



# FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

## EXPERIMENTO 6: ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

### Objetivo:

Estudar o princípio dos ensaios não destrutivos por inspeção visual, partículas magnéticas e líquidos penetrantes.

### Teoria:

Como o próprio nome já diz, Ensaios Não Destrutivos (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem destruir ou danificá-los, ou seja, qualquer tipo de ensaio praticado a um material que não altere de forma e permanente suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais. Sua execução normalmente é nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. Os Ensaios Não Destrutivos estão entre as principais ferramentas do controle da qualidade e monitoramento de materiais e componentes e são amplamente utilizados nos mais variados setores industriais, entre eles petróleo/petroquímico, químico, aeroespacial, siderúrgico, naval, eletromecânico e de papel e celulose, alimentício, etc.

Os Ensaios Não Destrutivos incluem métodos de análise utilizadas na ciência e na indústria para avaliar as propriedades de um material, capaz de proporcionar informações a respeito do teor de defeitos de um determinado produto, das características tecnológicas de um material, ou ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estrutura, baseando-se na aplicação de fenômenos físicos tais como ondas eletromagnéticas, acústicas, elasticidade, emissão de partículas subatômicas, capilaridade, absorção e qualquer tipo de teste que não implique um dano considerável à amostra examinada.

As principais vantagens dos END são técnicas altamente valiosas, uma vez que permitem o controle das propriedades dos materiais, com economia de tempo e dinheiro, previnem a ocorrência de falhas em serviços, mantém a qualidade de bens e serviços, preservam o meio ambiente e permitem que o material possa ser testado no local de trabalho ou que volte intacto após a inspeção.

Métodos comuns de END incluem:

- Ensaio por Emissão Acústica
- Ensaio por Inspeção Visual.
- Ensaio por Líquido Penetrante.
- Ensaio por Partículas Magnéticas.
- Ensaio por Radiografia.
- Ensaio por Ultrassom.

### ➤ Ensaio por Inspeção Visual

É uma técnica simples, e com certeza, o ensaio mais barato para detectar não somente falhas na superfície ou distorções na estrutura, mas também o grau de acabamento e de formato de uma peça. O resultado depende das condições de acesso ao local, do ambiente (iluminação) e, principalmente, da capacidade e da experiência do profissional responsável.

A inspeção visual é o método base dos ensaios não destrutivos. Este método pode ser utilizado isoladamente ou em conjunto com outros métodos. A inspeção visual pode ser realizada com o auxílio de equipamentos, tais como, microscópios, telescópios, lupas, entre outros.



# FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

A inspeção visual baseia-se no seguinte princípio A peça, a inspecionar, é limpa cuidadosamente, iluminada com uma fonte de luz, quando preciso, e em seguida, examinada pelo inspetor. Trata-se de um ensaio, no qual a preparação do inspetor que o realiza é essencial para que os resultados obtidos sejam confiáveis. Sem dúvida, trata-se de um ensaio não destrutivo que deverá preceder qualquer outro, na medida em que, assim, se permitirá tirar e verificar dúvidas de interpretação de resultados.

## ➤ Ensaio por Líquido Penetrante

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material. Este método, se iniciou antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.

A análise por líquidos penetrantes presta-se a detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, etc., podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira. É muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

O ensaio utilizando líquidos penetrantes baseia-se em 6 passos, sendo eles:

- 1º) Preparo da superfície: As superfícies a inspecionar devem estar completamente limpas e secas, porque o estado da superfície influencia a ação de entrada e saída do penetrante. É necessário remover qualquer resquício de água, óleo, graxa, tinta, limalhas de ferro, ferrugem e todo material que possa interferir ou mascarar o resultado.
- 2º) Aplicação do penetrante: O líquido penetrante é aplicado de modo a formar, sobre a superfície a inspecionar, um filme contínuo que se estende para além da área a inspecionar. Este deve permanecer o tempo suficiente para permitir a atuação do penetrante. O penetrante deve permanecer em contato com a peça tempo suficiente para ocorrer a penetração, esse tempo é de no mínimo 10 minutos e no máximo de 1 hora.
- 3º) Remoção do excesso de penetrante: Esta fase tem de pôr fim a remoção do excesso de líquido que não penetrou nas fendas e permaneceu na superfície da peça. A remoção do excesso deve ser feita de forma cuidadosa.
- 4º) Aplicação do revelador: Consiste na aplicação de um filme uniforme revelador sobre a superfície. O revelador é um fino pó branco, muito parecido com o talco, podendo ser aplicado seco ou em suspensão. O revelador age absorvendo o penetrante e revelando as descontinuidades (trincas). A função do revelador consiste em melhorar a visibilidade das indicações dadas pelo penetrante.
- 5º) Inspeção e interpretação: A operação de inspeção constitui uma das fases mais importantes na aplicação do método pois a detecção e caracterização das descontinuidades dependerá do operador e da iluminação utilizada.
- 6º) Limpeza final: Após a operação de inspeção, é necessário proceder à limpeza das peças porque os resíduos dos



# FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

materiais utilizados podem ter efeitos nocivos quer em operações posteriores de reparação quer no comportamento em serviço das peças.

