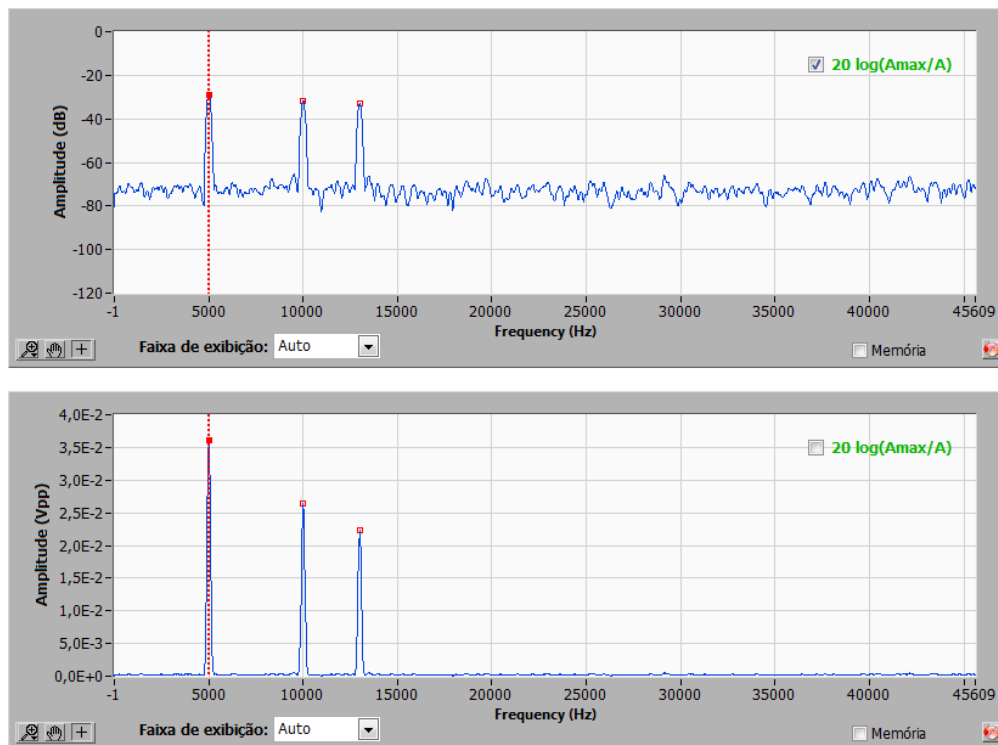


Figura 23. Exemplos de um espectro na escala logarítmica (acima) e com a opção logarítmica desativada (abaixo).

A opção "Faixa de exibição" abaixo do gráfico permite selecionar a frequência máxima de interesse a ser visualizada. No modo "Auto", o Software Sonelastic® faz esta seleção automaticamente.

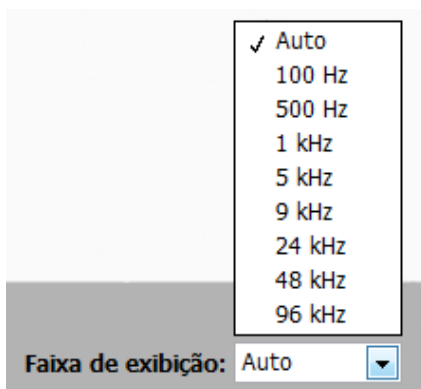


Figura 24. Controle de seleção da faixa de frequência de interesse.

O botão , que aparece no canto inferior direito dos espectros, permite exportar o gráfico 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. Não se deve esquecer de digitar a extensão do arquivo ao final de seu nome.

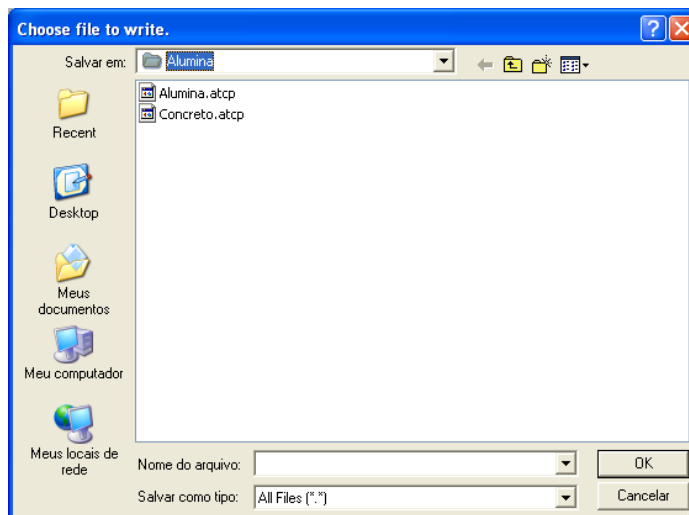


Figura 25. Tela mostrando onde será feito o registro do arquivo.

Uma série de ajustes finos no que diz respeito a dar mais enfoque (“zoom”) a uma ou outra parte do espectro pode ser feita através do botão  que fica no canto inferior esquerdo do gráfico.

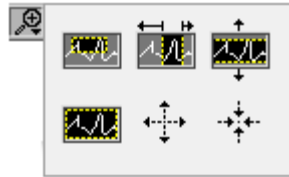


Figura 26. Opções para ajustes do espectro.

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 Módulo: Módulos Elásticos - obtenção das propriedades elásticas

Aba de cálculo das propriedades elásticas:

MÓDULOS ELÁSTICOS

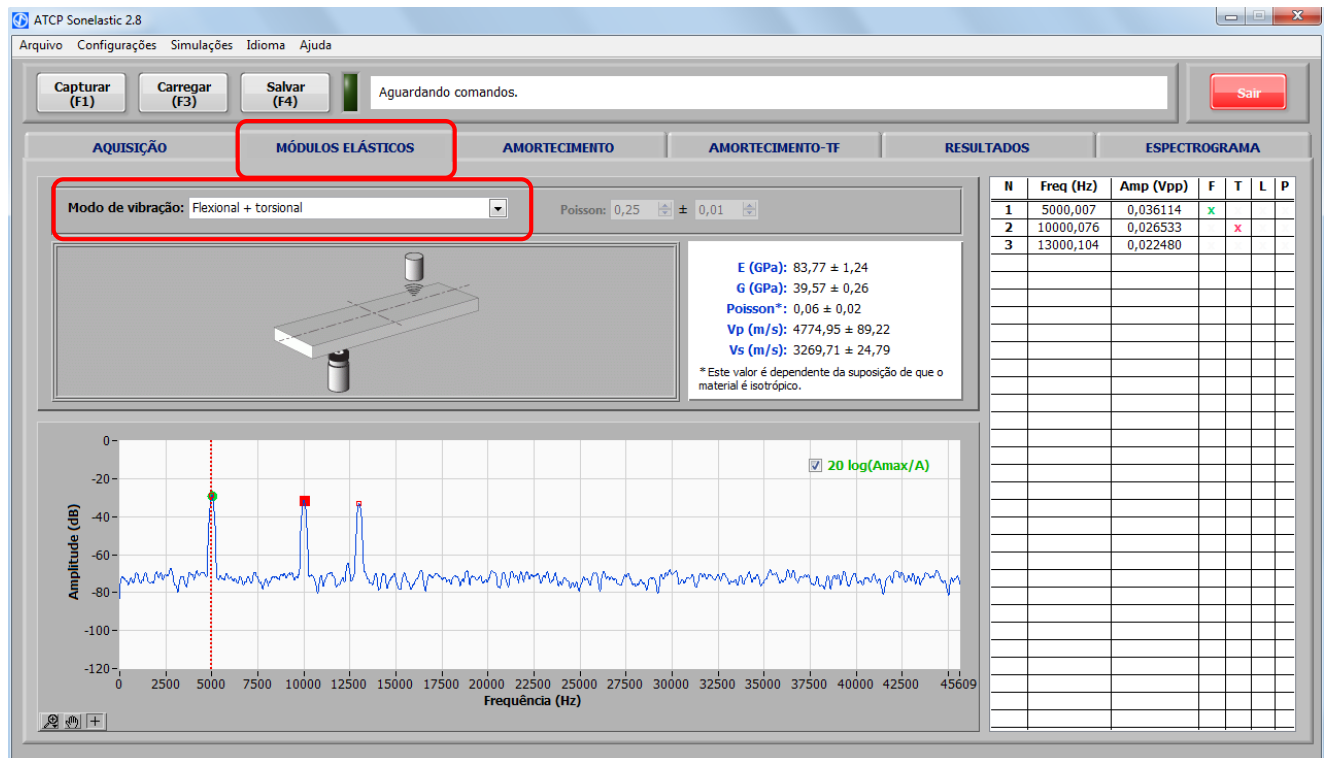


Figura 27. Tela do Software Sonelastic® com o Módulo de cálculo das propriedades elásticas em destaque.

Nesta aba há a realização do cálculo dos módulos elásticos a partir das frequências selecionadas na tabela. Através destes valores, juntamente com as dimensões e a massa do corpo de prova, obtém-se os módulos elásticos correspondentes ao modo de vibração aplicado (ver item **7.2.2 Modos de excitação e captação**).

O primeiro passo é escolher qual o tipo de análise que deve ser feita em “Modo de vibração”.

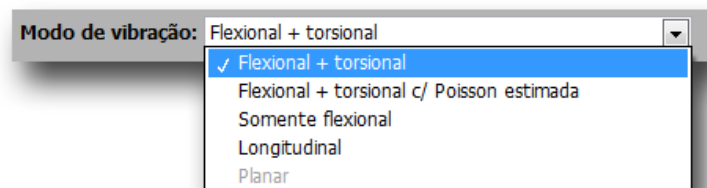


Figura 28. Tela para escolha do tipo de análise utilizada.

“Flexional + torcional” (Figura 29): 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**).

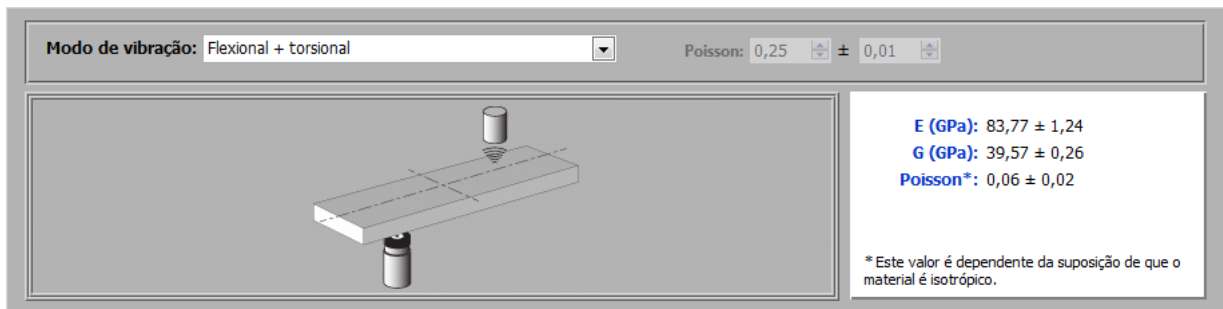


Figura 29. Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Flexional + torcional” selecionada.

“Flexional + torcional c/ Poisson estimada” (Figura 31): 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 (Figura 30).

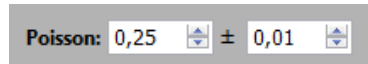


Figura 30. Campos para preenchimento do coeficiente de Poisson utilizado nos cálculos.

