



SOLUÇÕES SONELASTIC®

Soluções Sonelastic®

Sonelastic® é uma linha de soluções em instrumentação, desenvolvida pela ATCP – Engenharia Física, para a caracterização não-destrutiva dos módulos de elasticidade e do amortecimento de materiais a partir das frequências naturais de vibração obtidas pela técnica de excitação por impulso. Nesta técnica o corpo de prova sofre um impacto de curta duração que o induz a uma resposta acústica composta por uma ou mais frequências naturais de vibração, a partir das quais é calculado o módulo de Young, e também pode ser calculado o módulo de

cisalhamento e o coeficiente de Poisson (dependendo dos modos de vibração excitados). O amortecimento é calculado a partir do decremento logarítmico da amplitude de vibração para cada modo de vibração.

O Sonelastic® atende Normas ASTM E 1876, C215 e correlatas e seus itens e acessórios possibilitam a caracterização em função do tempo, tanto em temperatura ambiente quanto para altas e baixas temperaturas, sendo adequado para uma ampla gama de materiais.

Caracterização não-destrutiva dos Módulos Elásticos e do Amortecimento.



Tecnologias Sonelastic®

O Sonelastic® possui duas tecnologias para a determinação dos Módulos Elásticos e Amortecimento, são elas:

- PC-Based: no qual um software realiza o processamento do sinal. Permite medições múltiplas em função do tempo e salvar/exportar resultados em formatos amigáveis. Especialmente aplicável em pesquisas e desenvolvimento e controle de qualidade avançado.

- Stand Alone: no qual o software encontra-se embarcado em um hardware. Aplicável na indústria e em casos onde a vinculação do sistema de medida com um computador não é conveniente ou desejada.



PC Based



Stand Alone

A ATCP oferece diversos tipos de suportes de corpos de prova e acessórios que possibilitam medições de diversos tipos de materiais e dimensões. Se as configurações usuais não atenderem suas necessidades, desenvolvemos itens sob demanda.

Exemplos de caracterizações com o Sonelastic®:

- Classificação de madeiras (vigas, dormentes de madeira colada, chapa de partículas aglomeradas);
- Caracterização de concretos e materiais cimentícios;
- Avaliação do dano por choque térmico em concretos refratários;
- Caracterização para simulações de biomateriais (cerâmicas a base de zircônia, cerâmicas feldspáticas e cimentos resinosos).

Validação do Sonelastic® para a classificação de madeiras

A ATCP - Engenharia Física realizou com o Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM)* da EESC-USP, em parceria com o Engenheiro Dr. Pedro Gutemberg e o Prof. Dr. Carlito Calil Jr., uma série de ensaios para determinação do módulo de elasticidade de madeiras utilizando o **Sonelastic® Stand Alone**. Os ensaios incluíram vigas de Pinnus Oocarpa e Eucalipto Citriodora, chapas de partículas aglomeradas e dormentes de madeira colada; bem como o estudo da influência do apoio dos corpos de prova e a reprodutibilidade do equipamento.



Figura 1. Exemplo de uma viga de Pinnus Oocarpa sendo classificada.

*Link: <http://www.set.eesc.usp.br/lamem/> (LaMEM - Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras).

A Fig.1 apresenta um exemplo de uma viga ensaiada e o gráfico (Fig. 2), os resultados comparativos dos valores do módulo de elasticidade obtido de três maneiras diferentes: com o **Sonelastic®**, com o equipamento Metriguard (vibração transversal) e por flexão estática. Os resultados mostram a coerência entre os três métodos de ensaio, ficando portanto, validado o uso do **Sonelastic®**, na caracterização do módulo de elasticidade de amostras anisotrópicas.

