

# Líquidos penetrantes

## Introdução

Depois do ensaio visual, o ensaio por líquidos penetrantes é o ensaio não destrutivo mais antigo. Ele teve início nas oficinas de manutenção das estradas de ferro, em várias partes do mundo.

Naquela época, começo da era industrial, não se tinha conhecimento do comportamento das descontinuidades existentes nas peças. E quando estas eram colocadas em uso, expostas a esforços de tração, compressão, flexão e, principalmente, esforços cíclicos, acabavam se rompendo por fadiga.

Era relativamente comum o aparecimento de trincas e até a ruptura de peças de vagões, como eixos, rodas, partes excêntricas etc., sem que os engenheiros e projetistas da época pudessem determinar a causa do problema.

Algumas trincas podiam ser percebidas, mas o ensaio visual não era suficiente para detectar todas elas, pela dificuldade de limpeza das peças.

Foi desenvolvido então um método especial não destrutivo para detectar rachaduras em peças de vagões e locomotivas, chamado de **método do óleo e giz**.

Neste método, as peças, depois de lavadas em água fervendo ou com uma solução de soda cáustica, eram mergulhadas num tanque de óleo misturado com querosene, no qual ficavam submersas algumas horas ou até um dia inteiro, até que essa mistura penetrasse nas trincas porventura existentes nas peças.

Depois desta etapa, as peças eram removidas do tanque, limpas com estopa embebida em querosene e colocadas para secar. Depois de secas, eram pintadas com uma mistura de giz moído e álcool; dessa pintura resultava uma camada de pó branco sobre a superfície da peça. Em seguida, martelavam-se as peças, fazendo com que a mistura de óleo e querosene saísse dos locais em que houvesse trincas, manchando a pintura de giz e tornando as trincas visíveis.

Este teste era muito passível de erros, pois não havia qualquer controle dos materiais utilizados – o óleo, o querosene e o giz. Além disso, o teste não conseguia detectar pequenas trincas e defeitos subsuperficiais.

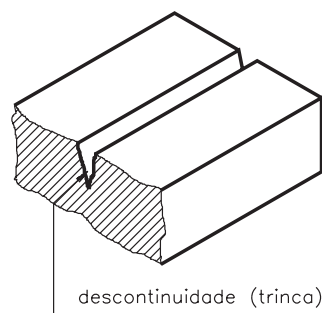
Testes mais precisos e confiáveis só apareceram por volta de 1930, quando o teste do “óleo e giz” foi substituído pelo de partículas magnéticas.

Somente em 1942, nos Estados Unidos, Roberto C. Switzer, aperfeiçoando o teste do “óleo e giz”, desenvolveu a técnica de **líquidos penetrantes**, pela necessidade que a indústria aeronáutica americana tinha de testar as peças dos aviões, que são até hoje fabricadas com ligas de metais não ferrosos, como alumínio e titânio, e que, conseqüentemente, não podem ser ensaiados por partículas magnéticas.

Agora que você já está por dentro da história deste importante ensaio, vamos conhecer a sua técnica.

## Descrição do ensaio

Hoje em dia, o ensaio por líquidos penetrantes, além de ser aplicado em peças de metais não ferrosos, também é utilizado para outros tipos de materiais sólidos, como metais ferrosos, cerâmicas vitrificadas, vidros, plásticos e outros que não sejam porosos. Sua finalidade é detectar discontinuidades abertas na superfície das peças, como trincas, poros, dobras, que não sejam visíveis a olho nu.



O ensaio consiste em aplicar um líquido penetrante sobre a superfície a ser ensaiada. Após remover o excesso da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido penetrante retido, utilizando-se para isso um revelador.

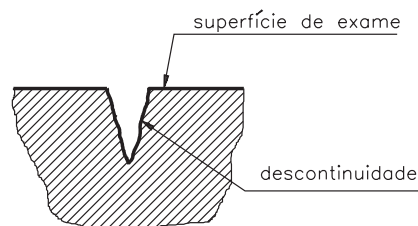
A imagem da descontinuidade, ou seja, o líquido penetrante contrastando com o revelador, fica então visível.