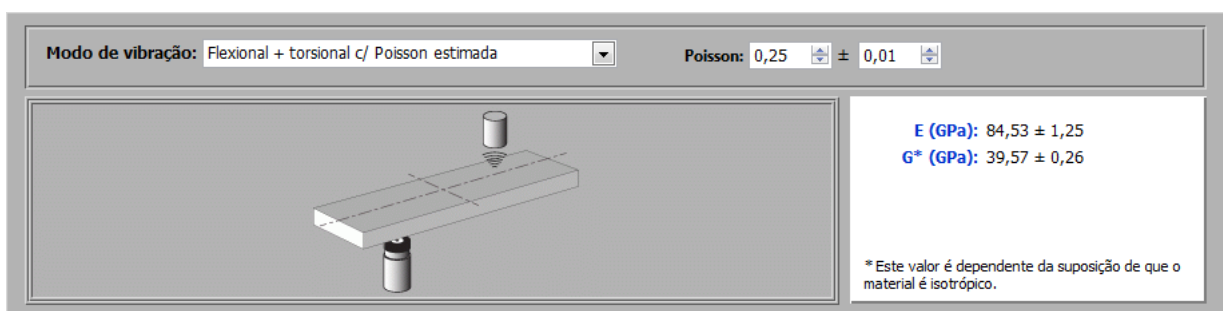


Figura 31. Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Flexional + torcional c/ Poisson estimada” selecionada.

“Somente flexional” (Figura 32): possibilita o cálculo somente do módulo de Young na flexão. Neste caso, apenas a frequência flexional deve ser selecionada.

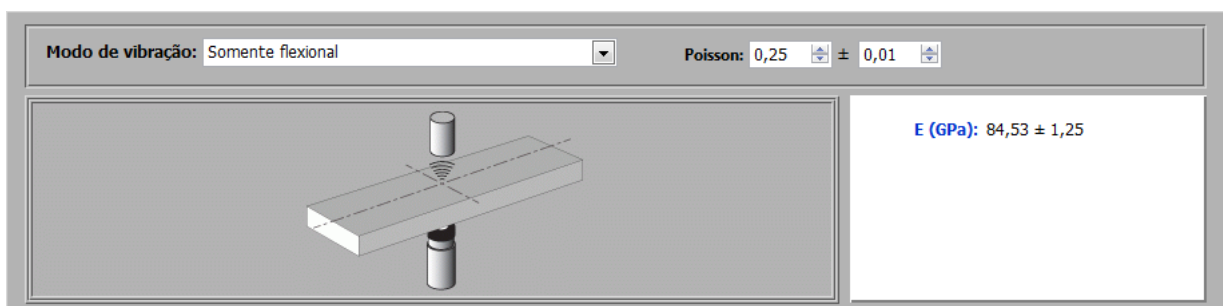


Figura 32. Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Somente flexional” selecionada.

“Longitudinal” (Figura 33): possibilita o cálculo somente do módulo de Young na direção longitudinal. Apenas a frequência longitudinal deve ser selecionada.

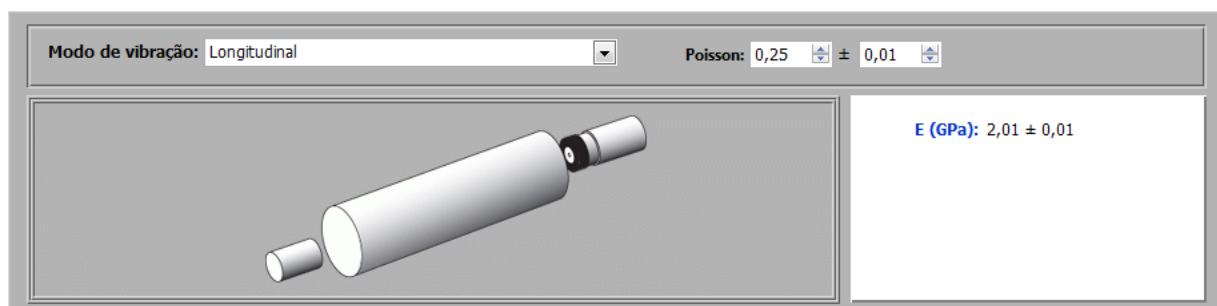


Figura 33. Módulo do Software Sonelastic® com a opção “Longitudinal” selecionada. Exemplo de medição de uma amostra cilíndrica.

“Planar” (Figura 34): possibilita o cálculo do módulo elástico através do modo de vibração planar. Apenas a frequência planar deve ser selecionada.



Figura 34. 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”, informam um exemplo do local de excitação e captação do sinal acústico dependendo do modo de vibração excitado.

A tabela do lado direito da tela exibe os picos detectados, com o valor de cada frequência e sua respectiva amplitude. “N” representa o número de picos detectados, “Freq (Hz)” corresponde ao(s) valor(es) de frequência obtidos, “Amp (Vpp)” corresponde à amplitude, “F”, a coluna para a escolha da frequência flexional, “T”, da frequência torcional, “L”, da frequência longitudinal e “P”, da frequência planar. Para cada modo de vibração, somente uma frequência é escolhida para os cálculos.

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				

Figura 35. Tabela dos picos detectados, com os valores das frequências e suas respectivas amplitudes.

Note que a frequência de 9868,362 Hz aparece marcada com um "x" em verde, e a frequência de 18404,907 Hz com um "x" em vermelho (Figura 35), o que significa que ambas foram utilizadas no cálculo, ou seja, o modo de análise "Flexional + torcional" está selecionado neste caso. Para alterar a frequência selecionada, clique na célula referente à frequência desejada.

O gráfico de amplitude vs. frequência exibe as frequências utilizadas nos cálculos dos módulos elásticos. A frequência flexional está marcada com um círculo verde e uma linha vertical vermelha tracejada. Já a frequência torcional aparece marcada com um quadrado vermelho.

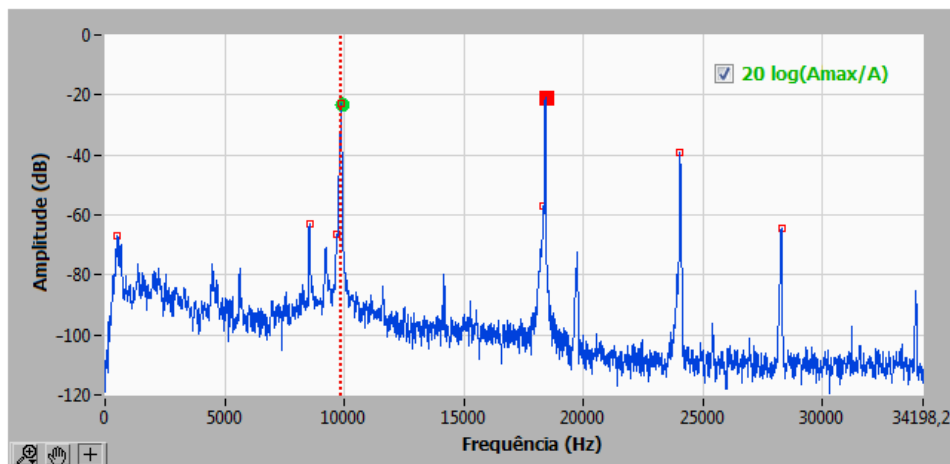


Figura 36. Gráfico de amplitude vs frequência mostrando as frequências utilizadas no cálculo dos módulos elásticos.

Os valores dos módulos elásticos ("E(GPa)", "G(GPa)" e coeficiente de Poisson ("Poisson")) estão mostrados na Figura 37.

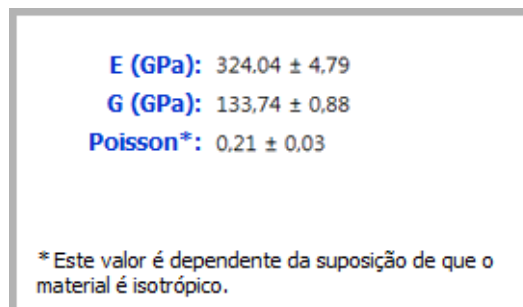


Figura 37. Representação dos valores dos módulos elásticos ("E(GPa)", "G(GPa)" e "Poisson").

Novamente o usuário pode alternar a visualização do espectro entre uma escala linear e uma escala logarítmica através da opção " $20 \log(A_{\max}/A)$ ".

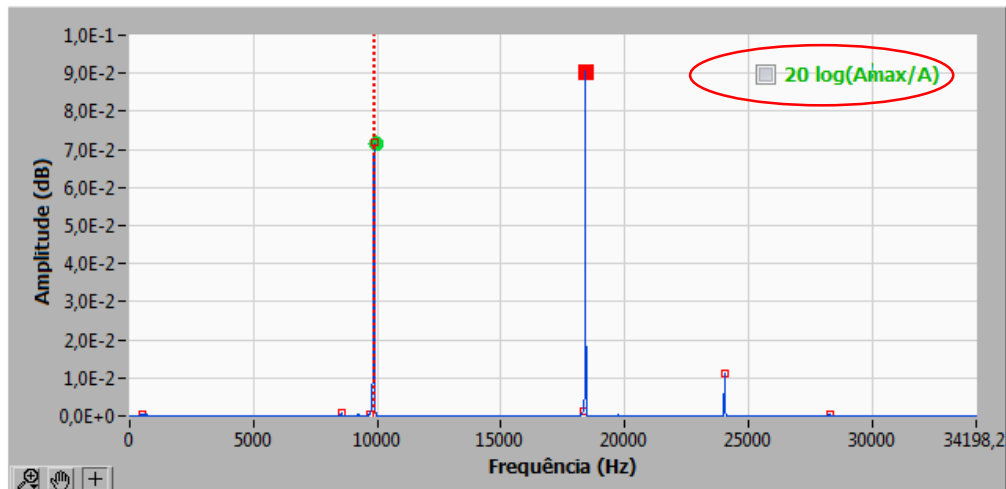


Figura 38. Gráfico da amplitude vs frequência.

Nota: O "Estimador de frequências" auxilia na descoberta do padrão de frequências e, principalmente, auxilia na detecção e escolha das frequências fundamentais de vibração (ver item **8.10 Menu de simulações**). A experiência e prática com relação à Técnica de Excitação por Impulso auxilia na escolha correta dos picos de ressonância.



Atenção! Em caso de dúvida na seleção das frequências, visite o site www.atcp.com.br ou entre em contato com o fabricante para maiores informações (ha@atcp.com.br).

8.3 Módulo: Amortecimento - obtenção do Amortecimento

Aba do cálculo de amortecimento no domínio do tempo:

AMORTECIMENTO

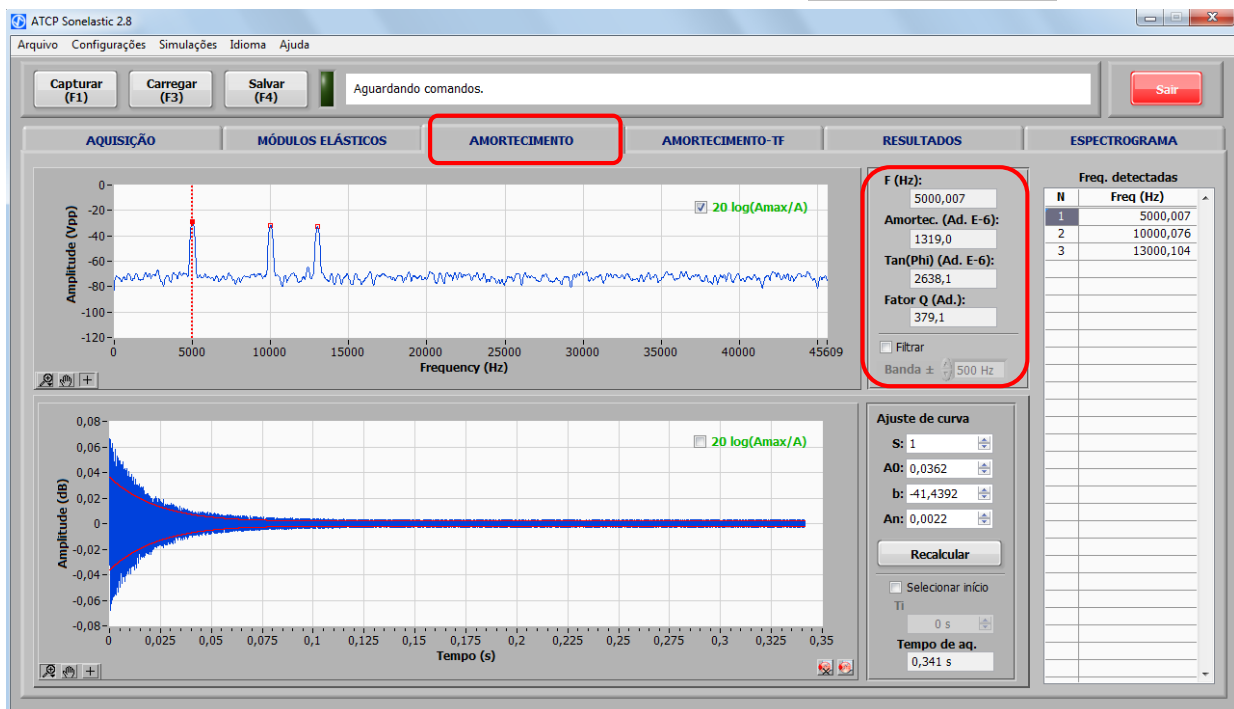


Figura 39. Tela do Software Sonelastic® com o Módulo de cálculo do amortecimento no domínio do tempo em destaque.

