



Manual de Instalação e Operação

**PiezoClamping® - Medidor de pré-compressão e carga para
piezocerâmicas (PCG5)**



ATCP Engenharia Física

Rua Lêda Vassimon, nº 735-A - Ribeirão Preto - SP / Brasil - CEP 14026567

Telefone: +55 (16) 3289-9481 / E-mail: info@atcp-ndt.com

www.atcp-ndt.com

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

Manual de Instalação e Operação

PiezoClamping® - Medidor de pré-compressão e carga para piezocerâmicas (PCG5)

Fabricado por:

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

Rua Lêda Vassimon, 735-A

Ribeirão Preto - SP, CEP 14026567

CNPJ: 03.970.289/0001-60

Inscrição estadual: 797.013.492.110

Indústria Brasileira

www.atcp-ndt.com

Copyright

Copyright © 2023 by ATCP Engenharia Física

Direitos Reservados.

A ATCP Engenharia Física reserva-se
o direito de alterar este manual e o
o produto sem aviso prévio.

Versão 1
Julho / 2023

Índice

1. Introdução	7
2. Definições e simbologia.....	9
3. Aplicações, elementos testáveis, conexão elétrica e ferramentas.....	11
4. Princípio de funcionamento e faixas de medição	13
5. Partes, acessórios e itens opcionais	15
6. Especificações técnicas, identificação dos elementos e instalação	17
7. Configuração, medição e fluxograma geral	21
8. Solução de problemas.....	27
9. Autoteste e aferição	29
10. Ajustes	39
11. Interface para automação	43
12. Assistência técnica, termo de garantia e termo de responsabilidade	47
13. Referências	49

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

1. Introdução

Este manual de instalação e operação contém informações importantes e necessárias para a correta utilização e manutenção do medidor de pré-compressão e carga elétrica para piezocerâmicas PiezoClamping®.



Leia atentamente este manual antes de utilizar o equipamento. A utilização imprópria pode comprometer os resultados e ocasionar danos.

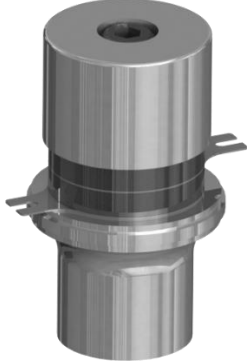
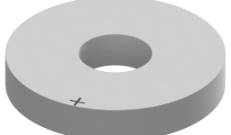
O PiezoClamping® permite medir a pré-compressão em cerâmicas piezoelétricas de transdutores e conversores ultrassônicos de potência tipo Langevin durante o aperto do parafuso. O PiezoClamping® auxilia o usuário de forma prática e acurada fornecendo em tempo real a pré-compressão aplicada às cerâmicas piezoelétricas enquanto estas são progressivamente comprimidas. Também fornece em tempo real os valores de carga elétrica deslocada pelas piezocerâmicas.

Além do objetivo principal de instruir o usuário quanto à instalação, configuração e operação do instrumento, este manual também visa contribuir para entendimento dos conceitos básicos de engenharia ultrassônica e sobre os procedimentos usuais de fabricação de transdutores e conversores ultrassônicos.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