Vamos agora conhecer as etapas deste ensaio:

### a) Preparação e limpeza da superfície

A limpeza da superfície a ser ensaiada é fundamental para a revelação precisa e confiável das descontinuidades porventura existentes na superfície de ensaio.

O objetivo da limpeza é remover tinta, camadas protetoras, óxidos, areia, graxa, óleo, poeira ou qualquer resíduo que impeça o penetrante de entrar na descontinuidade.



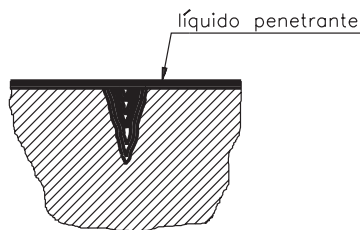
## Nossa aula

Para remover esses resíduos sem contaminar a superfície de ensaio utilizam-se solventes, desengraxantes ou outros meios apropriados. A Tabela 1 apresenta alguns contaminantes, descreve seus efeitos e indica possíveis soluções para limpeza e correção da superfície de exame.

TABELA 1 - CONTAMINANTES E SUA REMOÇÃO		
CONTAMINANTE OU CONDIÇÃO SUPERFICIAL	EFEITO	SOLUÇÃO
1) Óleo, graxa	A grande maioria dos lubrificantes apresentam fluorescência sob a luz negra. Esta fluorescência poderá provocar mascaramento ou indicações falsas. Além disso, eles prejudicam a ação do líquido penetrante.	Vapor desengraxante, limpeza alcalina a quente, solvente ou removedor.
2) Carbonos, verniz, terra	Impedem a entrada do líquido penetrante ou absorvem o mesmo, ocasionando fluorescência ou coloração de fundo. Impedem a ação umectante. Provocam uma "ponte" entre as indicações.	Solvente ou solução alcalina, escovamento, vapor, jateamento.
3) Ferrugem, óxido	Mesmo efeito de 2	Solução alcalina ou ácida Escova manual ou rotativa Vapor Jateamento
4) Pintura	Impede a entrada do líquido penetrante ou a ação umectante. Provoca uma "ponte" entre as indicações.	Solvente removedor de tinta Removedor alcalino Jateamento Queima
5) Água	Impede a entrada do líquido penetrante ou a ação umectante.	Ar seco Aquecimento Estufa
6) Ácidos ou álcalis	Impede a entrada do líquido penetrante ou a ação umectante.	Lavagem com água corrente Neutralizadores
7) Rugosidade superficial	Dificulta a limpeza, preparação superficial e a remoção do excesso de líquido penetrante.	Polimento Usinagem
8) Encobrimento da descontinuidade devido a uma operação de conformação ou jateamento	Pode impedir a entrada do líquido penetrante.	Ataque químico Usinagem

## b) Aplicação do líquido penetrante

Consiste em aplicar, por meio de pincel, imersão, pistola ou spray, um líquido, geralmente de cor vermelha ou fluorescente, capaz de penetrar nas descontinuidades depois de um determinado tempo em contato com a superfície de ensaio.



A Tabela 2 pode ser utilizada como referência para estabelecer os tempos de penetração de diversos materiais, com seus respectivos processos de fabricação.

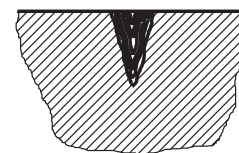
**TABELA 2 - TEMPOS DE PENETRAÇÃO MÍNIMOS EM MINUTOS**  
(para temperaturas entre 16° e 25°C)