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

Na tela aparecem dois gráficos: o primeiro, localizado na parte superior da tela, mostra a amplitude em função da frequência, enquanto o segundo, localizado na parte inferior da tela, apresenta a amplitude em função do tempo.

O primeiro gráfico 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.

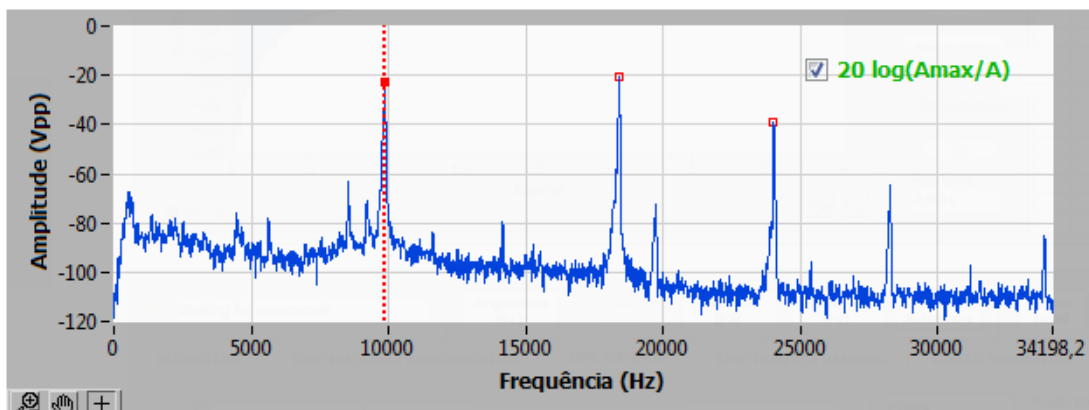


Figura 40. Exemplo do gráfico da amplitude vs frequência para calcular o amortecimento no domínio do tempo.

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 representa o ajuste feito pelo Software Sonelastic® para o cálculo do amortecimento.

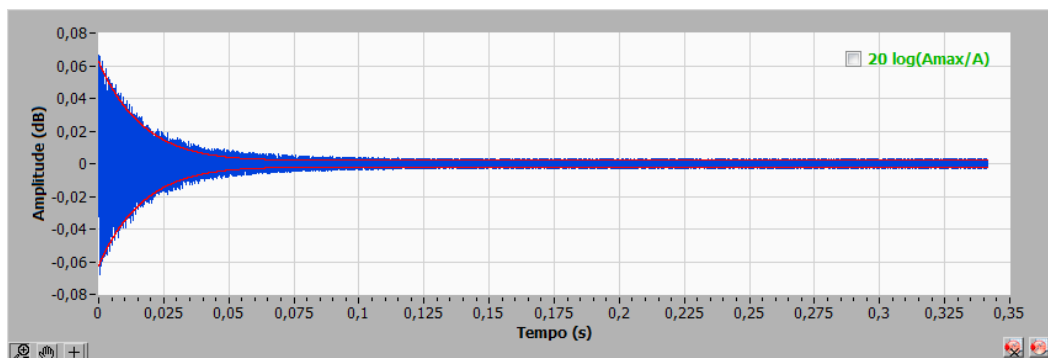


Figura 41. Exemplo do gráfico da amplitude vs tempo, representando como se dá a atenuação do sinal.

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, basta selecionar a opção “20 log(Amax/A)” em destaque na Figura 42.

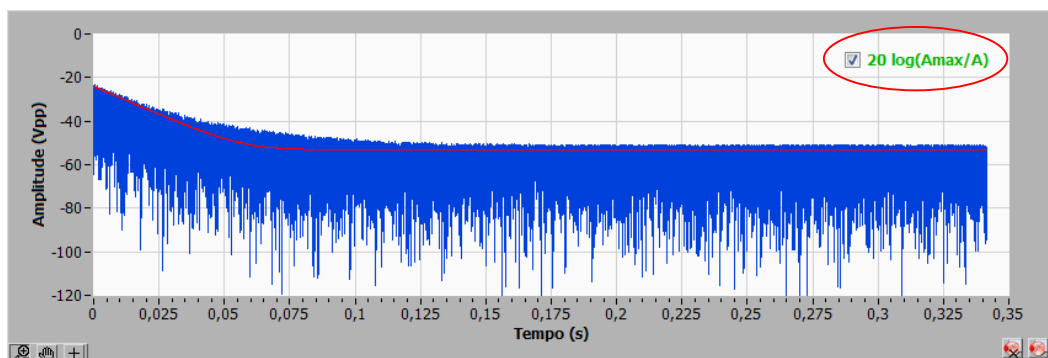


Figura 42. Exemplo do gráfico da amplitude vs tempo (amortecimento) em escala logarítmica.

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

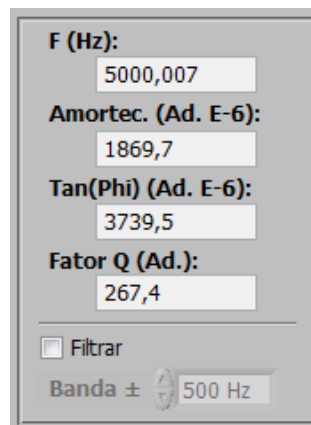
Freq. detectadas	
N	Freq (Hz)
1	5000,007
2	10000,076
3	13000,104

Figura 43. Tabela dos picos detectados (“Freq. detectadas”).

Na Figura 43, há a representação de uma caracterização em que foram detectados 3 picos de ressonância (“Freq. detectadas”), cujos valores de frequência (“Freq (Hz)”) são: 5000,007; 10000,076 e 13000,104 Hz.

O software faz um ajuste do sinal através de uma envoltória exponencial, cujo ajuste fino pode ser feito pelo usuário através das ferramentas que serão mostradas a seguir. A partir desta envoltória e da frequência escolhida, é calculado o amortecimento em diferentes formatos (ver o **Apêndice C – Detalhamento sobre os cálculos do amortecimento**).

A frequência escolhida para o cálculo pode ser alterada arrastando-se a linha tracejada vermelha do gráfico da Figura 40 ou clicando no número correspondente à frequência desejada ("N"), presente na lista de frequências descrita na Figura 43. 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.)".



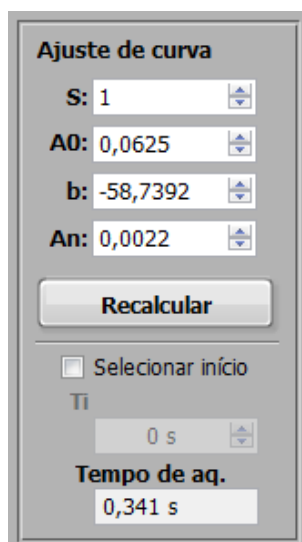
F (Hz):	5000,007
Amortec. (Ad. E-6):	1869,7
Tan(Phi) (Ad. E-6):	3739,5
Fator Q (Ad.):	267,4
☐ Filtrar	
Banda ±	500 Hz

Figura 44. Seção com dados referentes ao amortecimento.

Na Figura 44, tem-se que a frequência ("F(Hz)") considerada para os cálculos foi de 5000,007 Hz, o amortecimento ("Amortec.(Ad. E-6)") calculado foi de 1869,7, "Tan(Phi) (Ad. E-6)" com um valor de 3739,5 e fator de qualidade ("Fator Q (Ad.)") apresentou um valor de 267,4.

Visando remover a influência de outros modos de vibração, é possível aplicar um filtro passa-faixa no sinal na opção "Filtrar", de forma que o sinal acústico é filtrado para levar em consideração o modo de vibração desejado (frequência escolhida) e a região em seu entorno (delimitado pelo valor definido no item "Banda ±").

É possível também realizar um ajuste fino da curva exponencial em vermelho, através dos parâmetros "A0", "b" e "An". 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.



Ajuste de curva

S: 1

A0: 0,0625

b: -58,7392

An: 0,0022

Recalcular

☐ Selecionar início

Ti

0 s

Tempo de aq.

0,341 s

Figura 45. 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 Módulo: Amortecimento-TF - obtenção do Amortecimento tempo-frequência

Aba de cálculo do amortecimento de forma composta (no domínio do tempo combinado com o da frequência).

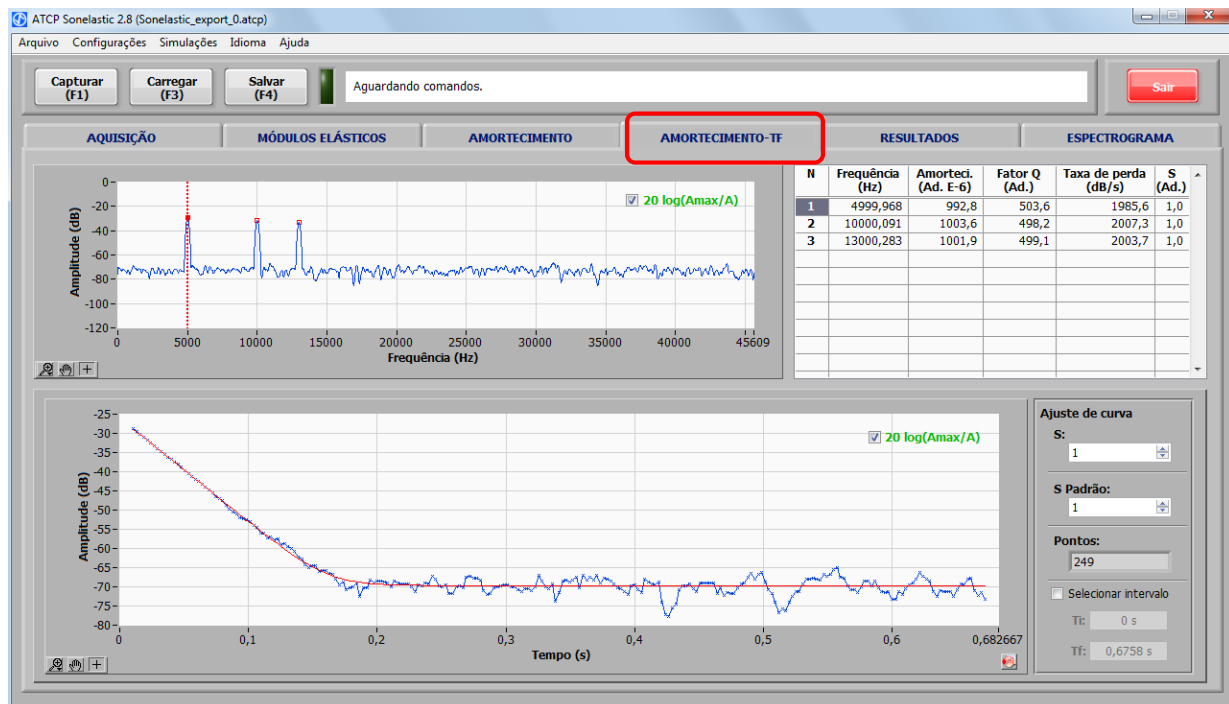


Figura 46. Tela do Software Sonelastic® - aba de cálculo do amortecimento no domínio tempo-frequência.

