



Informativo técnico IT-01 / ATCP

Teste de cerâmicas piezoelétricas para a detecção de trincas

ATCP Engenharia Física
www.atcp-ndt.com

Autores:
Henrique Alves
Cesar Fagian

Revisão 1.5
28/Nov/2022

ÍNDICE

1. Objetivo e aplicações	3
2. Introdução.....	3
3. Fundamentos.....	5
4. Metodologia.....	7
5. Exemplos	9
6. Recuperação e reutilização de cerâmicas piezoelétricas	11

1. Objetivo e aplicações

As cerâmicas piezoelétricas são componentes frágeis e sensíveis que podem apresentar trincas internas indetectáveis via inspeção visual. Cerâmicas com trincas, mesmo que internas e invisíveis, devem ser descartadas para evitar a falha prematura dos transdutores e conversores ultrassônicos nos quais são montadas e os consequentes prejuízos com retrabalhos e assistência técnica.

Este informativo apresenta uma metodologia prática e eficaz para a detecção de trincas em cerâmicas piezoelétricas utilizadas em transdutores e conversores ultrassônicos. Esta metodologia é uma variação da inspeção por ressonância acústica (norma ASTM E2001-18) que obtém o espectro de frequências via análise da impedância, e que pode ser facilmente aplicada por fabricantes e usuários finais de cerâmicas piezoelétricas, transdutores e conversores ultrassônicos para:

- Controle de qualidade na fabricação de cerâmicas piezoelétricas;
- Inspeção de recebimento de cerâmicas piezoelétricas novas;
- Verificação de cerâmicas seminovas, que foram utilizadas na fabricação de transdutores ou conversores reprovados e desmontados;
- Teste para o reaproveitamento com segurança de cerâmica usadas, que foram recuperadas de transdutores e conversores danificados.

2. Introdução

A Figura 1 mostra uma cerâmica piezoelétrica típica de conversores de 20 kHz para solda por ultrassom. Suas dimensões são 38,1 x 19,1 x 5,15 mm e o material PZT-8. Nas duas faces planas há eletrodos metálicos para a aplicação da tensão elétrica e em uma das faces há a marcação da polaridade (o positivo é indicado com o sinal "+" e/ou com um ponto "•", que também pode estar na lateral). Estas cerâmicas são fabricadas com a prensagem e a sinterização de Titanato Zirconato de Chumbo (PTZ) dopado em pó. O PZT é encontrado em diversas variações e denominações, confirme dopagem, aplicação e fabricante.

Material piezoelétrico prensado e sinterizado.

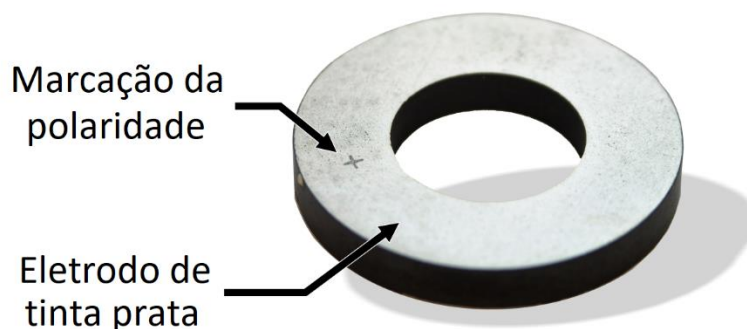


Figura 1 – Cerâmica piezoelétrica típica de conversores para solda por ultrassom.

As cerâmicas piezoelétricas constituem o principal elemento dos transdutores e conversores ultrassônicos e são responsáveis pela conversão da energia elétrica em vibração ultrassônica e vice-versa através do efeito piezoelétrico. Trincas, mesmo que internas e de dimensão reduzida, causam aquecimento, perda de rendimento e variações na frequência do transdutor ou conversor.