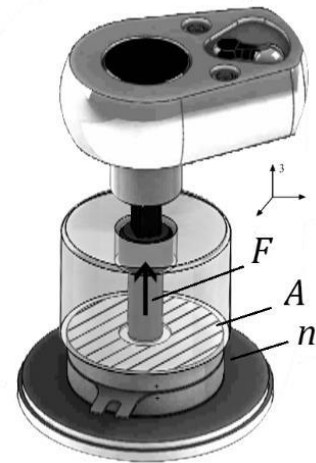
2. Definições e simbologia

2.1. Definições

<p>Transdutor ou conversor ultrassônico: Elemento ressonante utilizado para converter energia elétrica em vibração ultrassônica com uma frequência específica. "Transdutor" é uma denominação geral, "Conversor" é da área de solda por ultrassom.</p> <p><i>Nota: O transdutor é composto por cerâmicas piezoelétricas no formato de anéis comprimidas entre massas metálicas por um parafuso; o contato elétrico é realizado por eletrodos. Este tipo de transdutor, também denominado como tipo Langevin [1], foi desenvolvido originalmente para a aplicação em sonares e teve seu uso posteriormente expandido para aplicações industriais como a solda e a limpeza por ultrassom [2].</i></p>	 <p><i>Transdutor ou conversor ultrassônico de potência típico.</i></p>
<p>Piezocerâmicas: Também denominadas como cerâmicas piezoelétricas, é o elemento ativo que converte energia elétrica em vibração ultrassônica nos transdutores e conversores ultrassônicos. São empregadas usualmente na geometria de anel com as faces planas e metalizadas.</p> <p><i>Nota: A sensibilidade de uma cerâmica piezoelétrica é dada pela constante de carga d_{33}.</i></p>	 <p><i>Anel de piezocerâmica típico.</i></p>
<p>Constante de carga piezoelétrica d_{33}: Proporção entre o total de carga elétrica deslocada e a força aplicada na cerâmica piezoelétrica. A unidade usual da constante de carga d_{33} é pC/N (pico Coulombs por Newton). Valores típicos para as piezocerâmicas de PZT mais comuns:</p> <ul style="list-style-type: none"> - PZT-8 (Navy type III): 245 ± 35 pC/N; - PZT-4 (Navy type I): 290 ± 35 pC/N; - PZT-5A: (Navy type II): 390 ± 35 pC/N. <p><i>Nota: Para valores exatos da constante de carga piezoelétrica d_{33}, consulte o fabricante ou realize a medição com um medidor de constante d_{33}. O PZT-8 é utilizado usualmente em conversores de solda por ultrassom e transdutores médicos, e o PZT-4 em transdutores para limpeza por ultrassom.</i></p>	 $d_{33} = \frac{Q}{F}$ <p><i>Constante de carga d_{33}.</i></p>

Pré-carga do parafuso: Pré-carga é a força de tração "F" criada no parafuso do transdutor pelo alongamento elástico devido à aplicação de torque e rosqueamento. O pré-carregamento (ou aperto) do parafuso é o processo de aplicação dessa pré-carga rosqueando (apertando) o parafuso com uma chave ou torquímetro.

Nota: A pré-carga é proporcional ao torque aplicado, porém, o coeficiente de proporcionalidade é instável devido à alta sensibilidade do coeficiente de atrito da superfície. Por exemplo, qualquer umidade adsorvida é suficiente para lubrificá-la e alterar o coeficiente de proporcionalidade. Esta é a razão pela qual o controle da pré-compressão pelo torque de aperto do parafuso não é confiável.



Pré-carregamento (aperto) do parafuso.


Pré-compressão das piezocerâmicas: Pré-compressão é a pressão média aplicada às cerâmicas pelo pré-carregamento (aperto) do parafuso. Sua função é maximizar simultaneamente a potência de operação e o acoplamento das cerâmicas, garantindo que não se desloquem ao vibrar.

Notas:

A pré-compressão ótima depende essencialmente do stress mecânico máximo suportado pelo material piezoelétrico [3,4], diferentemente do torque de pré-carregamento do parafuso, que varia com a área das cerâmicas e com o coeficiente de atrito do parafuso com as massas metálicas. Os valores típicos para transdutores bem projetados são 45 MPa (6,5 ksi) para cerâmicas de PZT-8, utilizadas em conversores de solda e equipamentos médicos, e 35 MPa (5,1 ksi), para cerâmicas em PZT-4 utilizadas em transdutores de limpeza por ultrassom.

A pré-compressão é um fator determinante para a vida útil, a potência máxima e a eficiência do transdutor. No entanto, o excesso altera as propriedades das cerâmicas e pode causar esmagamento; a falta possibilita o deslocamento lateral das cerâmicas o que leva ao surgimento de trincas, arcs elétricos e curtos-circuitos.

2.2. Simbologia

 Atenção! Perigo!	VAC Tensão alternada	VA Volt-Ampere
VDC Tensão contínua	I Liga o equipamento	O Desliga o equipamento

3. Aplicações, elementos testáveis, conexão elétrica e ferramentas

3.1. Aplicações

O PiezoClamping® constitui uma solução inovadora, robusta e fácil de usar para a fabricação, recuperação e desenvolvimento de transdutores e conversores ultrassônicos de potência. Suas funções e características foram projetadas para oferecer um procedimento de pré-compressão acurado e padronizado para as seguintes áreas:

- Fabricantes de máquinas e equipamentos ultrassônicos de potência;
- Prestadores de serviços de reparo de máquinas de solda por ultrassom e de equipamentos ultrassônicos de potência em geral;
- Grupos de pesquisa, instituições de ensino e departamentos de P&D.