Este módulo permite a obtenção do amortecimento por um método baseado no decremento logarítmico da amplitude do pico (no domínio da frequência) e não apenas da amplitude do sinal (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 (Figura 47).

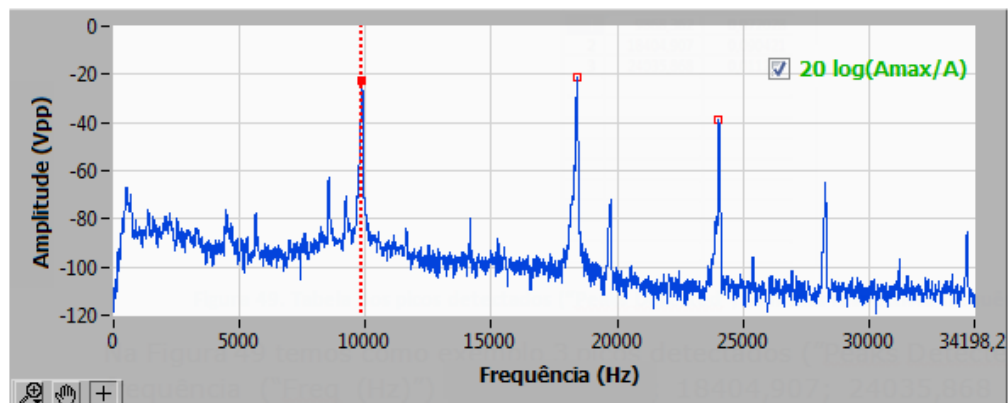


Figura 47. Gráfico de amplitude vs frequência para a escolha da frequência na aba amortecimento-TF.

É possível usar os recursos de ajuste para melhor visualização, assim como realizar a exportação do gráfico, conforme descrito no item **8.1.5 Espectro e pré-processamento do sinal**.

O segundo gráfico que aparece neste módulo corresponde à amplitude em função do tempo (atenuação do sinal).

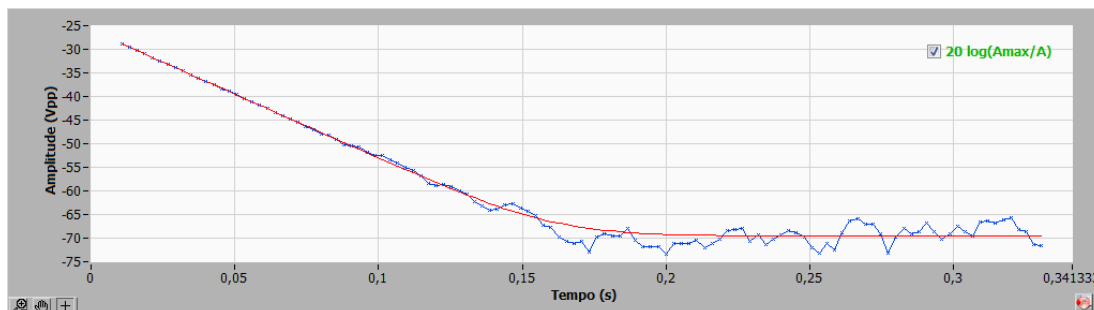


Figura 48. Gráfico de amplitude vs. tempo, representando a atenuação do sinal em escala logarítmica.

É possível escolher a visualização do gráfico entre a escala logarítmica e a escala linear (opção "20 log(Amax/A)"). Na Figura 48 temos um exemplo na escala logarítmica, enquanto na Figura 49 o mesmo gráfico encontra-se em escala linear.

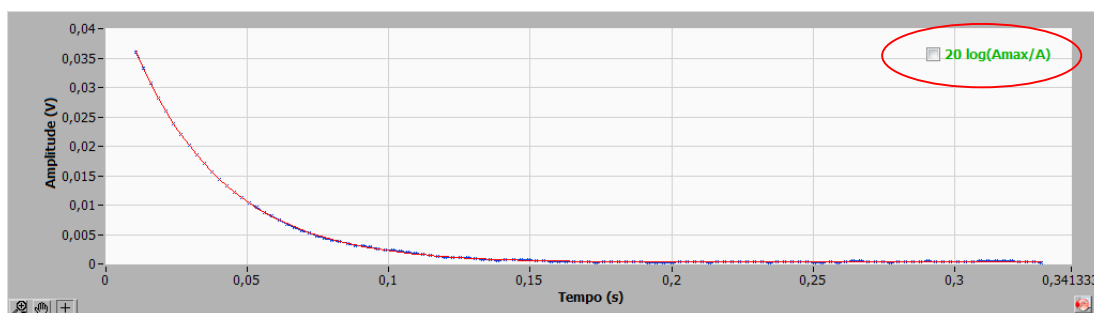


Figura 49. Exemplo do gráfico da amplitude vs tempo em escala linear (não logarítmica).

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 taxa de atenuação do sinal ("Taxa de perda (dB/s)") e o parâmetro de ajuste da curva ("S (Ad.)") (Figura 50).

N	Frequência (Hz)	Amorteci. (Ad. E-6)	Fator Q (Ad.)	Taxa de perda (dB/s)	S (Ad.)
1	4999,968	992,8	503,6	1985,6	1,0
2	10000,091	1003,6	498,2	2007,3	1,0
3	13000,283	1001,9	499,1	2003,7	1,0

Figura 50. Tabela com os valores de frequência, amortecimento, fator de qualidade, taxa de perda e parâmetro de ajuste.

Ajustes na curva de decaimento exponencial são feitos através do parâmetro “S” (parâmetro de ajuste da curva), o qual indica o número de pontos que foi empregado no ajuste da curva para o cálculo do amortecimento e também permite a seleção do início e do final do sinal analisado.

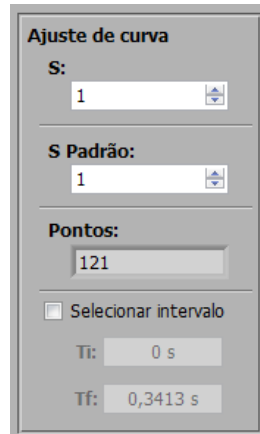


Figura 51. Seção para ajuste do parâmetro “S”, que indica o número de pontos e permite a seleção da faixa de sinal a ser analisada.

É possível selecionar uma região do gráfico de forma que o cálculo do amortecimento seja feito dentro deste limite. Para isto, basta habilitar a opção “Selecionar 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 52 e 53 representam estes ajustes.

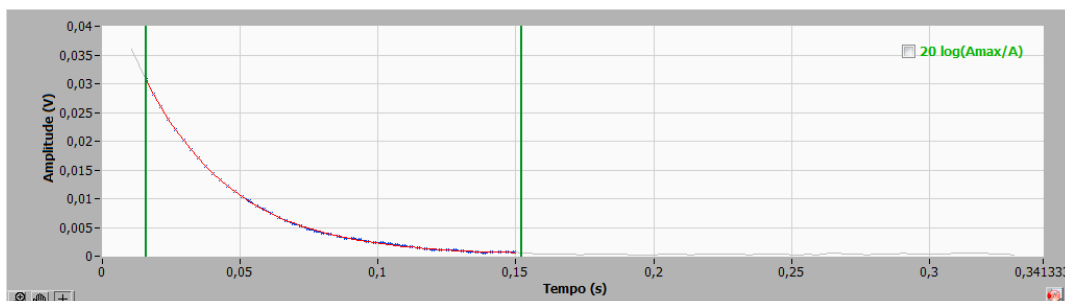


Figura 52. Gráfico da amplitude em função do tempo com a função “Selecionar intervalo” ativada.

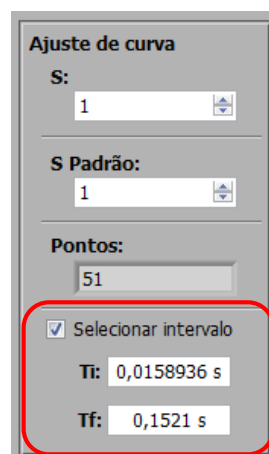


Figura 53. Área de seleção da região de processamento dos cálculos “Selecionar intervalo”.

Nota:

Diferença entre “Amortecimento” e “Amortecimento-TF”

No Amortecimento, o ajuste da curva exponencial é realizado sobre a resposta acústica captada pelo sensor e no Amortecimento-TF, sobre a amplitude de um determinado pico/frequência em função do tempo. No Amortecimento a presença de outras frequências pode afetar o ajuste da curva, enquanto que no 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 Módulo: Resultados – processamento dos resultados

Aba referente ao armazenamento dos resultados:

RESULTADOS

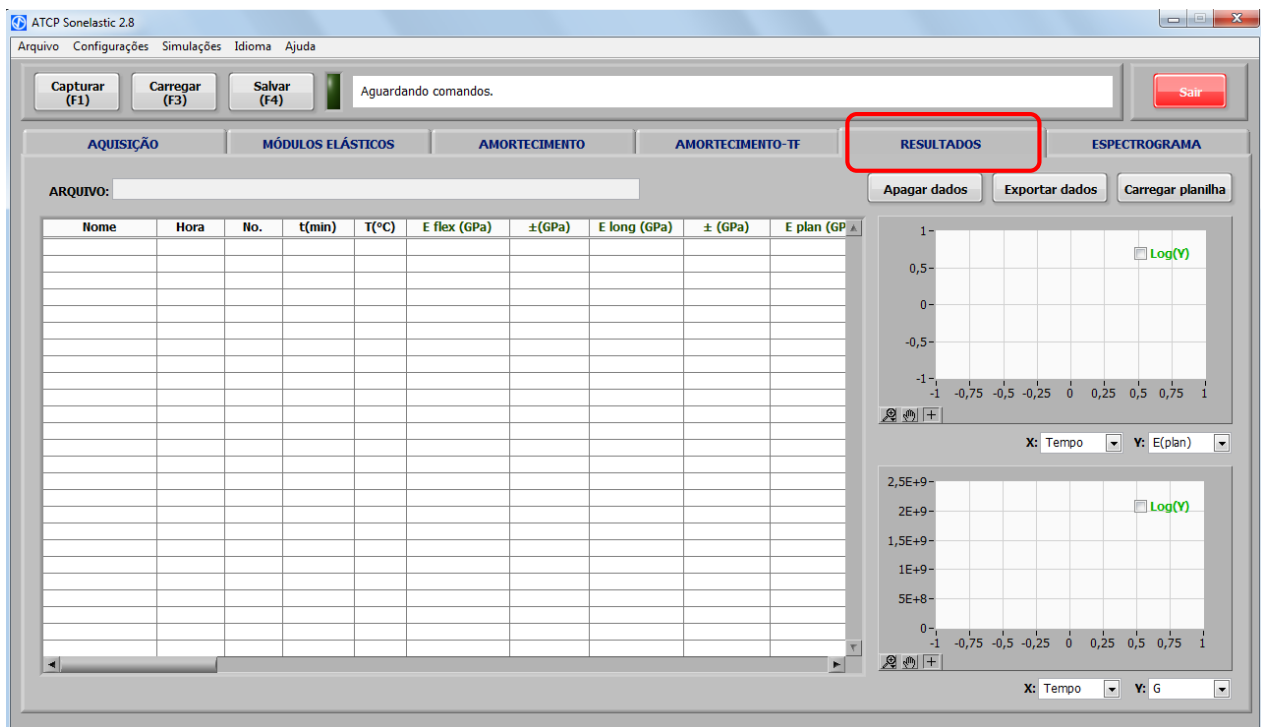


Figura 54. Tela do Software Sonelastic® - aba de armazenamento dos resultados em destaque.

Este módulo permite exportar os resultados para uma tabela que poderá posteriormente ser lida e trabalhada no Programa Excel. Para exportar os resultados para esta tela 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 “OK”.