A presença de trinca na cerâmica piezoelétrica compromete a simetria da deformação mecânica com a vibração e ocasiona a concentração de tensões, que por sua vez, induzem o crescimento da trinca em um ciclo vicioso que culmina na ruptura total. Na Figura 2 é comparada a deformação de um anel cerâmico íntegro com a de um anel trincado, ambos vibrando no modo radial fundamental. Na Figura 3 é apresentada uma seqüência ilustrativa do desenvolvimento de uma trinca interna até a ruptura da peça.

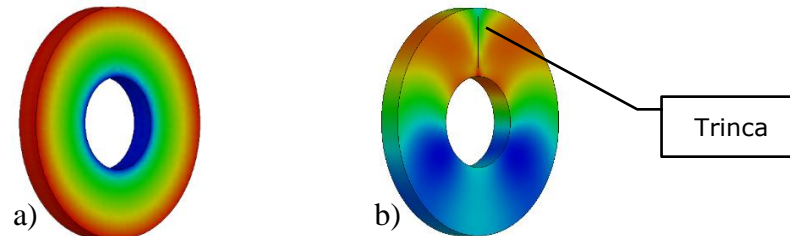


Figura 2 – Comparação da deformação de uma cerâmica íntegra (a) no modo de vibração radial com a de uma cerâmica trincada (b).

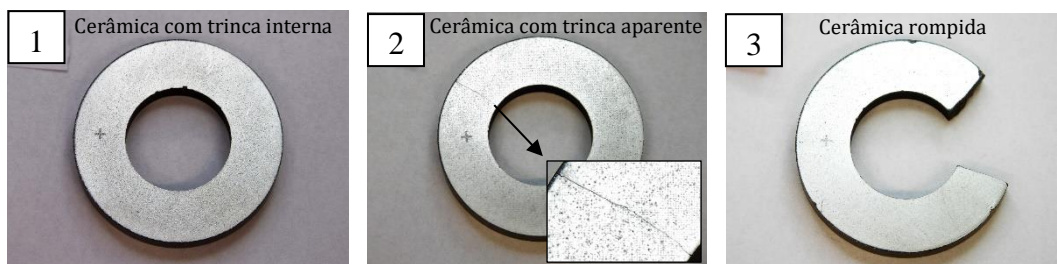


Figura 3 – Sequência ilustrativa da evolução de uma trinca interna devido à concentração de tensões mecânicas: 1º) cerâmica com trinca interna, 2º) cerâmica com trinca visível e 3º) cerâmica rompida.

As trincas podem ocorrer nos seguintes momentos:

- Durante o processo de fabricação da cerâmica, devido a distribuição desigual de pó de PZT no molde de prensagem;
- Durante a montagem do transdutor ou conversor, devido a irregularidades da superfície, a pré-compressão em excesso (>50 Mpa) ou aperto muito rápido (>5 Mpa/s);
- Durante a operação do transdutor ou conversor, devido à fadiga, sobrecarga, perda de pré-compressão, sobreaquecimento ou arco elétrico;
- Durante o transporte e a manipulação, devido a pancadas e quedas.

O índice de cerâmicas novas com trincas pode ser superior à 3%, dependendo da procedência e do rigor do controle de qualidade do fabricante. Este percentual é significativo porque basta uma cerâmica com trinca para comprometer o transdutor ou conversor ultrassônico, e normalmente os transdutores e conversores são montados com mais de uma cerâmica o que multiplica a probabilidade de problemas.

3. Fundamentos

Todo corpo rígido apresenta frequências de ressonância associadas a modos de vibração. No caso das cerâmicas piezoelétricas no formato de anéis e discos, as principais frequências de ressonância são aquelas associadas aos modos de vibração radial e espessura.

A Figura 4 mostra a curva de impedância típica de três cerâmicas piezoelétricas comerciais comuns íntegras; note que quanto maior a cerâmica, mais baixas são as suas frequências. No caso do anel maior, de 50,8 x 19,1 x 5 mm, há uma segunda ressonância que corresponde a um harmônico do modo radial fundamental. Outras cerâmicas comerciais com dimensões aproximadas e no formato de discos apresentam o mesmo padrão.