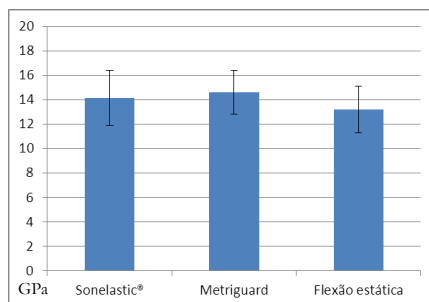


Figura 2. Resumo dos resultados obtidos para o módulo de elasticidade longitudinal através de três métodos diferentes: com o Sonelastic®, com o equipamento Metriguard e via ensaio de flexão estática.

Com o Sonelastic® não é necessário um suporte de corpo de prova específico ou realizar calibrações.

Um resumo dos resultados da influência do apoio da amostra e da reprodutibilidade do **Sonelastic®**, é apresentado no tópico seguinte; onde uma viga de Pinnus Oocarpa foi medida com diferentes apoios.

Espécie	Módulo de elasticidade Sonelastic® (GPa)
Pinnus Oocarpa	14,14 ± 2,26
Pinnus Oocarpa colada	16,33 ± 2,14
Eucalipto Citriodora	17,74 ± 2,82

Tabela 1. Resultados obtidos para os módulos de elasticidade de algumas espécies classificadas.

Influência do apoio das amostras e reprodutibilidade do Sonelastic®

A Fig. 3 apresenta o início e final de uma sequência de ensaios com uma viga apoiada por duas bases metálicas que foram deslocadas das extremidades ao centro. Os resultados apresentaram um desvio padrão de apenas 0,1%.



Figura 3. Avaliação da influência do apoio na medição.

Na Fig. 4 temos o ensaio com a viga apoiada diretamente no piso. Outros pontos de apoio também foram testados e o desvio padrão foi de apenas 0,15%.

Viga apoiada diretamente no chão (concreto polido):



Figura 4. Avaliação da influência do apoio direto em diferentes pisos.

Ambos os ensaios mostram que os pontos de apoio bem como a superfície onde a amostra está apoiada possuem influência desprezível no resultado.

A reprodutibilidade do **Sonelastic®** foi medida ensaiando-se uma viga apoiada no centro dez vezes seguidas, sem mudar o apoio ou as condições mecânicas. Este tipo de ensaio apresentou um desvio padrão de apenas 0,02% representando uma alta reprodutibilidade.

Variável	Incerteza (%)
Reprodutibilidade Sonelastic®	± 0,02
Influência do apoio na medição	± 0,10
Influência do apoio direto em diferentes pisos	± 0,15

Tabela 2. Resumo dos resultados obtidos pelos ensaios de influência do apoio e reprodutibilidade.

Vantagens Soluções Sonelastic® na caracterização de madeiras

◆ Validado para madeira natural, colada e aglomerada.



Figura 5. Exemplo de dormente de madeira colada.

◆ Não necessita de suporte ou posicionamento especial.

◆ Uso amigável e *setup* rápido (< 1 minuto), não necessita de calibrações.

◆ Caracteriza o módulo de elasticidade e o amortecimento.

◆ Resultados precisos e reprodutíveis.

◆ Ensaio não-destrutivo e sem aplicação de carga ou flexão estática.

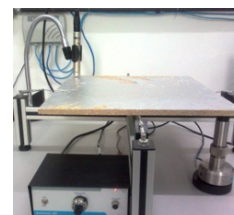


Figura 6. Exemplo de chapa de partículas aglomeradas.

Ensaio em concretos de alta resistência (ARI)

Os ensaios de caracterização dos módulos elásticos e amortecimento de concretos de alta resistência (ARI), foram realizados em parceria com o Laboratório de Engenharia de Estruturas* da EESC-USP, no contexto do trabalho de doutorado do Engenheiro Hidelbrando Diógenes, orientando da Profa. Dra. Ana Lúcia H. C. El Debs e supervisão do Prof. Mounir K. El Debs.



Figura 7. Ilustração do ensaio de um corpo de prova cilíndrico.

Foram ensaiadas amostras nos formatos prismáticos e cilíndricos e os resultados obtidos com o **Sonelastic® PC Based** foram comparados com o ensaio dinâmico usualmente realizado pelo Laboratório de Estruturas, com um sistema de aquisição ACE da Dataphysics.