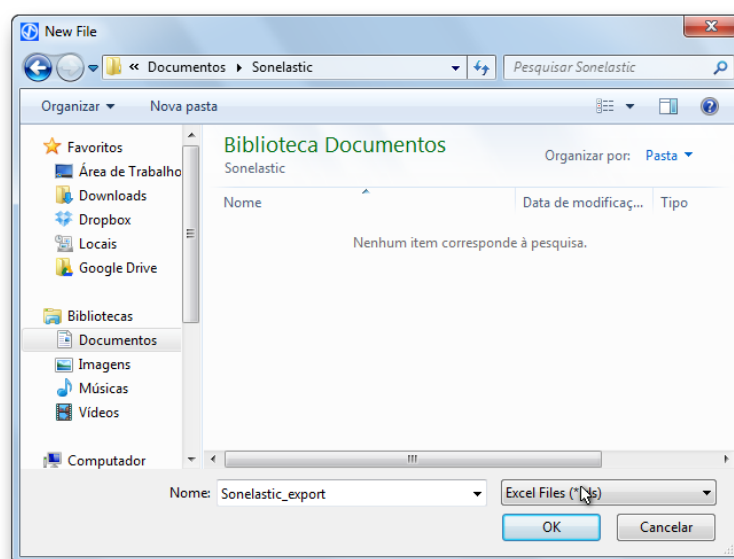


Figura 55. Janela de diálogo mostrando onde será feito o registro do arquivo.

Os dados da medição aparecerão na tabela da aba "Resultados".

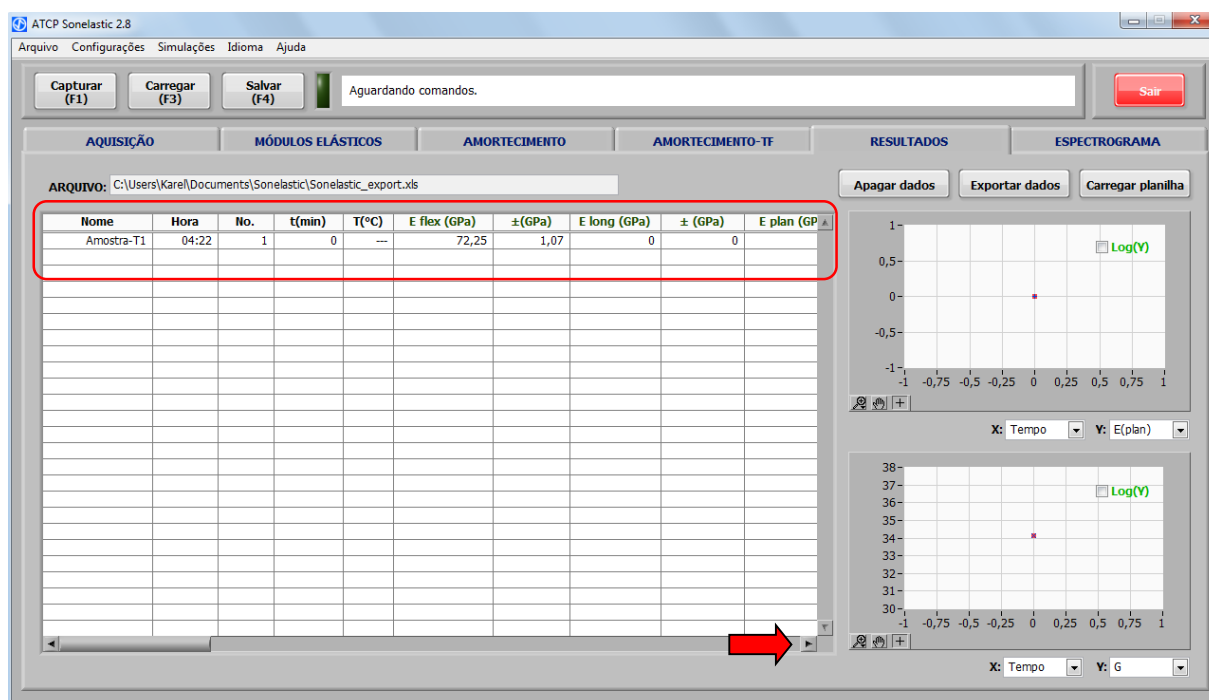


Figura 56. Tela do Software Sonelastic® com os dados da medição na tabela exportada.

Nota: A opção "Exportar dados" exporta os resultados da medição para a planilha do Software Sonelastic® e salva um arquivo para ser lido posteriormente pelo programa Excel. Apesar disso, 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 dados da medição estarão contidos na tabela que será exportada para o Excel. A Figura 56 mostra alguns destes dados: nome da amostra ("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)"), incerteza ("±(GPa)"), módulo de elasticidade longitudinal ("E long (GPa)") e módulo de elasticidade planar ("E plan (GPa)").

Demais valores disponíveis na tabela são: módulo de cisalhamento ("G (GPa)"); incerteza ("±(GPa)"); coeficiente de Poisson ("μ (Ad.)"); incerteza ("±(GPa)"); frequência utilizada para calcular o amortecimento ("F. Amortecimento (Hz)"); amortecimento no domínio do tempo ("Amortecimento (Ad.)"); amplitude ("A (V)"); etc. podem ser vistos clicando na seta para correr a planilha (Figura 56).

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

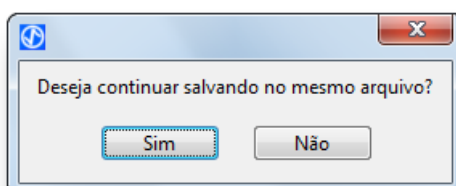


Figura 57. Janela com a opção de continuar ou não salvando as medições no mesmo arquivo.

Se sim, o usuário deverá 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 do Excel será criada e salva em outro arquivo.

Caso queira apagar o último resultado, basta clicar na opção "Apagar dados"

Apagar dados

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

Na Figura 58, está representado um gráfico do módulo de Young ("E(flex)") em função do tempo de medição ("Tempo"). O único ponto de medição está representado.

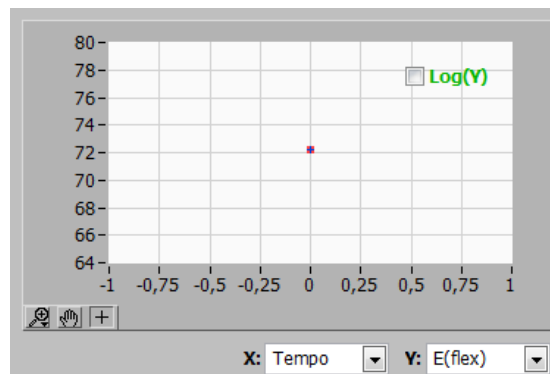


Figura 58. Gráfico do módulo de Young ("E(flex)") vs. tempo ("Tempo").

Já a Figura 59 apresenta um exemplo do gráfico do amortecimento no domínio da frequência ("TFD") vs. tempo ("Tempo"). Apenas um ponto está representado neste gráfico.

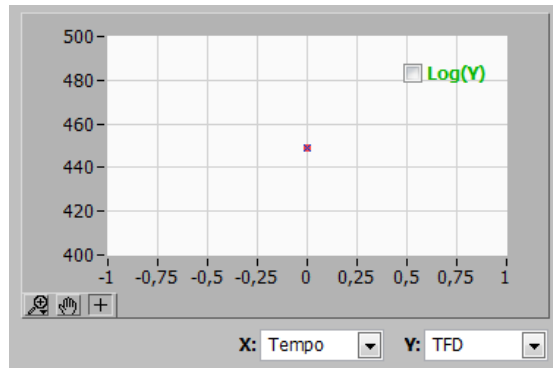


Figura 59. Gráfico do amortecimento no domínio da frequência ("TFD") vs. tempo ("Tempo").

Os gráficos podem ser representados na escala logarítmica selecionando-se 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 (Figura 60).

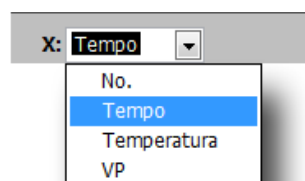


Figura 60. Parâmetros a serem plotados no eixo x.

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 de cisalhamento ("G"), velocidade do som no modo planar ("Vp") e velocidade do som no modo cisalhamento ("Vs"). Para selecionar a opção desejada, escolha a variável desejada na lista (Figura 61).

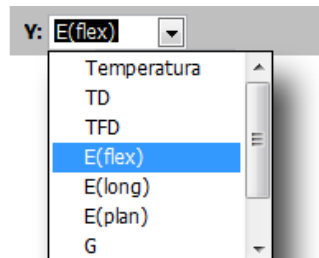


Figura 61. Parâmetros a serem plotados no eixo Y.

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".

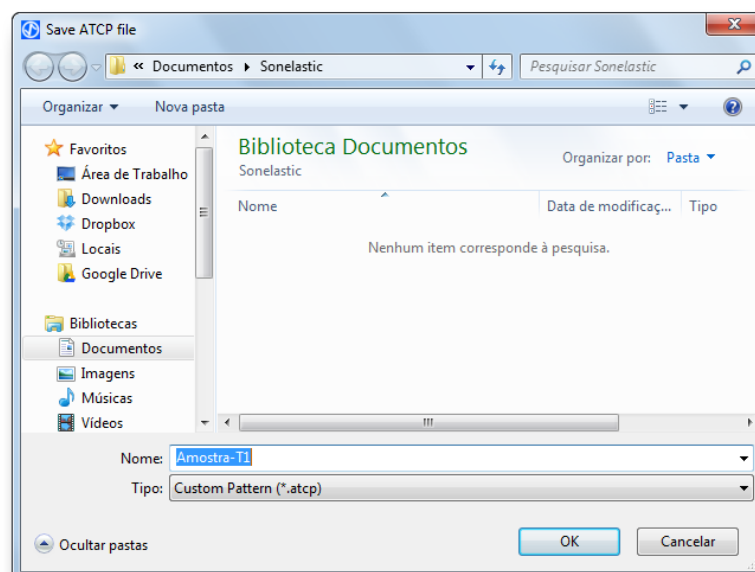


Figura 62. Janela de diálogo mostrando onde o arquivo será salvo.

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



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

Nota: Os arquivos salvos só poderão ser lidos quando o Software Sonelastic® estiver em execução através da opção "Carregar (F3)". Os mesmos não poderão ser lidos em computadores nos quais não haja o Software Sonelastic® instalado, diferentemente das tabelas geradas pela opção "Exportar dados", que poderão ser lidas por qualquer computador que possua o programa Excel instalado.

8.6 Módulo: Espectrograma - visualização do espectrograma do sinal

Aba de visualização 3D do sinal.

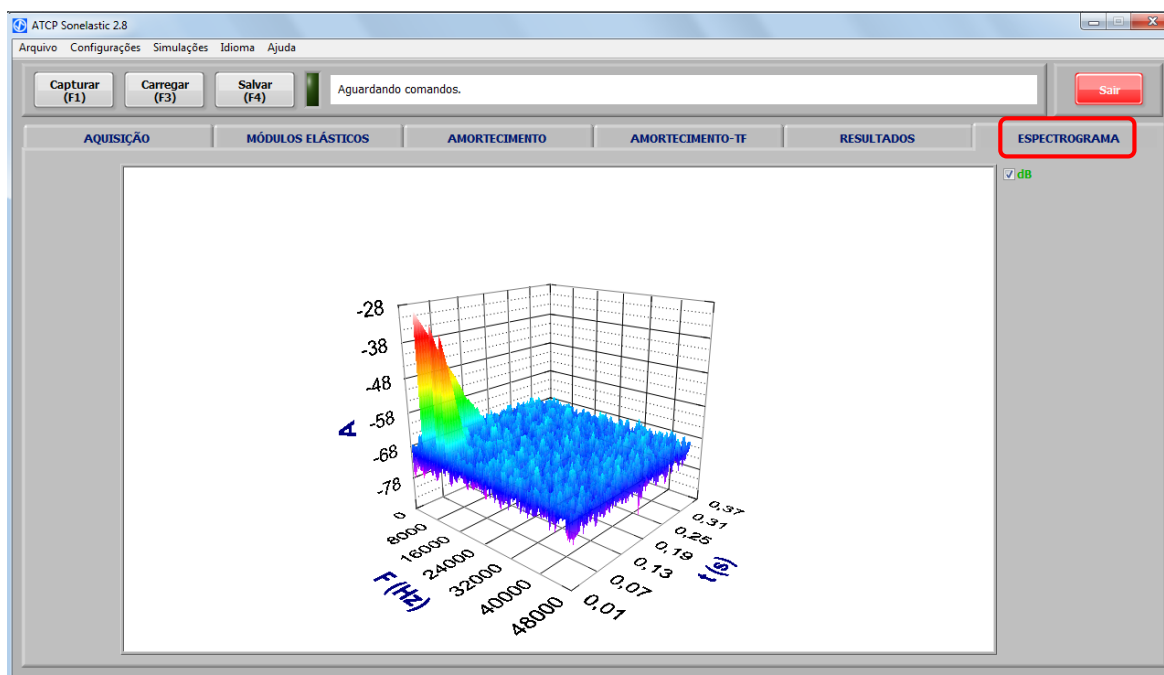


Figura 63. Tela do Software Sonelastic® - Aba de visualização 3D do sinal em destaque.