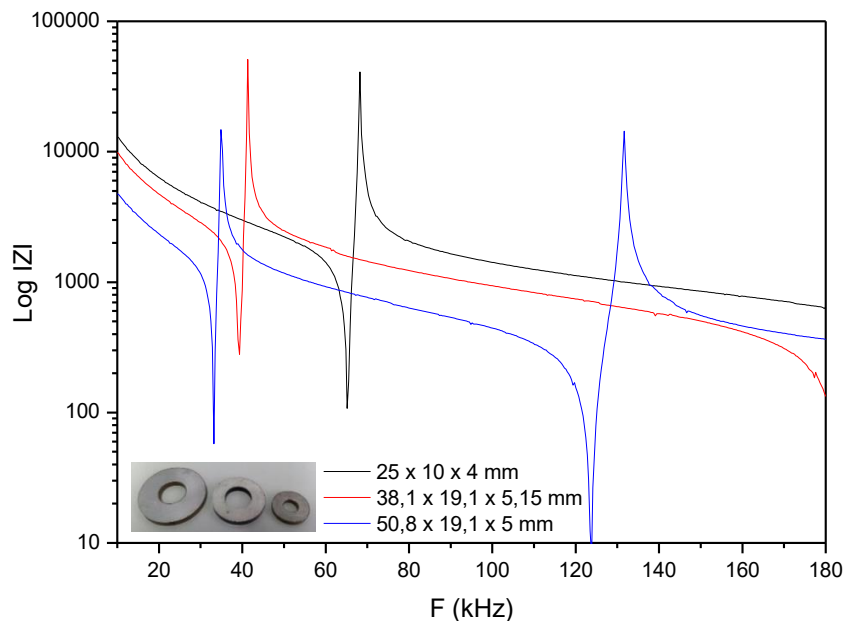


Figura 4 – Curvas características do módulo da impedância em função da frequência cerâmicas íntegras de conversores de solda e de transdutores de limpeza por ultrassom.

A presença de trincas permite a ocorrência de modos de vibração e de ressonâncias adicionais, que são detectáveis visualmente empregando o Analisador TRZ® e o Software TRZ®. Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as espectroscopias de impedância (módulo da impedância em função da frequência / curva $|Z(f)|$) de duas cerâmicas piezoelétricas similares, estando uma delas íntegra (Fig. 5) e a outra trincada (Fig. 6).

O julgamento do resultado é gráfico e imediato: não deve haver múltiplas ressonâncias (que decorrem dos modos de vibração adicionais permitidos pela trinca) e deve haver no máximo dois modos de vibração na faixa de frequência de 10 a 200 kHz para cerâmicas com diâmetro externo entre 15 e 100 mm. A cerâmica íntegra (Fig. 5) apresenta apenas um modo de vibração (destacado em azul) enquanto a cerâmica trincada (Fig. 6) apresenta vários modos de vibração adicionais, além do modo de vibração principal.