MATERIAL	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	TIPO DE DESCONTINUIDADE	LAVÁVEL A ÁGUA	PÓS-EMULSIFICÁVEL	REMOVÍVEL A SOLVENTE
Alumínio	Fundido	Trinca a frio Porosidade - Gota Fria	5 a 15	5	3
	Forjado	Dobra	NR*	10	7
	Solda	Porosidade	30	5	3
	Qualquer	Trinca	30	10	5
Magnésio	Fundido	Porosidade - Gota Fria	15	5	3
	Forjado	Dobra	NR	10	7
	Solda	Porosidade	30	10	5
	Qualquer	Trinca	30	10	5
Aço	Fundido	Porosidade - Gota Fria	30	10	5
	Forjado	Dobra	NR	10	7
	Solda	Porosidade	60	20	7
	Qualquer	Trinca	30	20	7
Latão e Bronze	Fundido	Porosidade - Gota Fria	10	5	3
	Forjado	Dobra	NR	10	7
	Brazado	Porosidade	15	10	3
	Qualquer	Trinca	30	10	3
Plástico	Qualquer	Trinca	5 a 30	5	5
Vidro	Qualquer	Trinca	5 a 30	5	5
Titânio e Ligas	Qualquer		NR	20 a 30	15

\* NR= não recomendado

## c) Remoção do excesso de penetrante

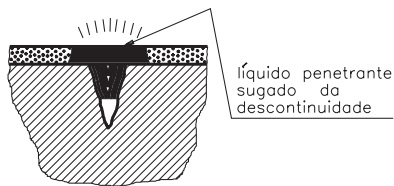
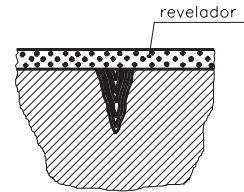
Decorrido o tempo mínimo de penetração, deve-se remover o excesso de penetrante, de modo que a superfície de ensaio fique totalmente isenta do líquido - este deve ficar retido somente nas descontinuidades. Esta etapa do ensaio pode ser feita com um pano ou papel seco ou umedecido com solvente: em outros casos, lava-se a peça com água, secando-a posteriormente, ou aplica-se agente pós-emulsificável, fazendo-se depois a lavagem com água.



Uma operação de limpeza deficiente pode mascarar os resultados, revelando até descontinuidades inexistentes.

### d) Revelação

Para revelar as discontinuidades, aplica-se o revelador, que nada mais é do que um talco branco. Esse talco pode ser aplicado a seco ou misturado em algum líquido.



O revelador atua como se fosse um mata-borrão, sugando o penetrante das discontinuidades e revelando-as.

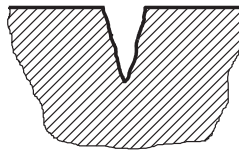
Da mesma forma que na etapa de penetração, aqui também deve-se prever um tempo para a revelação, em função do tipo da peça, do tipo de defeito a ser detectado e da temperatura ambiente. Geralmente faz-se uma inspeção logo no início da secagem do revelador e outra quando a peça está totalmente seca.

### e) Inspeção

No caso dos líquidos penetrantes visíveis, a inspeção é feita sob luz branca natural ou artificial. O revelador, aplicado à superfície de ensaio, proporciona um fundo branco que contrasta com a indicação da descontinuidade, que geralmente é vermelha e brilhante.

Para os líquidos penetrantes **fluorescentes**, as indicações se tornam visíveis em ambientes escuros, sob a presença de **luz negra**, e se apresentam numa cor amarelo esverdeado, contra um fundo de contraste entre o violeta e o azul.

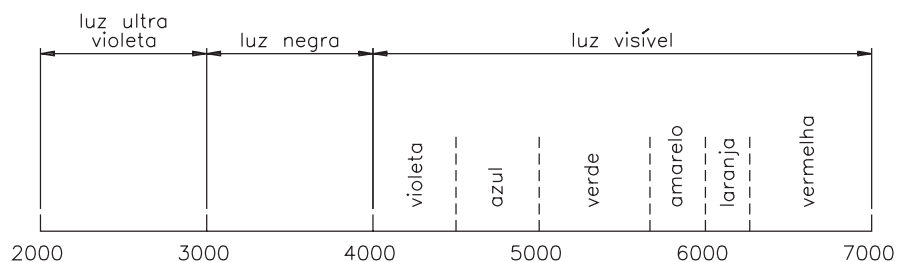
### f) Limpeza



Após a inspeção da peça e a elaboração do relatório de ensaio, ela deve ser devidamente limpa, removendo-se totalmente os resíduos do ensaio; esses resíduos podem prejudicar uma etapa posterior no processo de fabricação do produto ou até o seu próprio uso, caso esteja acabado.