3.2. Elementos testáveis

O PiezoClamping® é capaz de medir a pré-compressão de transdutores e conversores piezoelétricos tipo Langevin [1] e de dispositivos semelhantes em que se aplica pré-compressão em cerâmicas piezoelétricas, como nos exemplos a seguir:

- Conversores para máquinas e equipamentos de corte e solda por ultrassom;
- Transdutores ultrassônicos para equipamentos médicos e odontológicos;
- Transdutores para máquinas e equipamentos de limpeza por ultrassom;
- Transdutores tubulares para sonoreatores e sonoquímica;
- Transdutores para pulverização e atomização;
- Transdutores para máquinas de polimento de feiras.

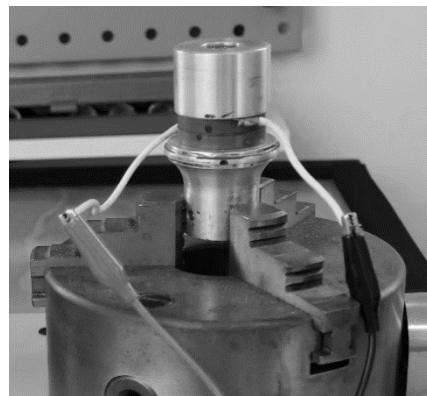
3.3. Conexão elétrica

O PiezoClamping® deve ser conectado ao transdutor por meio da ponta da prova que acompanha o equipamento, e ter os parâmetros de configuração ajustados para as características das cerâmicas e do transdutor que está sendo montado.

As garras jacaré devem ser conectadas nos eletrodos do transdutor ou nos fios ligados a estes como na figura ao lado. A garra vermelha deve ser conectada ao eletrodo positivo (vivo) e a garra preta ao eletrodo em contato elétrico com as massas metálicas (terra).



Conecte o PiezoClamping® antes de iniciar o aperto. Uma descarga de alta tensão do transdutor apertado em circuito aberto pode danificar o equipamento.



Conexão elétrica do PiezoClamping® com o transdutor.

3.4. Ferramentas

O aperto do transdutor ou conversor pode ser realizado com uma chave ou torquímetro de estalo ajustado para um torque igual a 120% do valor médio de torque para se atingir a pré-compressão alvo. A utilização do torquímetro é opcional e visa proteger o parafuso de aperto excessivo no caso de travamentos.



O PiezoClamping® conectado para a medição da pré-compressão durante o aperto do parafuso de um conversor.



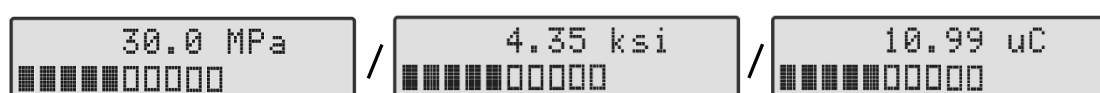
Não conecte o PiezoClamping® em geradores ultrassônicos ou em circuitos energizados, pois isso irá danificar o equipamento. O PiezoClamping® deve ser ligado somente em elementos passivos.

Recomenda-se também a utilização de uma placa de torno ou dispositivo similar com acessórios que possibilitem a fixação do transdutor de forma a impedir a rotação do mesmo durante realização do aperto sem danificá-lo.

4. Princípio de funcionamento e faixas de medição

4.1. Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento do PiezoClamping® consiste em integrar a carga elétrica deslocada pelas cerâmicas piezoelétricas durante o aperto do parafuso do transdutor e, a partir da constante de carga d_{33} e demais características das cerâmicas, calcular a pré-compressão em Mega Pascals (MPa) ou quilo libra por polegada quadrada (ksi). Ao serem comprimidas, as cerâmicas piezoelétricas deslocam uma carga elétrica proporcional à compressão, sendo esta proporcionalidade dada pela constante de carga d_{33} . O PiezoClamping® emprega um processo de medição avançado que proporciona um resultado reproduzível, estável em função do tempo e independente da velocidade de aperto. O usuário pode alterar a velocidade de aperto e realizar pausas no processo sem que haja perda significativa de informação. Além da pré-compressão, o PiezoClamping® também informa a carga elétrica total em micro Coulombs (μC).