## ➤ Ensaio por Partículas Magnéticas

É utilizado na localização de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos. Pode ser aplicado tanto em peças acabadas e semiacabadas e durante as etapas de fabricação. O processo consiste em submeter a peça, ou parte desta, a um campo magnético. Na região magnetizada da peça, as descontinuidades existentes, ou seja, a falta de continuidade das propriedades magnéticas do material, irão causar um campo de fuga do fluxo magnético. Com a aplicação das partículas ferromagnéticas, ocorrerá a aglomeração destas nos campos de fuga, uma vez que serão por eles atraídas devido ao surgimento de polos magnéticos. A aglomeração indicará o contorno do campo de fuga, fornecendo a visualização do formato e da extensão da descontinuidade.

Sua principal desvantagem é que só pode ser aplicado em materiais ferro magnéticos, no entanto as vantagens em relação a outros métodos de ensaio de superfície são:

- O resultado do ensaio é imediato;
- Detecta descontinuidades subsuperficiais;
- Pode ser aplicado a alta e baixa temperatura;
- Alta sensibilidade;
- Pode ser automatizado; e
- Rapidez de aplicação.

## ➤ Ensaio por Emissão Acústica

Emissão Acústica é uma das técnicas de Ensaios Não Destrutivos, de grande utilidade na detecção de defeitos ativos internos em materiais e equipamentos, detectando falhas e defeitos através da alteração das frequências ultrassônicas ou ondas sonoras.

Sinais acústicos, gerados no interior de equipamentos em operação ou quando submetido a esforços programados, trazem informações importantes sobre a integridade destes equipamentos. Estes sinais são geralmente associados à presença de defeitos internos ou às características próprias do funcionamento dos equipamentos e seus componentes. É um método indicado para o estudo do comportamento dinâmico de defeitos presentes em componentes estruturais mecânicos. É uma técnica passiva receptiva de análise de pulsos ultrassônicos emitidos por um defeito no momento de sua ocorrência ou propagação.

Por meio da emissão acústica é possível identificar vazamentos de ar-comprimido, vazamentos de vapor, descargas elétricas falhas em isoladores, entre outros defeitos. As vantagens que apresenta em relação às demais técnicas existentes podem-se destacar: facilidade de aplicação; baixo custo; possibilidade de realização dos ensaios com o equipamento em operação, eliminando a necessidade de interrupções do seu funcionamento; detecção e análise de defeitos em tempo real; relativa imunidade a ruídos eletromagnéticos; possibilidade de localização tridimensional de defeitos.

## ➤ Ensaio por Ultrassom

Os sons produzidos em um ambiente qualquer se refletem ou reverberam nas paredes que constituem o ambiente, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Este fenômeno constitui o fundamento do ensaio por ultrassom de materiais.



# FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

Assim como uma onda sonora reflete ao incidir num anteparo qualquer, a vibração ou onda ultrassônica também reflete quando percorre um meio elástico; do mesmo modo, a vibração ou onda ultrassônica refletirá ao incidir numa descontinuidade ou falha interna de um meio considerado. Através de aparelhos especiais, é possível detectar as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.

O teste ultrassônico de materiais é feito com o uso de ondas mecânicas ou acústicas colocadas no meio em inspeção, ao contrário da técnica radiográfica, que usa ondas eletromagnéticas. O ensaio por ultrassom caracteriza-se por ser um método não destrutivo com o objetivo de detectar descontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não ferrosos.

O ensaio por ultrassom constitui uma ferramenta indispensável para garantia da qualidade de peças de grandes espessuras, com geometria complexa de juntas soldadas e chapas. É aplicado na indústria moderna, principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas. Na maioria dos casos, os ensaios são aplicados em aços carbono e em menor porcentagem nos aços inoxidáveis.

Apresenta como vantagem uma boa sensibilidade na detecção de descontinuidades internas. Para isso não requer planos especiais de segurança e/ou quaisquer acessórios para a sua execução. Diferentemente do ensaio por radiografia, não necessita de revelação de um filme para obter os resultados. Estes podem ser obtidos apenas pela análise dos dados mostrados na tela do equipamento. Como principal limitação, esse método exige forte investimento em treinamento do responsável pela realização da análise, a fim de que ele interprete de forma eficiente os resultados.