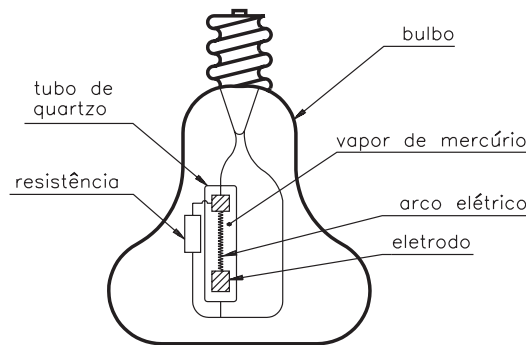
### Aprenda mais esta

A luz negra, popularizada em discotecas, boates e casas de espetáculos, tem comprimento de onda menor do que o menor comprimento de onda da luz visível.



comprimento de onda Å (Angstrom)  
1 Angstrom =  $10^{-10}$ m

A luz negra tem a propriedade de causar o fenômeno da **fluorescência** em certas substâncias. Sua radiação não é visível. É produzida por um arco elétrico que passa pelo vapor de mercúrio.



Entre os eletrodos forma-se um arco elétrico que passa pelo vapor de mercúrio, resultando na luz negra.

Fluorescência é a capacidade que certas substâncias têm de absorver radiações não visíveis (luz não visível) de uma determinada fonte e convertê-la em radiações visíveis (luz visível).

### Vantagens e limitações

Agora que você já sabe onde pode aplicar o método de inspeção por líquidos penetrantes e já conhece as etapas de execução deste ensaio, vamos estudar suas vantagens e limitações.

#### Vantagens

- Podemos dizer que a principal vantagem deste método é sua simplicidade, pois é fácil interpretar seus resultados.
- O treinamento é simples e requer pouco tempo do operador.
- Não há limitações quanto ao tamanho, forma das peças a serem ensaiadas, nem quanto ao tipo de material.
- O ensaio pode revelar descontinuidades extremamente finas, da ordem de 0,001 mm de largura, totalmente imperceptíveis a olho nu.

#### Limitações

- O ensaio só detecta descontinuidades abertas e superficiais, já que o líquido tem de penetrar na descontinuidade. Por esta razão, a descontinuidade não pode estar preenchida com qualquer material estranho.
- A superfície do material a ser examinada não pode ser porosa ou absorvente, já que não conseguiríamos remover totalmente o excesso de penetrante, e isso iria mascarar os resultados.
- O ensaio pode se tornar inviável em peças de geometria complicada, que necessitam de absoluta limpeza após o ensaio, como é o caso de peças para a indústria alimentícia, farmacêutica ou hospitalar.

## Um bom líquido penetrante

O líquido penetrante é formado pela mistura de vários líquidos, e deve apresentar uma série de características, indispensáveis ao bom resultado do ensaio. Vejamos quais são essas características:

- a) ter capacidade de penetrar em pequenas aberturas;
- b) ser capaz de manter-se em aberturas relativamente grandes;
- c) ser removível da superfície onde está aplicado;
- d) ter capacidade de espalhar-se em um filme fino sobre a superfície de ensaio;
- e) apresentar grande brilho;
- f) ser estável quando estocado ou em uso;
- g) ter baixo custo;
- h) não deve perder a cor ou a fluorescência quando exposto ao calor, luz branca ou luz negra;
- i) não deve reagir com o material em ensaio, e nem com a sua embalagem;
- j) não pode ser inflamável;
- l) não deve ser tóxico;
- m) não deve evaporar ou secar rapidamente;
- n) em contato com o revelador, deve sair em pouco tempo da cavidade onde tiver penetrado.