Exemplo de telas de medição e resultados do PiezoClamping® com bargraph proporcional ao alvo: pré-compressão em MPa à esquerda, pré-compressão em ksi no centro e a carga elétrica total em μC à direita.

Nota: Uma abordagem tradicional para o controle da pré-compressão consiste no controle do torque de aperto do parafuso, entretanto este método é de baixa acurácia porque a relação entre o torque e a pré-compressão varia drasticamente em função do acabamento superficial, da lubrificação e de eventuais engastes [5]. Outra abordagem tradicional consiste no emprego de um capacitor com um voltímetro para medir a carga elétrica deslocada durante o aperto, esse arranjo é melhor que o controle somente pelo torque, mais também de baixa acurácia porque a carga deslocada pela cerâmica e armazenada pelo capacitor é consumida pelo multímetro tornando a medição instável; adicionalmente, o valor lido é uma tensão elétrica proporcional à força sendo necessário cálculos para a determinação da pré-compressão [4].

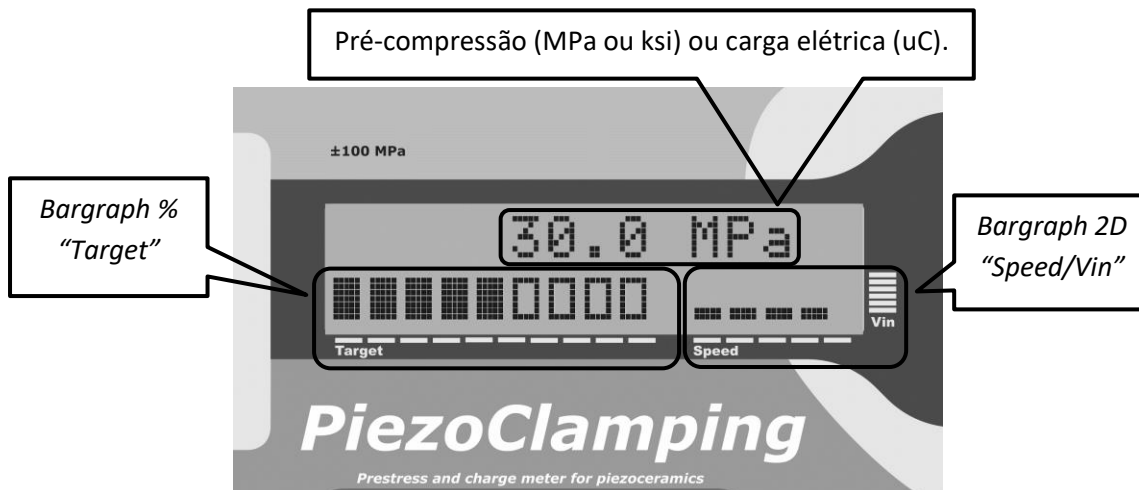
4.2. Faixas de medição

As faixas de medição de pré-compressão do PiezoClamping® são de 0,0 até $\pm 99,9$ Mpa e de 0,00 a $\pm 99,99$ ksi, e a de carga de 0,0 a $\pm 190,0$ μC . A indicação da pré-compressão e carga será negativa se o parafuso for afrouxado em vez de apertado ou se as pontas de prova forem invertidas.

O PiezoClamping® é capaz de testar transdutores e conversores que utilizam de 1 a 99 cerâmicas piezoelétricas em sua montagem com constante de carga d_{33} de 1 a 999 pC/N. Para facilitar a utilização, o PiezoClamping® apresenta a pré-compressão em MPa ou ksi, ou a carga em μC , e também o módulo percentual referenciado no alvo informado pelo usuário. Esta informação percentual é disponibilizada pelo bargraph "Target" que possui dez retângulos quem indicam de 0 a 100% com passos de 10%.