Os resultados dos módulos de elasticidade obtidos com ambos os sistemas foram equivalentes: $41,72 \pm 0,53$ GPa para as amostras cilíndricas e de $44,01 \pm 0,32$ GPa para as amostras prismáticas, empregando-se o arranjo experimental, e $41,41 \pm 0,38$ GPa e $43,28 \pm 0,25$ GP respectivamente empregando-se o **Sonelastic® PC Based**.

Dada à coerência dos resultados podemos afirmar que os ensaios foram bem sucedidos e indicaram a viabilidade do emprego das **Soluções Sonelastic®** na caracterização não-destrutiva dos módulos elásticos e amortecimento de amostras de concreto.

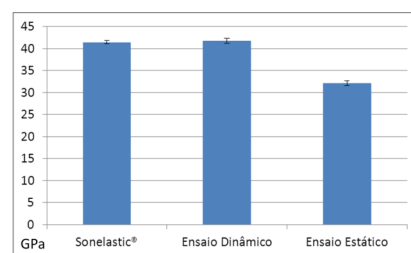


Figura 8. Resumo dos resultados obtidos para o módulo de elasticidade das amostras cilíndricas, via **Sonelastic®**, via ensaio dinâmico com acelerômetro e via ensaio estático.

O **Sonelastic®** utiliza um microfone para captação do sinal dispensando a fixação de acelerômetros.

É importante ressaltar que empregando as **Soluções Sonelastic®** não é necessário fixar nenhum acelerômetro ao concreto ou empregar dispositivos especiais para excitar o corpo de prova, o que facilita e reduz o tempo da caracterização.

Amostra	Módulo de elasticidade Sonelastic® (GPa)
Concreto ARI (cilíndrico)	$41,41 \pm 0,38$
Concreto ARI (prismático)	$43,28 \pm 0,25$
Concreto comum	$16,71 \pm 0,03$

Tabela 3. Resultados obtidos para o módulo de elasticidade das amostras ensaiadas.

*Link: <http://www.set.eesc.usp.br/labestr/> (Laboratório de Engenharia de Estruturas).

Estudo do dano por choque térmico

A resistência ao dano por choque térmico é uma característica importante dos concretos refratários, uma vez que determina o desempenho e a vida útil destes materiais em várias aplicações. O emprego de técnicas mais sensíveis e não

-destrutivas para a avaliação do dano é altamente desejável por facilitar o desenvolvimento e controle de qualidade destes materiais, e por colaborar com o avanço do entendimento das alterações microestruturais que ocorrem no material danificado.



Figura 9. Forno instrumentado para caracterização em função da temperatura.

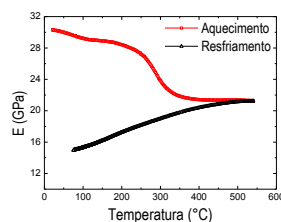


Figura 10. Módulo de Young (E) vs temperatura.

O **Sonelastic®** permite o estudo da variação do módulo de Young e amortecimento em função da temperatura.

Pensando nisto a ATCP desenvolveu com o Grupo de Engenharia de Microestrutura de Materiais (GEMM) o **Sonelastic®** para refratários através de cooperação estabelecida com o Prof. Dr. José Anchieta Rodrigues. O forno instrumentado da Fig. 9 foi desenvolvido para a caracterização dos módulos elásticos e do amortecimento em função da temperatura até 1.150 °C.

A ATCP dispõe de outros fornos sob encomenda para medições em temperaturas superiores e/ou atmosfera controlada e faz adequações sob demanda.