No módulo "Espectrograma" é apresentado um espectrograma 3D (Amplitude vs. tempo vs. 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.

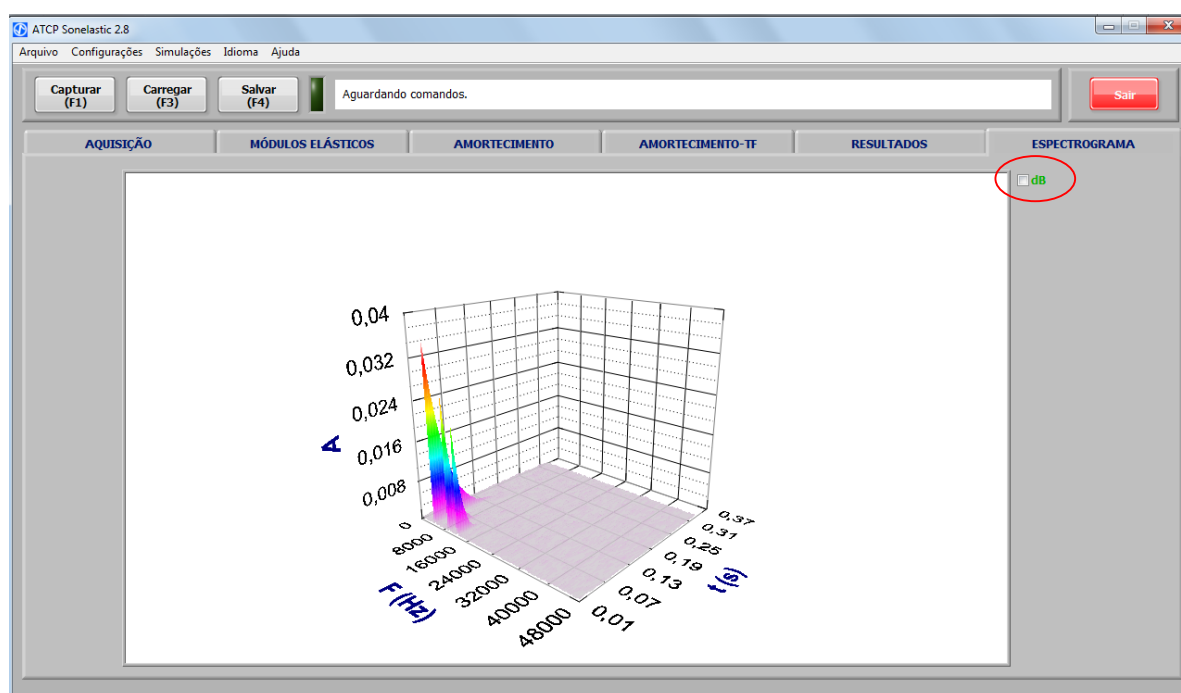


Figura 64. Visualização do gráfico 3D em escala logarítmica.

8.7 Modo de aquisição automático

Nota: para a utilização do modo de aquisição automático é necessário a presença do Sistema Pulsador Sonelastic IED.

No modo de aquisição automático é possível programar o Software Sonelastic®, de forma que as medidas sejam feitas automaticamente durante um tempo previamente definido. 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" (Figura 65).

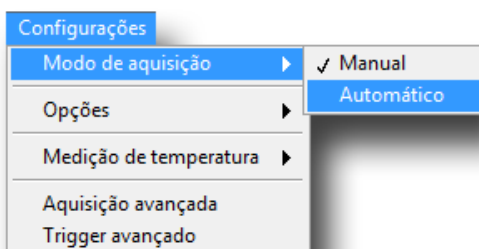


Figura 65. Menu para escolha do modo de aquisição automático.

Após a seleção do Modo Automático, as opções no alto da tela serão alteradas e ficarão de acordo com a Figura 66.

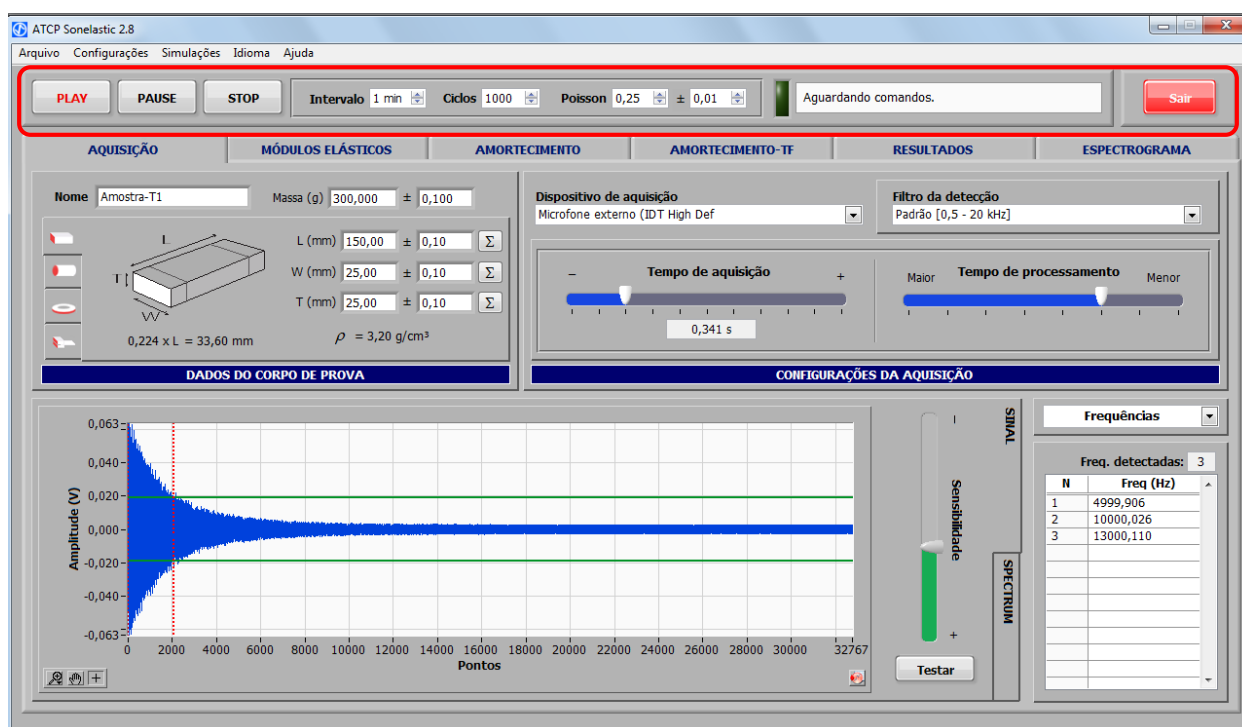


Figura 66. Tela do Software Sonelastic® com o modo de aquisição automático em destaque.

Neste modo de aquisição, o usuário deve configurar o intervalo das medições, o número de ciclos e o coeficiente de Poisson da amostra a ser medida. Os ajustes podem ser feitos através das setas, para cima e para baixo, ao lado de cada uma das opções: intervalo ("Intervalo"), ciclos ("Ciclos") e coeficiente de Poisson ("Poisson"), como mostra a Figura 67.

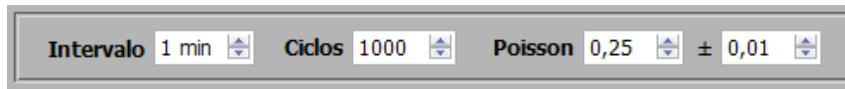


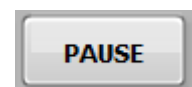
Figura 67. Detalhes de ajustes do modo de aquisição automático.

Imediatamente após clicar no “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® se altera para “Medindo automaticamente, ciclo 1”. Esta mensagem mudará automaticamente conforme o ciclo das medições vão sendo alcançados.

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.

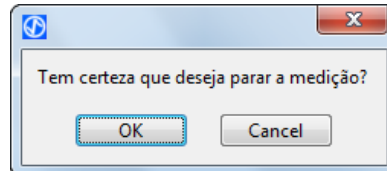


Figura 68. Janela de diálogo mostrando a opção de cancelar uma medição.

Se o usuário deseja interromper a medição, clique em “OK”, senão clique 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 e poderá ser lida e modificada posteriormente pelo software Excel.

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.

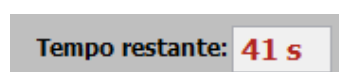


Figura 69. Contagem regressiva para que ocorra a próxima medição no modo de aquisição automático.

Cada ponto aparecerá nos gráficos da aba "Resultados" (item **8.5 Módulo: Resultados – processamento dos resultados**).

Nome	Hora	No.	t(min)	T(°C)	E flex (GPa)	±(GPa)	E long (GPa)	± (GPa)	E plan (GP
Amostra-T1	05:55	1	0	---	72,89	1,08	0	0	
Amostra-T1	05:56	2	1	---	72,89	1,08	0	0	
Amostra-T1	05:56	3	1	---	72,9	1,08	0	0	
Amostra-T1	05:57	4	2	---	72,9	1,08	0	0	
Amostra-T1	05:58	5	3	---	72,9	1,08	0	0	

Figura 70. 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 está representado 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").

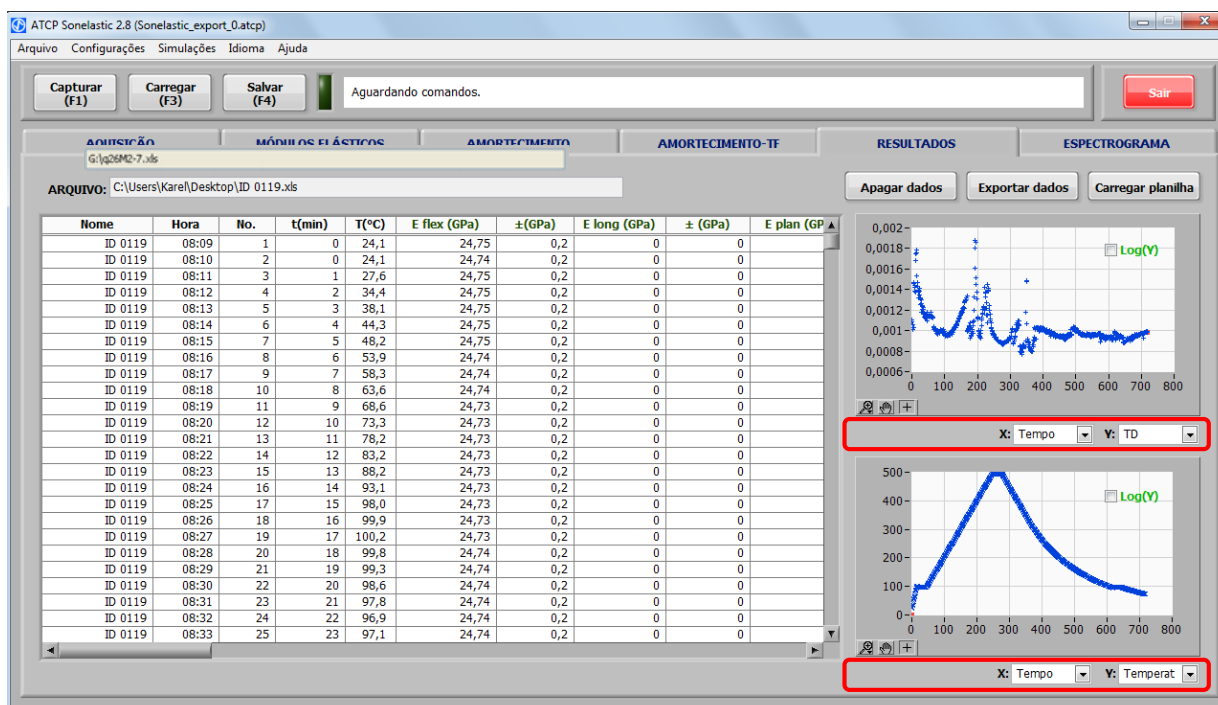


Figura 71. Tela do Software Sonelastic® - dados de medição automática em função da temperatura e os gráficos gerados.