Além do bargraph percentual Target, o display apresenta em seu canto inferior direito o bargraph bidimensional Speed/Vin em que a variação horizontal é proporcional à velocidade de compressão (Speed) e a vertical proporcional à tensão de entrada (Vin).

O bargraph *Speed/Vin* aparece somente durante o processo de aperto, enquanto há deslocamento de carga elétrica.

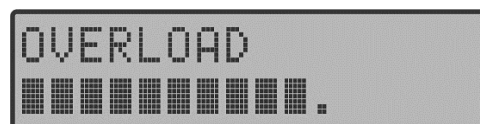


Exemplo de tela durante o processo de medição.



Durante a aplicação da pré-compressão o bargraph *Speed/Vin* não deve atingir os seus limites. Caso isso ocorra para a velocidade, o operador será alertado com um sinal sonoro; caso ocorra para a *Vin*, será exibida a mensagem "overload" e a medida interrompida.

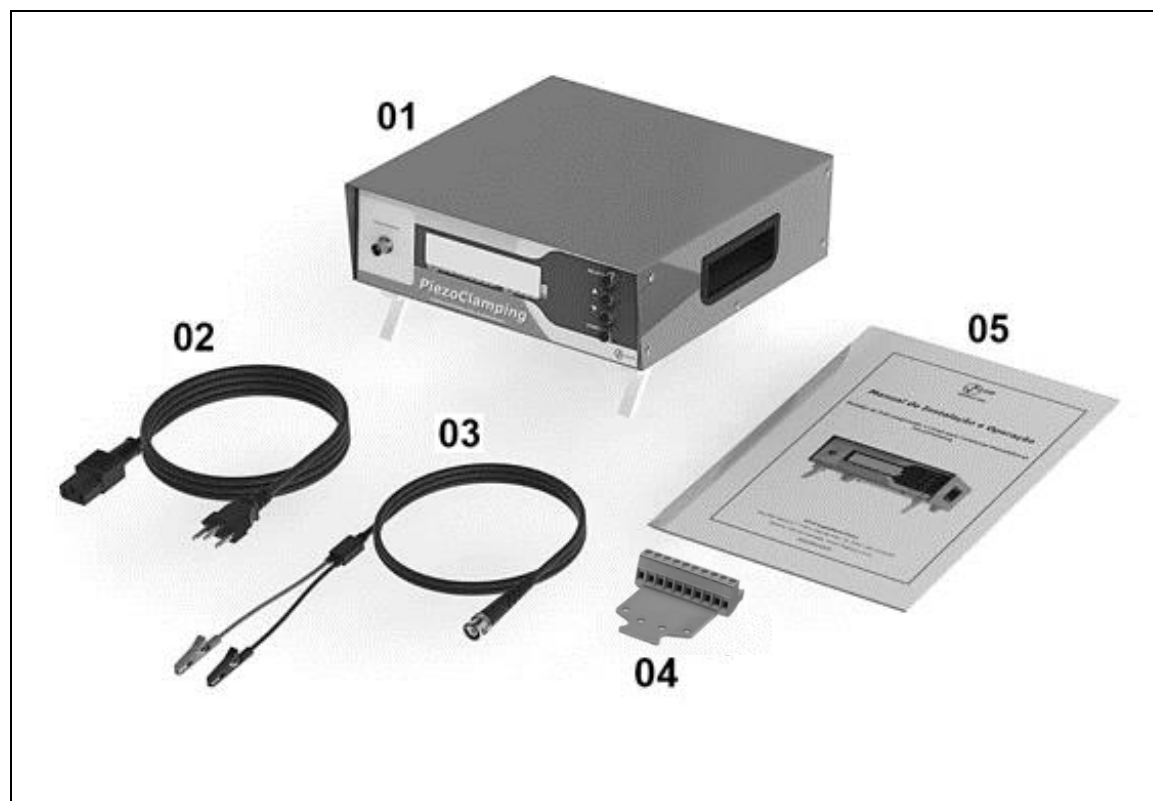
O PiezoClamping® conta com um sistema de autoproteção que ativa um relé para a descarga das cerâmicas piezoelétricas sempre que a tensão de entrada é excedida (quando a dimensão vertical do bargraph *Speed/Vin* atinge o fundo de escala). Neste caso, o PiezoClamping® reinicia a medição automaticamente perdendo a informação sobre a pré-compressão e a carga elétrica. Adicionalmente a tela OVERLOAD (figura abaixo) é apresentada seguida de um aviso sonoro.