## ➤ Ensaio por Radiografia

A radiografia industrial utilizada na detecção de falhas segue o mesmo princípio da radiografia clínica usada nos seres humanos. Porém, utilizam doses de radiação 10 vezes maiores, o que exige um nível de segurança elevado. O princípio básico de funcionamento consiste em emitir os raios (X ou gama). Uma parte é absorvida pelo material e a outra parte irá atravessá-lo sensibilizando o filme e produzindo uma imagem.

A técnica operatória, quando corretamente aplicada, origina informações claras, objetivas e fiáveis, através de um “documento” – a radiografia. Este documento pode ser arquivado e posteriormente consultado, quer com o objetivo de acompanhar um defeito conhecido e estudar a sua evolução e comportamento em serviço, quer como contraprova para análise de eventuais colapsos ou falhas.

Devido às propriedades de penetração e absorção da radiação X e gama, a radiografia é usada para examinar diversos produtos, geralmente em processos de soldagem e peças de fundição. É necessário utilizar procedimentos de segurança. Como as radiações não podem ser detectadas por qualquer um dos nossos cinco sentidos, exigem-se rigorosas medidas de segurança. As radiações podem causar danos ou mesmo destruição das células do corpo humano. É essencial que os técnicos de radiografia tenham sempre em atenção o perigo da radiação e o conhecimento das regras de segurança. Terão de ser usados detectores de radiações.

Suas vantagens e desvantagens são demonstradas na tabela a seguir:

Vantagens	Desvantagens
• Pode ser usada na maior parte dos materiais;	• Dificil aplicação em objeto de geometria complexa;
• Permite uma imagem em registo permanente;	• Necessidade de acesso às duas faces do objeto;
• Inspecciona o interior dos materiais;	• Dificil ou impossível a detecção de defeitos lamelares paralelos ao filme; e
• Revela os erros da fabricação; e	
• Evidencia descontinuidades estruturais.	• É um método relativamente caro.



# FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

## Pré-teste:

Para o teste deverão ser estudados os seguintes tópicos:

- a) Análise visual;
- b) Ensaio por radiografia;
- c) Ensaio por ultrassom;
- d) Ensaio por partículas magnéticas;
- e) Ensaio por líquidos penetrantes;
- f) Ensaio por emissão acústica.

## Procedimento experimental:

O experimento de ensaio não destrutivo será realizado através das técnicas de ensaio visual, líquido penetrante e de partículas magnéticas, objetivando determinar os defeitos superficiais e subsuperficiais. As amostras utilizadas foram: material de rechupe, um flange de aço e uma placa de ferro.

### Experimento 6.1: Análise visual

Faça uma análise visual das peças fornecidas.

### Experimento 6.2: Análise por líquidos penetrantes

Limpe a superfície da peça fornecida com o líquido limpador. Em seguida faça a aplicação do líquido penetrante nas áreas adequadas e aguarde tempo necessário para o líquido agir. Limpe novamente a superfície. Utilize o revelador nas mesmas áreas e aguarde o tempo necessário para o revelador secar, por fim limpe a peça.

### Experimento 6.3: Análise por partículas magnéticas

Limpe a superfície a ser analisada. Espalhe uma pequena quantidade do pó de óxido de ferro sobre a superfície a ser analisada. Utilize o Yoke em várias direções sobre a superfície para analisar o comportamento do pó e identificar os defeitos.

## Relatório:

1. Introdução
2. Objetivos do experimento
3. Metodologia experimental
4. Resultados e discussão:
  - a. Apresentar os defeitos da peça utilizando a análise visual, e discutir sobre a técnica;
  - b. Apresentar os defeitos da peça utilizando líquido penetrante e explicar seus princípios.
  - c. Apresentar os defeitos da peça utilizando partículas magnéticas: Façam o gabarito dos erros apresentado no vídeo e explique o funcionamento dessa técnica;
  - d. Relatar se os experimentos foram adequados para a detecção dos defeitos. Se houver, explicar o que pode ser feito para melhorar os resultados de cada análise.
5. Conclusões
6. Referências bibliográficas



**UNICAMP**

# **FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - FEM/UNICAMP

Rua Mendeleev, 200 - CEP 13083-860

Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo

Campinas - SP [www.fem.unicamp.br](http://www.fem.unicamp.br)

## **Referências bibliográficas:**

ASM HANDBOOK Volume 17 – Nondestructive evaluation and quality control, ASM International. Topics: Visual Inspection, Liquid Penetrant Inspection, Magnetic Particle Inspection, Ultrasonic Inspection and Radiographic Inspection.