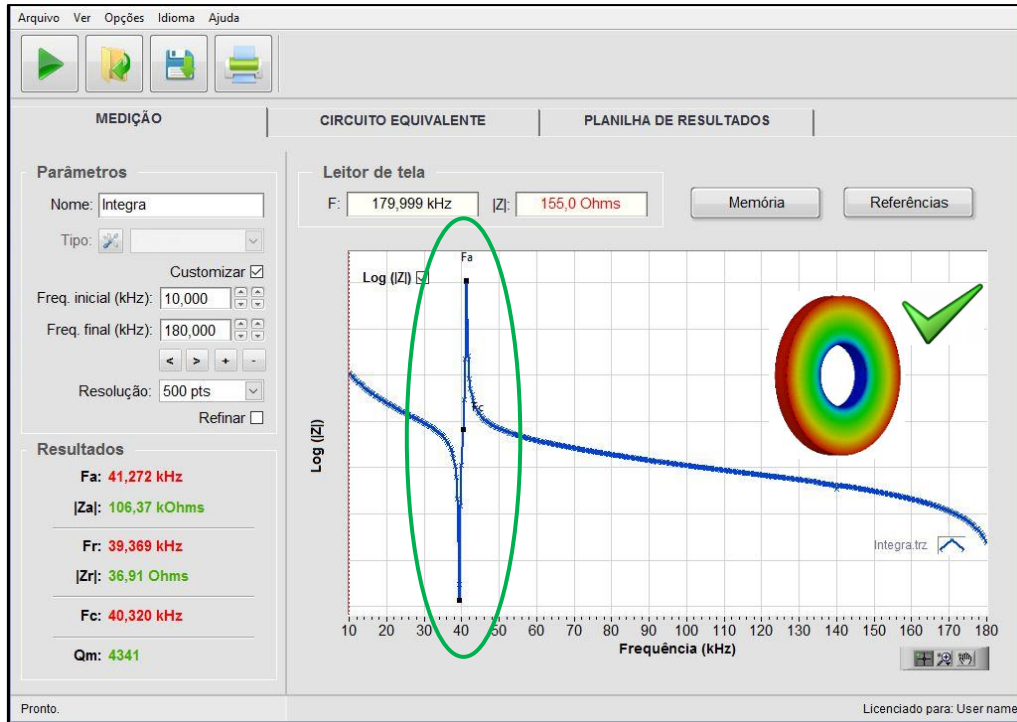


Figura 5 – Exemplo de curva de impedância de uma cerâmica piezoelétrica anelar íntegra (no caso, de uma cerâmica em PZT-8 com as dimensões de 38,1 x 19,1 x 5,15 mm).