Tela com a informação de sobrecarga.

5. Partes, acessórios e itens opcionais

O PiezoClamping® é fornecido com os itens descritos a seguir.



Partes:

01 - PiezoClamping®.

Acessórios:

02 - Cabo de força tripolar de 1,8 metros (padrão ABNT NBR 14136:2012);

03 - Ponta de prova de 1,0 metro com garras jacarés;

04 - Conector MSTB 2,5/10-STZ-5,08 1764303 Phoenix Contact ou similar;

05 - Manual de instalação e Operação.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

6. Especificações técnicas, identificação dos elementos e instalação

6.1. Especificações técnicas

Faixas de medição, precisão e acurácia

Pré-compressão em MPa	0,0 - ± 99,9 MPa
Pré-compressão em ksi	0,00 - ± 99,99 ksi
Carga elétrica	0,0 - ± 190,0 uC
Precisão	± 1 %
Acurácia	± 3 %

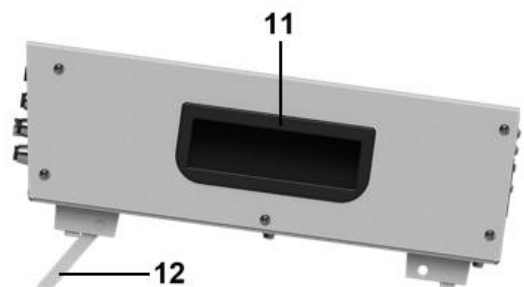
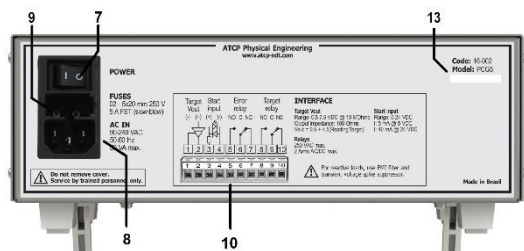
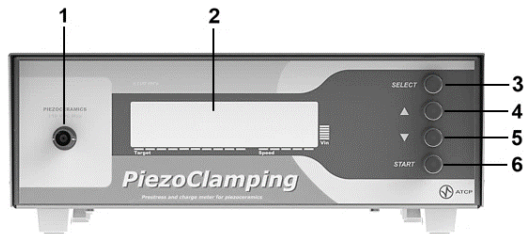
Parâmetros de configuração

Diâmetro externo (<i>Outer diameter</i>)	1,0 - 99,9 mm
Diâmetro interno (<i>Inner diameter</i>)	0,0 - 98,9 mm
Número de piezocerâmicas (<i>Number of piezos</i>)	1 - 99
Constante de carga (d_{33})	10 - 999 pC/N
Pré-compressão alvo em MPa (<i>Target prestress</i>)	1,0 - 99,9 MPa
Pré-compressão alvo em ksi (<i>Target prestress</i>)	1,00 - 99,99 ksi
Tempo de pré-carregamento (<i>Preloading time</i>)	0,1 - 10,0 segundos
Modo de entrada de dimensões (<i>Dim. input mode</i>).....	<i>Typical sizes e Custom</i>
Tensão de disparo (<i>Trigger</i>)	0,4 - 10,0 mV
Ajuste da medição de carga (<i>Z adjust</i>)	0,950 - 1,050
Ajuste da saída Vout em 2,75 V (<i>Cal. Vout @2.75V</i>)	0000 - 0470
Ajuste da saída Vout em 5,00 V (<i>Cal. Vout @5.00V</i>)	0480 - 1023

Demais especificações

Proteção contra choque elétrico	Classe I
Nível de proteção IP	IP40
Modo de operação	Contínuo
Tensão de alimentação	90 - 260 VAC
Frequência	50 - 60 Hz
Potência máxima de consumo (em repouso)	16 Watts rms
Potência máxima de consumo (em operação)	50 Watts rms
Dimensões do equipamento (L x P x A)	260 x 250 x 100 mm
Dimensões da embalagem.....	370 x 330 x 140 mm
Peso do equipamento sem embalagem	3,8 kg
Peso do equipamento com embalagem	4,4 kg
Faixa de temperatura de trabalho.....	De - 10 a + 45 °C

6.2. Identificação dos componentes



[1] Conector "PIEZOCERAMICS":

Conector tipo BNC para a conexão do elemento em teste. A tensão máxima aceitável é de ± 10 VDC.