A Figura 72 ilustra uma planilha gerada pelo Software Sonelastic®. Este formato de exportação dos dados aumenta a facilidade de uso e praticidade para o posterior tratamento dos dados.

Amostra-T1 [Modo de Compatibilidade] - Microsoft Excel																	
Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Suplementos																	
Calibri 11 Arial																	
Fonte Alinhamento Número																	
Formato Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células Classificar e Filtrar Seleção Edição																	
AA6 7,5																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	Name	Time	n°	t (min)	T (°C)	E flex (GPa)	E long (GPa)	E long (GPa)	E plan (GPa)	G (GPa)	μ (Ad.)	F. Damping (Hz)	Damping (J)				
1	Amostra-T1	05:55	1	0	---	72,89	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,8	0,00
2	Amostra-T1	05:56	2	1	---	72,89	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,8	0,00
3	Amostra-T1	05:56	3	1	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000,1	0,00
4	Amostra-T1	05:57	4	2	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
5	Amostra-T1	05:58	5	3	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000	0,0
6	Amostra-T1	05:59	6	4	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000	0,0
7	Amostra-T1	06:00	7	5	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
8	Amostra-T1	06:02	8	6	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
9	Amostra-T1	06:02	9	7	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
10	Amostra-T1	06:03	10	8	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000,1	0,0
11	Amostra-T1	06:04	11	9	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
12	Amostra-T1	06:05	12	10	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000,1	0,00
13	Amostra-T1	06:07	13	12	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000,1	0,00
14	Amostra-T1	06:08	14	13	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000	0,00
15	Amostra-T1	06:09	15	14	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
16	Amostra-T1	06:10	16	15	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
17	Amostra-T1	06:11	17	16	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
18	Amostra-T1	06:12	18	17	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
19	Amostra-T1	06:13	19	18	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000	0,00
20	Amostra-T1	06:14	20	18	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
21	Amostra-T1	06:15	21	20	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,00
22	Amostra-T1	06:16	22	21	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	5000	0,00
23	Amostra-T1	06:17	23	22	---	72,90	1,08	0	0	0	0	0	0	0,25	0,01	4999,9	0,0
24																	
25																	
26																	
27																	
Pronto Sheet1 Sheet2 Sheet3																	

Figura 72. Exemplo de tabela gerada pelo Software Sonelastic®, lida pelo programa Excel.

8.8 Menu Arquivo

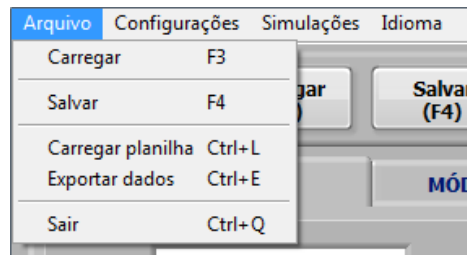


Figura 73 - Menu Arquivo.

O menu "Arquivo" possui uma forma alternativa e rápida para acessar os principais recursos referentes ao processo de salvar e carregar arquivos, bem como carregar ou exportar dados para uma planilha. Ou seja, neste campo é possível realizar as principais ações para gerenciar os arquivos gerados pelo Software Sonelastic®.

Para carregar um arquivo previamente salvo, 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

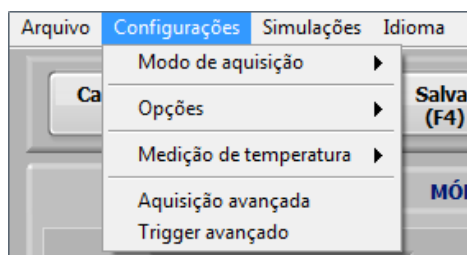


Figura 74 - Menu Configurações.

No menu "Configurações" é possível fazer ajustes no modo de aquisição do sinal (manual ou automático), ajustar as configurações de aquisição, habilitar o Software de forma a reportar os valores de velocidade, ajustar as configurações de medições em função da temperatura e, por fim, realizar ajustes finos nas configurações de processamento e aquisição dos dados.

8.9.1 Modo de aquisição

O modo de aquisição pode ser feito de forma "Manual" conforme descrito nos itens **8.1 a 8.6**. Assim como de forma "Automática" conforme descrito no item **8.7 Modo de aquisição automático**.

O modo de aquisição automático é recomendado para usuários que desejam realizar medidas seriadas em função do tempo e/ou temperatura (caso haja um sistema de medição acoplado). O modo automático é aplicado aos usuários que possuam o Sistema Pulsador Sonelastic IED.

8.9.2 Opções

No menu “Configurações” existem duas “Opções” principais com relação aos resultados: “Permitir valores nulos para erros” e “Mostrar Valores de Vp e Vs”.

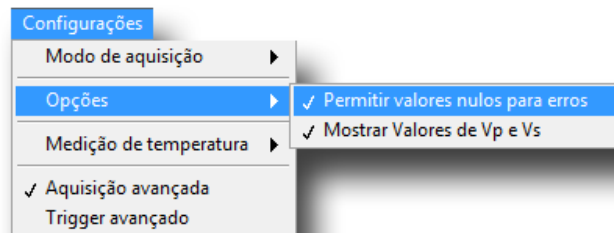


Figura 75. Representação das “Opções” presentes no Menu “Configurações”.

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.

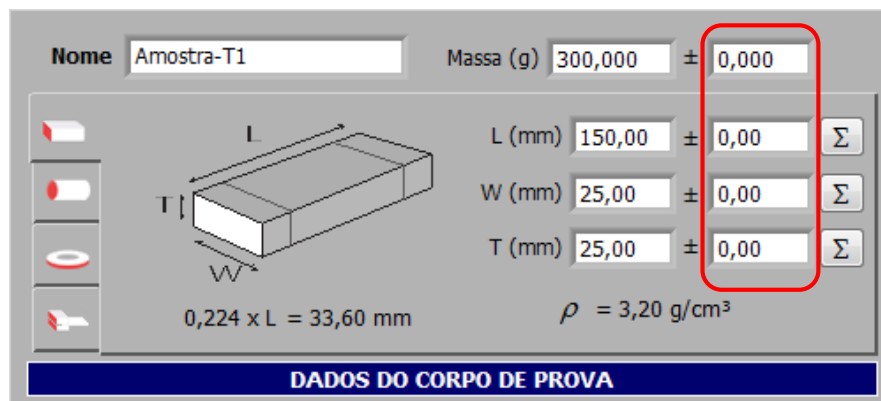


Figura 76. Módulo para inserção dos dados do corpo de prova a ser ensaiado com os valores das incertezas iguais a zero.

Se a opção “Permitir valores nulos para erros” estiver desativada, o usuário precisa necessariamente digitar algum valor no campo das incertezas, caso contrário, o Software não permitirá o prosseguimento para a aba de cálculo dos módulos elásticos e mostrará a seguinte mensagem.

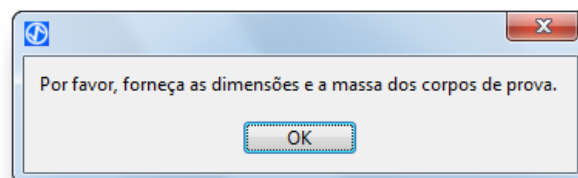


Figura 77. Janela de diálogo do Software quando a opção “Permitir valores nulos para erros” está desativada e o usuário tenta passar para a tela de cálculo dos módulos elásticos.

A opção “Mostrar valores de Vp e Vs” exibe juntamente com os valores dos módulos elásticos, os valores da velocidade do som para o modo planar (“Vp”) e velocidade do som para o modo cisalhamento (“Vs”).

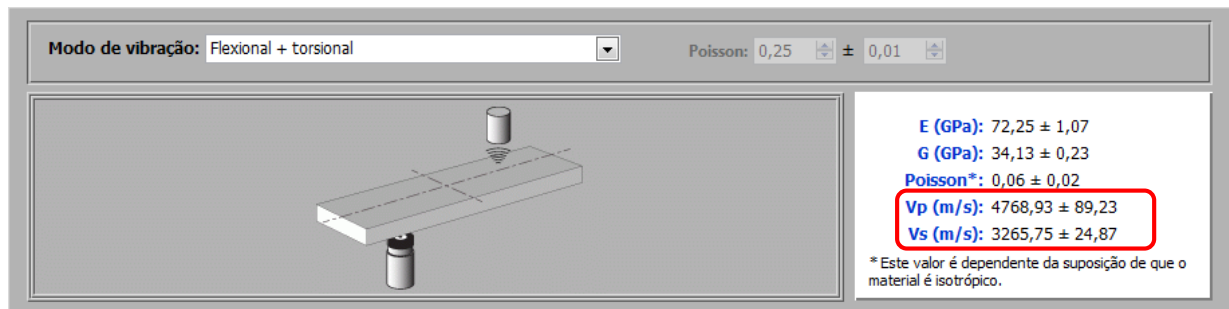


Figura 78. Seção dos módulos elásticos juntamente com os valores da velocidade do som para o modo planar ("Vp") e velocidade do som para o modo cisalhamento ("Vs").

8.9.3 Medição de temperatura

Neste campo, é importante configurar a fonte de dados referente às medições em função da temperatura. Para isso, escolha a opção que represente a forma de comunicação do controlador do Forno que realizará o ensaio.

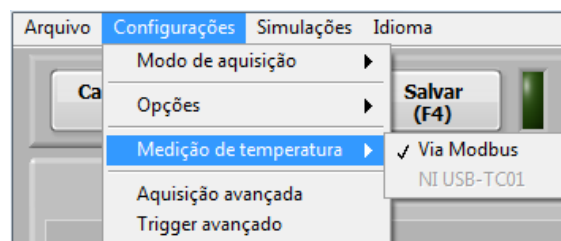


Figura 79 – Representação do campo "Medição de temperatura" presente no Menu "Configurações".

8.9.4 Aquisição avançada

O modo de "Aquisição avançada" permite que ajustes finos sejam feitos de forma a possibilitar ou refinar medições com relação ao processamento do som.

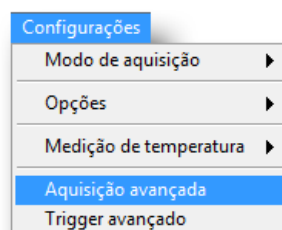
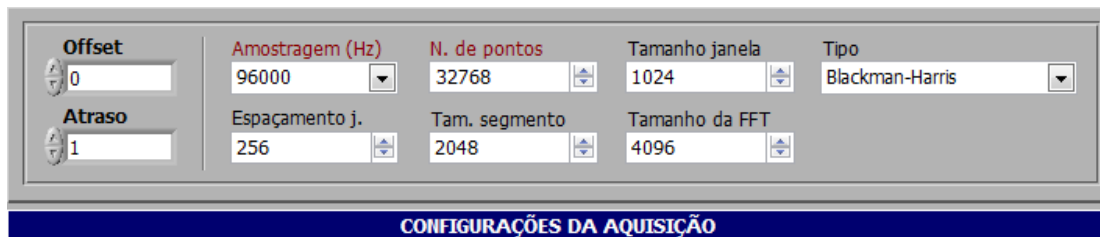


Figura 80. Menu para seleção do modo de aquisição avançada.