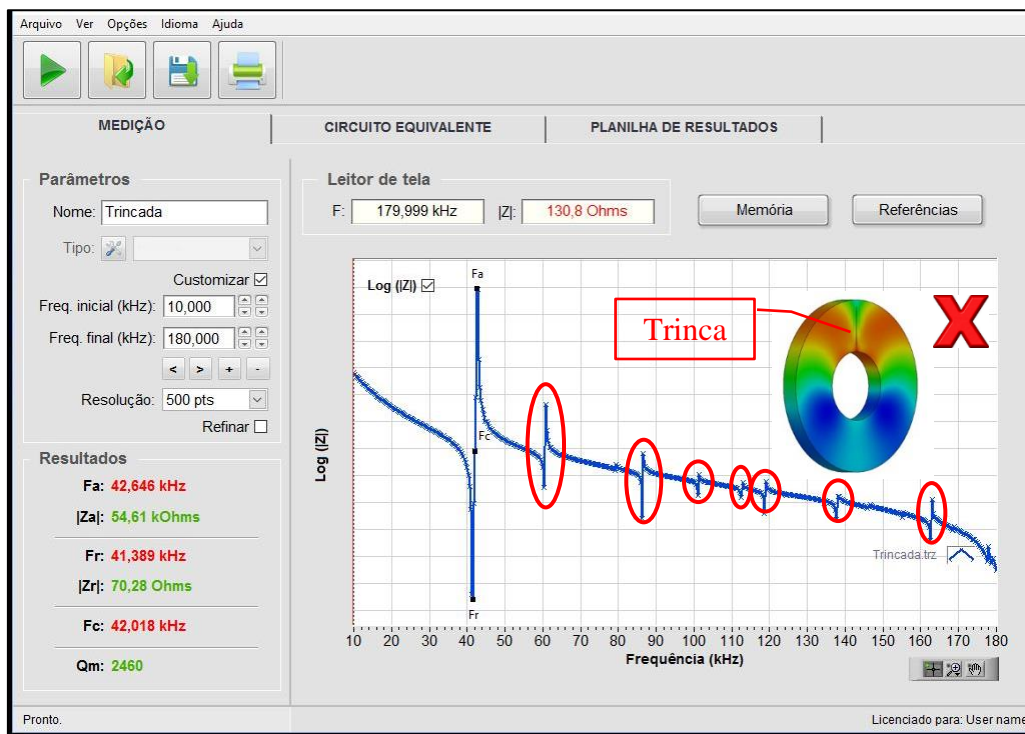


Figura 6 – Exemplo de curva de impedância de uma cerâmica piezoelétrica anelar trincada (no caso, de uma cerâmica em PZT-8 com as dimensões de 38,1 x 19,1 x 5,15 mm).

4. Metodologia

A metodologia para o teste de cerâmicas piezoelétricas para a detecção de trincas é muito simples, basta seguir o passo-a-passo a seguir:

Passo 1 - Utilize o Analisador TRZ® e o suporte de cerâmicas PiezoHolder

Utilize o Analisador TRZ® em conjunto o Software TRZ® (versão 7.0 ou superior) e o suporte de cerâmicas PiezoHolder (Fig. 7). Selecione a opção "Piezos" no Software (Fig. 8), nesta pré-configuração o conjunto Analisador e Software TRZ® irá realizar uma varredura de 10 a 200 kHz.



Figura 7 – Analisador TRZ® conectado ao PiezoHolder e o Software TRZ®.

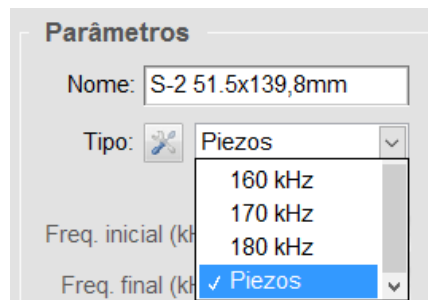


Figura 8 – Seleção para o teste de cerâmicas (Software TRZ® versão 7.0).

Passo 2 – Insira a cerâmica no PiezoHolder

Insira a cerâmica piezoelétrica no PiezoHolder (Fig. 9). Este acessório é capaz de suportar cerâmicas na geometria de discos e anéis com espessura entre 0 e 19 mm e diâmetro entre 15 e 100 mm. A polaridade não é relevante.



Figura 9 – Suporte PiezoHolder para a conexão das cerâmicas ao Analisador TRZ®.

Passo 3 - Realize a medição e a análise

Realize a medição clicando no botão "Play" (Fig. 10) ou com o comando Ctrl-N e, na sequência, verifique se a curva obtida é suave ou possui perturbações de baixa amplitude (veja as Figuras 5 e 6). Se forem detectados modos espúrios, a cerâmica piezoelétrica está trincada e deve ser descartada. A presença da trinca pode ser confirmada com ensaios não-destrutivos via ultrassom (pulso-eco).



Figura 10 – Realização da medição.


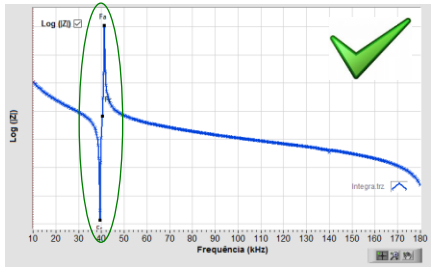
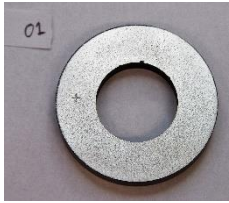
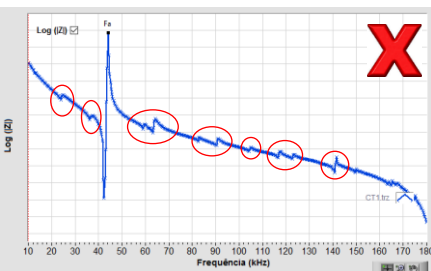