Como você viu, ser um líquido penetrante não é tão simples assim. É bom saber que nenhuma dessas características, por si só, determina a qualidade do líquido penetrante: a qualidade depende da combinação destas características.

### Tipos de líquidos penetrantes

Os líquidos penetrantes são classificados quanto à visibilidade e quanto ao tipo de remoção de excesso.

Quanto à visibilidade podem ser:

- **Fluorescentes (método A)**  
Constituídos por substâncias naturalmente fluorescentes, são ativados e processados para apresentarem alta fluorescência quando excitados por raios ultravioleta (luz negra).
- **Visíveis coloridos (método B)**  
Esses penetrantes são geralmente de cor vermelha, para que as indicações produzam um bom contraste com o fundo branco do revelador.

Quanto ao tipo de remoção do excesso, podem ser:

- **Laváveis em água**  
Os líquidos penetrantes deste tipo são elaborados de tal maneira que permitem a remoção do excesso com água; esta operação deve ser cuidadosa; se for demorada ou se for empregado jato de água, o líquido pode ser removido do interior das descontinuidades.
- **Pós-emulsificáveis**  
Neste caso, os líquidos penetrantes são fabricados de maneira a serem insólúveis em água. A remoção do excesso é facilitada pela adição de um **emulsificador**, aplicado em separado. Este combina-se com o excesso de penetrante, formando uma mistura lavável com água.

**Emulsificador** é um composto químico complexo que, uma vez misturado ao líquido penetrante à base de óleo, faz com que o penetrante seja lavável pela água. Ele é utilizado na fase de remoção do excesso.

- **Removíveis por solventes**

Estes tipos de líquidos penetrantes são fabricados de forma a permitir que o excesso seja removido com pano seco, papel-toalha ou qualquer outro material absorvente que não solte fiapo, até que reste uma pequena quantidade de líquido na superfície de ensaio; esta deve ser então removida com um solvente removedor apropriado.

A combinação destas cinco características gera seis opções diferentes para sua utilização. Veja o quadro abaixo.

REMOÇÃO DE PENETRANTES			
MÉTODO	TIPO DE REMOÇÃO		
	Água	Pós-emulsificável	Solvente
"A" fluorescentes	A1	A2	A3
"B" visíveis coloridos	B1	B2	B3

### Quais deles devemos escolher?

Diante de tantos tipos de penetrantes, como saber qual o mais adequado? Aí vão algumas dicas:

- **Penetrante fluorescente lavável com água**

Esse método é bom para detectar quase todos os tipos de defeitos, menos arranhaduras ou defeitos rasos. Pode ser utilizado em peças não uniformes e que tenham superfície rugosa; confere boa visibilidade. É um método simples e econômico.

- **Penetrante fluorescente pós-emulsificável**

É mais brilhante que os demais, tem grande sensibilidade para detectar defeitos muitos pequenos e/ou muito abertos e rasos. É um método muito produtivo, pois requer pouco tempo de penetração e é facilmente lavável, mas é mais caro que os outros.

- **Penetrante visível (lavável por solvente, em água ou pós-emulsificável)**

Estes métodos são práticos e portáteis, dispensam o uso de luz negra, mas têm menos sensibilidade para detectar defeitos muito finos; a visualização das indicações é limitada.

As características dos penetrantes sem dúvida nos ajudarão a escolher o método mais adequado para um determinado ensaio, porém o fator mais importante a ser considerado são os requisitos de qualidade que devem constar na especificação do produto.

É com base nestes requisitos que devemos escolher o método. Não se pode simplesmente estabelecer que **todas** as descontinuidades devem ser detectadas, pois poderíamos escolher um método mais caro que o necessário. Precisamos estar conscientes de que a peça deve estar livre de defeitos que interfiram na utilização do produto, ocasionando descontinuidades reprováveis.

Com base nesses aspectos, um método mais simples e barato pode ser também eficiente para realizar o ensaio.