Assim que esta opção é habilitada, uma nova tela aparecerá no campo "Configurações da aquisição" no módulo de "Aquisição". Esta nova tela contém ajustes finos avançados referentes ao processamento do sinal.

Este recurso somente deve ser utilizado para usuários avançados do Software Sonelastic®.



Offset 0	Amostragem (Hz) 96000	N. de pontos 32768	Tamanho janela 1024	Tipo Blackman-Harris
Atraso 1	Espaçamento j. 256	Tam. segmento 2048	Tamanho da FFT 4096	

CONFIGURAÇÕES DA AQUISIÇÃO

Figura 81. 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". 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**).

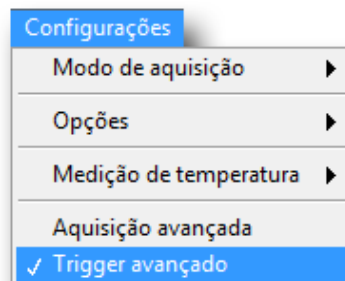
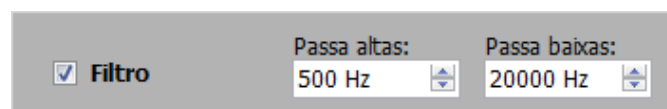


Figura 82. Menu para seleção da opção "Trigger avançado".

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". Se o usuário não quiser aplicar nenhum filtro, basta desativar a opção "Filtro".



☒ **Filtro**

Passa altas: 500 Hz

Passa baixas: 20000 Hz

Figura 83. Seção para ajuste da janela de frequências em "Filtro".

8.10 Menu Simulações

O Software Sonelastic® permite que o usuário estime quais são as frequências fundamentais de vibração de uma determinada amostra a partir de suas características. Para selecionar esta opção, clique no menu "Simulações".

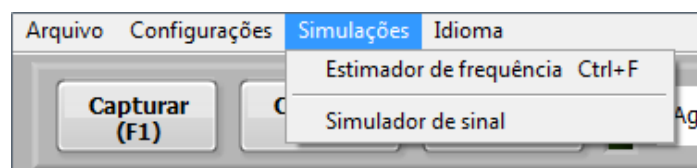


Figura 84. Menu para simulações no Software.

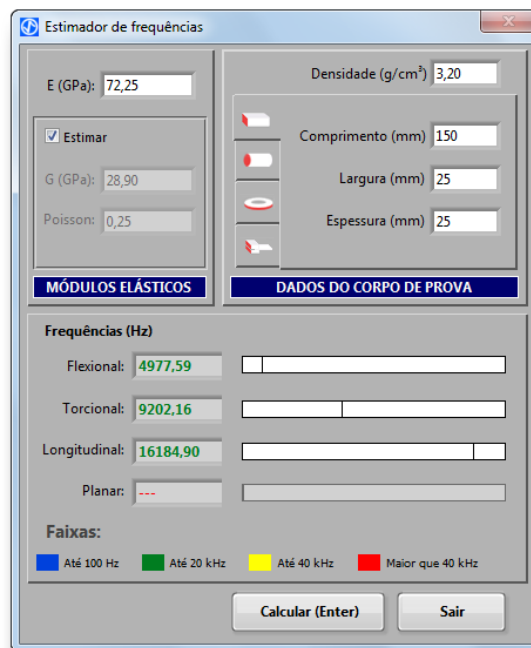
Há duas opções neste menu: “Estimador de frequência” e “Simulador de sinal”. A primeira opção possibilita ao usuário estimar as frequências naturais fundamentais de vibração flexional, torcional, longitudinal e planar de um determinado corpo de prova. Já a segunda opção foi criada para uso exclusivo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

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. Preencha os campos destinados ao módulo de elasticidade aproximado do material (GPa), à densidade (g/cm³) 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 (μ) para o cálculo da frequência fundamental torcional. Caso a opção esteja habilitada, o Software considerará que o módulo de cisalhamento do material é igual a 0,4E e o coeficiente de Poisson igual a 0,25. Caso seu corpo de prova não atenda a estes valores, é possível desabilitar esta função e definir valores diferentes para estas propriedades.

Após adicionadas todas as informações necessárias, clique em “Calcular (Enter)”.

O Software informará um valor aproximada para as frequências flexional, torcional e longitudinal para barras retangulares e cilindros; somente flexional para barras engastadas; e, somente planar para discos e anéis.



Estimador de frequências

E (GPa): 72,25 Densidade (g/cm³): 3,20

☒ Estimar

G (GPa): 28,90 Comprimento (mm): 150

Poisson: 0,25 Largura (mm): 25

 Espessura (mm): 25

MÓDULOS ELÁSTICOS **DADOS DO CORPO DE PROVA**

Frequências (Hz)

Flexional: 4977,59

Torcional: 9202,16

Longitudinal: 16184,90

Planar: ---

Faixas:

■ Até 100 Hz ■ Até 20 kHz ■ Até 40 kHz ■ Maior que 40 kHz

Calcular (Enter) Sair

Figura 85. 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 (veja o item **8.9.4 Modo de aquisição avançada**) para serem captadas. Frequências acima de 96 kHz (cor vermelha) necessitam de captadores acústicos especiais para serem detectadas.

Nota: O Captador acústico direcional da ATCP está apto a captar frequências até 96 kHz.

Este simulador permite que o usuário estime se a amostra que deseja medir apresentará frequências detectáveis pelo Software e sendo assim, é possível estabelecer, por exemplo, um tamanho padrão de amostras. Além disso, o “Estimador de frequências” auxilia o usuário na verificação da frequência aproximada que determinado corpo de prova irá vibrar para o modo de vibração desejado.

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”. As opções disponíveis são: Inglês e Português (Figura 86).

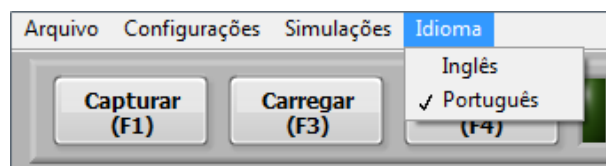


Figura 86 - Menu "Idioma".

8.12 Sair do Software

Para fechar a janela correspondente ao Software Sonelastic®, clique na opção “Sair” presente no canto superior direito da interface principal ou escolha a opção “Sair” presente no menu “Arquivo”.

É altamente recomendado que o Software Sonelastic® seja fechado por uma das opções descritas acima.

9. Advertências

- ▲ A leitura de todas as 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 conforme especificado pela concessionária responsável pelo fornecimento de energia local.
- ▲ O não cumprimento das instruções descritas neste manual durante a utilização do Software Sonelastic® poderá fazer com que o período de garantia estabelecido pelo fabricante seja reduzido ou cancelado.

10. Solução de problemas

Problema	Possível Causa	Solução
O Software não inicia.	Instalação incorreta do Software.	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 Sonelastic IED ou outro item opcional conectado ao sistema.	O Pulsador (ou outro item) foi conectado após a inicialização do Software.	Retire o Pulsador (ou o outro item) da correspondente entrada e reinicie o Software. Conecte-o novamente e clique na opção "Testar" correspondente ao Pulsador (ou o outro item).
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 foi detectado pelo Software.	A escala ("Sensibilidade") está incorreta.	Modifique a escala ("Sensibilidade") para que o Software consiga capturar o sinal emitido pelo corpo de prova.
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 algum dos itens opcionais.	Pause a medição por um breve instante e depois retorne.
Durante uma medição automática em função da temperatura o Software parou de marcar 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.	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 para o tipo de corpo de prova que está sendo medido.
	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 para análise e realização dos reparos.

12. Termo de garantia

A ATCP Engenharia Física oferece para este software a garantia de 12 meses, a partir da data de compra, contra defeitos que nele se apresentar.

Fatores que implicam 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.

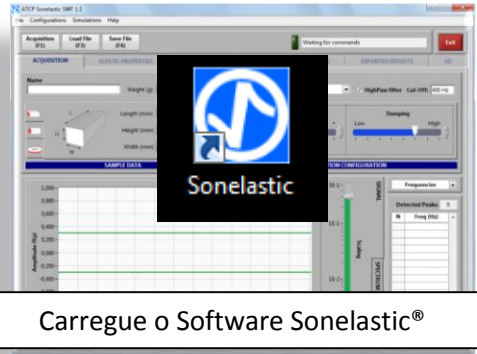
Após o vencimento do período de garantia, todos os serviços e despesas serão cobrados conforme norma vigente da empresa.

13. Termo de responsabilidade

A empresa ATCP Engenharia Física 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®

1



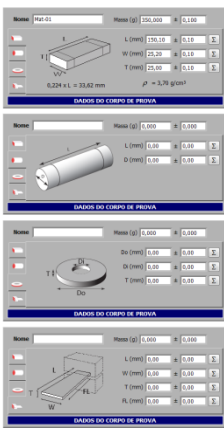
Carregue o Software Sonelastic®

2

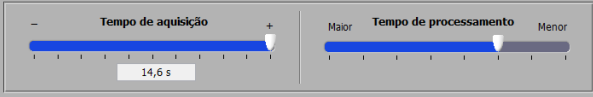
ACQUISITION

Escolha a geometria da amostra: barra retangular, cilindro, anel ou barra engastada.

Insira o nome, as dimensões e a massa com as respectivas incertezas.



3



Calibre a duração do sinal ("Tempo de aquisição") e o "Tempo de processamento".

4

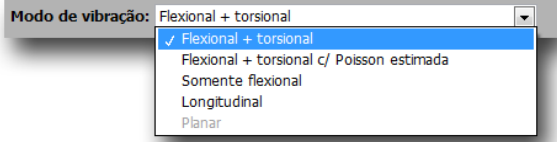
Capturar (F1)



Faça a aquisição do sinal clicando na opção "Capturar (F1)".

5

MÓDULOS ELÁSTICOS



Na aba "MÓDULOS ELÁSTICOS" escolha o tipo de análise a ser realizada.

6

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				

Selecione a(s) frequência(s).

7

AMORTECIMENTO

AMORTECIMENTO-TF

Passe para as abas de cálculo do amortecimento: "AMORTECIMENTO" e "AMORTECIMENTO-TF".

8

RESULTADOS

Passe para a aba de processamento dos resultados ("RESULTADOS") e exporte os dados através do botão "Exportar dados".

Exportar dados

9

Salvar (F4)



Mais informações em:

www.atcp.com.br

Pág. 80 de 88

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

• 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

• 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):

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

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_l = Frequência fundamental para a barra em modo longitudinal (Hz)

K = Fator de correção

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

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

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

- 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

- 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;	β = beta;
d = diâmetro externo (mm);	γ = gamma;
t = espessura (mm);	δ = delta;
h = diâmetro interno (mm);	ε = épsilon;
m = massa (g);	ω = ômega;
f = Frequência;	ψ = psi;
α = alpha;	μ = 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 o modo longitudinal (Vp)

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

- Cálculo da incerteza para a velocidade do som no modo longitudinal (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 os modos Flexionais e Longitudinais para Cilindros e barras

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

6. Cálculo da velocidade do som para o modo de cisalhamento (Vs)

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

- Cálculo da incerteza para a velocidade do som no modo de cisalhamento (Vs)

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

7. Cálculo dos desvios através da interface auxiliar



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

Onde:

Desvio = *Desvio padrão*;

P = *precisão do instrumento*.

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 ζ 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, φ é a fase inicial da vibração e ω_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 2π 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 (φ)

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

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

$$\tan(\varphi) = 2\zeta \quad (E)$$

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

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

[illegible]