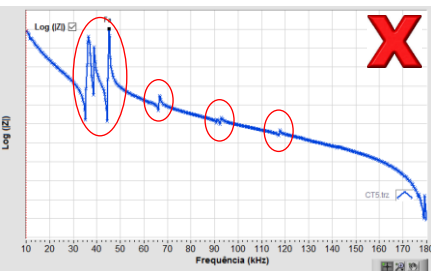
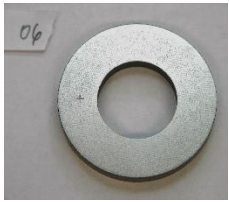
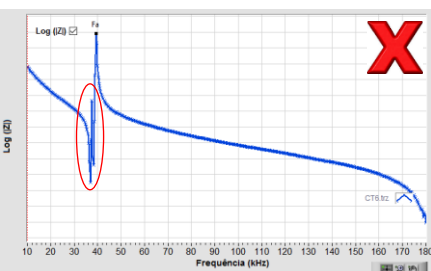
Observação importante: Esta metodologia é pouco sensível à lascados nos cantos das cerâmicas. Cerâmicas com lascados devem ser descartadas mesmo que não estejam trincadas.

5. Exemplos

A Tabela 1 mostra o resultado detalhado da caracterização de uma cerâmica nova e íntegra, de uma cerâmica nova com trinca interna, de uma cerâmica usada com trinca interna e de uma cerâmica nova com defeito indeterminado. Note que o padrão das ressonâncias adicionais, que indicam a presença da trinca, varia caso a caso.

A inspeção visual das cerâmicas foi realizada com um lupa com amplificação de 8x. As superfícies das cerâmicas foram lixadas com bucha abrasiva de grana 2500 e limpas com solvente para a remoção de sujidades que poderiam eventualmente impedir a visualização da trinca.


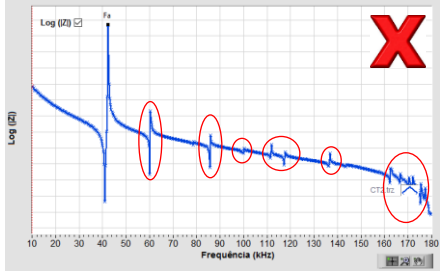

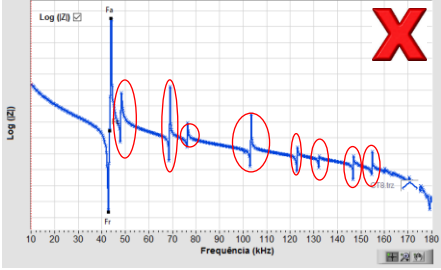
Tabela 1 – Exemplo de testes de cerâmica íntegra, com trinca interna e outros defeitos.

Descrição	Curva obtida com o Analisador TRZ®	Observações
<p>Cerâmica nova e íntegra</p> 		<p>Esta cerâmica nova foi aprovada porque não há ressonâncias adicionais e porque ocorreu uma ressonância principal bem definida. <i>Curiosidade: o logo da ATCP Engenharia Física foi inspirado por este padrão de curva.</i></p>
<p>Cerâmica nova com trinca interna</p> 		<p>Esta cerâmica nova foi reprovada porque foram detectadas múltiplas ressonâncias adicionais. A presença de trinca foi confirmada com o método de ensaio não destrutivo por ultrassom para detecção de descontinuidades.</p>
<p>Cerâmica usada com trinca interna</p> 		<p>Esta cerâmica usada foi reprovada porque há múltiplas ressonâncias adicionais além de perturbações na ressonância principal. A presença de trinca foi confirmada com o método de ensaio não destrutivo por ultrassom para detecção de descontinuidades.</p>
<p>Cerâmica nova com defeito indeterminado</p> 		<p>Esta cerâmica nova foi reprovada porque há uma perturbação na ressonância principal, entretanto não foi possível detectar a presença de trinca com o método de ensaio não destrutivo por ultrassom. O defeito que gerou esta perturbação pode ser uma inhomogeneidade na densidade do material.</p>

A Tabela 2 mostra o resultado detalhado da caracterização de uma cerâmica usada com trinca visível e de uma cerâmica usada quebrada. Estas são situações extremas nas quais a inspeção visual seria suficiente para a reprovação e descarte das peças, o objetivo de apresentá-las aqui é enriquecer os exemplos.