## Revelação

O revelador é aquele talco que suga o penetrante das descontinuidades para revelá-las ao inspetor; além de cumprir esta função, deve ser capaz de formar uma indicação a partir de um pequeno volume de penetrante retido na descontinuidade, e ter capacidade de mostrar separadamente duas ou mais indicações próximas. Para atender a todas estas características, tem de possuir algumas propriedades. Vamos conhecê-las.

- a) deve ser fabricado com substâncias absorventes, que favorecem a ação de mata-borrão;
- b) quando aplicado, deve cobrir a superfície de exame, promovendo assim o contraste;
- c) precisa ter granulação fina;
- d) tem de ser fácil de aplicar, resultando numa camada fina e uniforme;
- e) deve ser umedecido facilmente pelo penetrante;
- f) deve ser de fácil remoção, para a limpeza final;
- g) deve aderir à superfície;
- h) não deve ser tóxico, nem atacar a superfície de exame.

Como ocorre com os líquidos penetrantes, existem também no mercado vários tipos de reveladores, para diversos tipos de aplicação. O critério de escolha deve ser similar ao do líquido penetrante.

Os reveladores são classificados da seguinte maneira:

### – de pó seco

São constituídos de uma mistura fofa de sílica e talco que deve ser mantida seca. São indicados para uso em sistemas estacionários ou automáticos. Vêm caindo em desuso devido à falta de confiabilidade para detectar defeitos pequenos.

### – revelador aquoso

Neste tipo de revelador, o pó misturado com água pode ser aplicado por imersão, derramamento ou aspersão (borrifamento). Após a aplicação, as peças são secas com secador de cabelo, ou em fornos de secagem.

### – revelador úmido não aquoso

Neste caso, o talco está misturado com solventes-nafta, álcool ou solventes à base de cloro. Eles são aplicados com aerossol ou pistola de ar comprimido, em superfícies secas.

A função principal desse revelador é proporcionar um fundo de contraste branco para os penetrantes visíveis, resultando em alta sensibilidade.

## – revelador em película

É constituído por uma película adesiva plástica contendo um revelador que traz o líquido penetrante para a superfície.

À medida que a película seca, formam-se as indicações das descontinuidades. Este método permite que, após o ensaio, possa destacar-se a película da superfície e arquivá-la.

### Dica

Hoje já existem no mercado kits que fornecem o produto de limpeza (solvente), o líquido penetrante e um revelador. Estes kits são de grande valia, pois facilitam muito a vida do inspetor. Mas devemos consultar as especificações de ensaio para poder escolher o kit com os produtos mais adequados.

Marque com um X a resposta correta:

#### Exercício 1

O ensaio por líquidos penetrantes teve seu início:

- a) ( ) na fabricação de cascos de navios;
- b) ( ) nas pontes da África;
- c) ( ) nas torres de alta tensão americana;
- d) ( ) nas oficinas de manutenção das estradas de ferro, em várias partes do mundo.

#### Exercício 2

Numere de 1 a 5, a seqüência correta de execução do ensaio por líquidos penetrantes

- a) ( ) remoção do excesso de líquido penetrante;
- b) ( ) preparação e limpeza da superfície de ensaio;
- c) ( ) revelação;
- d) ( ) aplicação do líquido penetrante;
- e) ( ) inspeção e limpeza da peça.

#### Exercício 3

Para que a imagem da descontinuidade fique visível, devemos contrastar com o líquido penetrante um:

- a) ( ) revelador;
- b) ( ) outro líquido penetrante mais forte;
- c) ( ) água com soda cáustica;
- d) ( ) líquido incolor.

#### Exercício 4

Assinale com um C as proposições corretas, que expressem vantagens em usar o ensaio por líquidos penetrantes:

- a) ( ) o treinamento é simples e requer pouco tempo do operador;
- b) ( ) o ensaio pode revelar descontinuidades da ordem de até 1 mm;
- c) ( ) só podemos ensaiar peças de determinado tamanho;
- d) ( ) a interpretação dos resultados é fácil de fazer.

## Exercícios

### Exercício 5

Escreva abaixo quatro características que um bom líquido penetrante não pode deixar de ter.

- a) .....
- b) .....
- c) .....
- d) .....