Caracterização de biomateriais

A ATCP e a Faculdade de Odontologia da UNESP (FOSJC)* realizaram a caracterização não destrutiva do Módulo de Young e da razão de Poisson de cerâmicas a base de zircônia (Y-TZP), cerâmicas feldspáticas e cimentos resinosos, materiais utilizados em restaurações dentárias. O ensaio faz parte do trabalho de mestrado dos cirurgiões dentistas Sabrina Feitosa e Pedro Corazza, orientandos dos Professores Dr. Marco Antonio Bottino e Dr. Álvaro Della Bona, respectivamente.

Na Fig. 11 temos uma simulação pelo Método de Elementos Finitos (FEM) da distribuição de tensões em um dente pré-molar superior restaurado com uma inlay cerâmica. Para a realização deste tipo de simulação é importante a caracterização do Módulo de Young e a razão da Poisson, onde as **Soluções Sonelastic®** são empregadas. O sucesso deste trabalho reforça a aplicabilidade do **Sonelastic®** na caracterização não-destrutiva de biomateriais empregados na odontologia.

*Link: <http://www.fosjc.unesp.br/> (Pós-Graduação em Odontologia Restauradora).

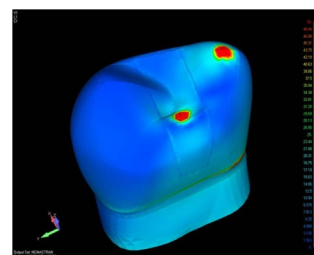
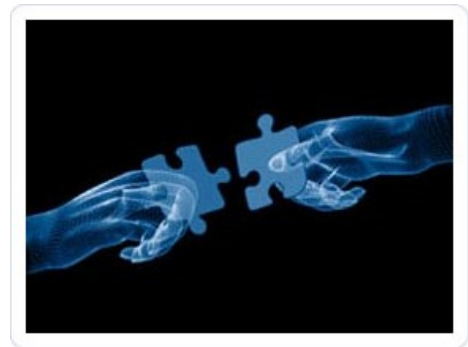


Figura 11. Análise pelo Método dos Elementos Finitos (FEM) das tensões geradas pela carga oclusal em um dente pré-molar com uma restauração cerâmica, empregando E, G e μ caracterizados.

Caracterizações demonstrativas

Descubra se nossa tecnologia é adequada para sua pesquisa, envie suas amostras para uma caracterização sem compromisso!



Prestação de serviços

A ATCP está há 11 anos no mercado e presta serviços de caracterização dos módulos elásticos dinâmicos e do amortecimento pela técnica de excitação por impulso em acordo com as Normas ASTM E 1876, C 215 e correlatas, tanto para temperatura ambiente quanto em alta temperatura.

Em temperatura ambiente

- Módulo de Young, módulo de cisalhamento.
- Coeficiente de Poisson.
- Amortecimento.

Geometrias e dimensões*:

- Barras: comprimento de 50 a 250 mm, largura e espessura de 5 a 45 mm
- Cilindros: comprimento de 100 a 400 mm e diâmetro de 10 a 200 mm
- Placas: comprimento e largura de 50 a 400 mm
- Discos: diâmetro de 50 a 400 mm

*Dimensões mais utilizadas, porém, os suportes são ajustáveis para amostras com poucos milímetros até metros de comprimento.

Madeiras: quaisquer dimensões, visto que não é necessário um suporte específico para o corpo de prova.

Em alta temperatura

- Amortecimento e módulos elásticos iniciais em temperatura ambiente.
- Relação do módulo de Young e do amortecimento com a temperatura e o tempo.

Geometria: Barras.

Dimensões: comprimento: 120 a 160 mm e largura/espessura: 10 a 40 mm
Intervalo de medida: até uma medida por minuto.

⇒ Outras geometrias e dimensões também são caracterizáveis, consulte-nos.



ATCP – Engenharia Física

Rua Monteiro Lobato, 1601
São Carlos - SP
CEP 13569-290
Brasil

Tel: 16-3307-7899
E-mail: apl@atcp.com.br
E-mail: ha@atcp.com.br



Sonelastic® Stand Alone com suporte para pequenas amostras.

www.atcp.com.br