Nestes casos as ressonâncias adicionais são mais acentuadas, mas não muito diferentes das ressonâncias adicionais observadas nas cerâmicas com trinca interna (vide curvas da Tabela 1).

Tabela 2 – Exemplo de teste de cerâmica usada com trinca visível e de cerâmica quebrada (situações extremas nas quais a inspeção visual seria suficiente).

Descrição	Curva obtida com o Analisador TRZ®	Observações
<p>Cerâmica usada com trinca externa/visível</p> 		<p>Esta cerâmica usada foi reprovada porque apresenta trinca visível, além de múltiplas ressonâncias adicionais.</p>
<p>Cerâmica usada quebrada e com segmento faltando.</p> 		<p>A apresentação do teste desta cerâmica quebrada e faltando um pedaço visa apenas ilustrar a aplicação da metodologia em uma situação extrema.</p>

As cerâmicas da Tabela 1 e da Tabela 2 estão disponíveis na ATCP para a realização de treinamentos para a utilização avançada do Analisador TRZ®.

6. Recuperação e reutilização de cerâmicas piezoelétricas

A ruptura de cerâmicas é a principal causa de falha de transdutores e conversores ultrassônicos. A Figura 4 mostra o exemplo um conversor de 35 kHz danificado com destaque para a cerâmica piezoelétrica rompida. Entretanto, nem todas as cerâmicas de um transdutor danificado estão necessariamente comprometidas podendo ser reaproveitadas para a redução de custos de manutenção, principalmente quando se trata de falhas prematuras durante testes de fabricação. Para isso, é necessária uma metodologia que garanta a ausência de trincas nas cerâmicas que serão reutilizadas.

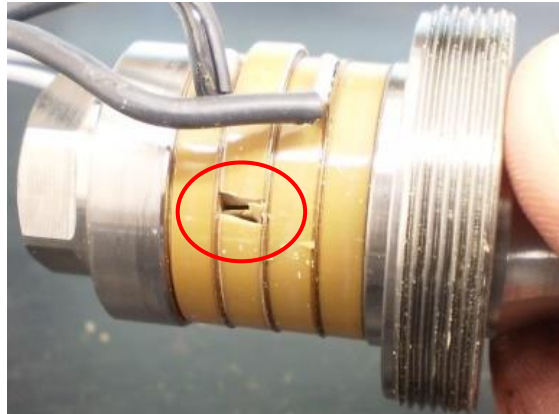


Figura 4 – Conversor ultrassônico com uma cerâmica piezoelétrica rompida. As demais foram reaproveitadas com segurança após o teste para a detecção de trincas internas.

No caso de transdutores e conversores que falharam após um longo período de uso, é muito provável as cerâmicas intactas apresentem uma vida útil reduzida e eventuais alterações nas constantes piezoelétricas, entretanto isso não impede que estas cerâmicas também sejam reutilizadas com sucesso.

Para recuperar cerâmicas usadas, além do teste para a detecção de trincas, é necessário remover o verniz isolante ou resina epóxi que possa estar eventualmente presente nas laterais da cerâmica. Também é recomendável lixar levemente os eletrodos das cerâmicas com uma bucha abrasiva de grana 2500 ou superior para eliminar marcas e sujidades. É importante cuidar para que o lixamento não seja excessivo e remova o eletrodo de prata.

Página do Analisador TRZ®:

<https://www.atcp-ndt.com/pt/produtos/analizador-trz.html>

Analisador TRZ®

Analisador de transdutores e sonotrodos.