[2] **Display:** Interface alfanumérica de 2 linhas por 16 caracteres.

[3] **Botão "SELECT":** Botão tipo push-button para selecionar entre a tela de medição e as várias telas de configurações disponíveis.

[4] e [5] **Botões "▲" (Para cima) e "▼" (Para baixo):** Botões tipo push-button para o incremento e decremento de valores. Na tela de medição, possibilitam a seleção entre os modos "MPa", "ksi" ou "uC". Nas telas de configurações possibilitam aumentar, decrementar e selecionar valores.

[6] **Botão "START":** Botão tipo push-button para disparar uma nova medição. Quando acionado, o sistema realiza automaticamente a reinicialização do equipamento para a nova medição.

[7] **Chave "POWER":** Chave que liga e desliga o equipamento.

[8] **AC IN:** Conector de entrada para cabo de alimentação (90-240 VAC automática - 50/60 Hz).

[9] **FUSES:** Fusíveis (02 unidades de 5x20 mm, 250 V, 5 A, tipo lento).

[10] **Interface:** Conector para comunicação externa e automação.

[11] **Alça lateral:** Alça para o manuseio e transporte.

[12] **Haste de inclinação:** Hastes móveis localizadas nos pés dianteiros para elevação opcional da frente do equipamento.

[13] **Número de série.**

6.3. Instalação

Requisitos mínimos:

- Bancada firme, plana e com espaço suficiente para o PiezoClamping® e o transdutor a serem montado;
- Tomada de energia elétrica 90-260 VAC 50-60 Hz com aterramento. Se a rede elétrica não possuir aterramento, utilizar um transformador isolador por segurança;
- Placa de torno, morsa ou dispositivo similar fixo na bancada para segurar a massa frontal do transdutor durante o aperto do parafuso.

Passo-a-passo:

Passo 01 Posicione o equipamento sobre a bancada e regule as hastes de inclinação [12] para a posição que for mais adequada para a visualização do display.



Vista frontal do PiezoClamping® com destaque para as hastes de inclinação.

Passo 02 Conecte o cabo de alimentação no conector AC IN [8] do painel traseiro e em uma tomada com aterramento adequado ou em um estabilizador isolador.

Passo 03 Conecte o conector BNC da ponta de prova fornecida com o equipamento no conector PIEZOCERAMICS [1] localizado no lado esquerdo do painel frontal.



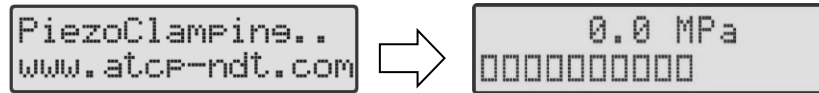
Conector BNC do painel frontal do PiezoClamping®.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

7. Configuração, medição e fluxograma geral

7.1. Configuração para a medição da pré-compressão ou da carga

Passo 01 Ligue o equipamento pela chave POWER [7] no painel traseiro. A mensagem a seguir será apresentada por alguns instantes e sucedida pela tela de medição na última configuração salva, por exemplo, pré-compressão em MPa (também pode ser em ksi ou carga em uC).



Passo 02 Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar entre as alternativas disponíveis de unidade de pré-compressão (MPa ou ksi) e variável de controle (pré-compressão ou carga elétrica) mostradas na tabela a seguir.

0.0 MPa 0000000000	0.00 ksi 0000000000	0.00 uC 0000000000
-----------------------	------------------------	-----------------------

Passo 03 Pressione o botão SELECT [3] para acessar a tela de configuração "Piezo diam. (mm)". Esta tela apresenta as opções de diâmetro externo (OD) e interno (ID) pré-configurados para facilitar a utilização do equipamento. Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar entre as alternativas disponíveis mostradas na tabela a seguir.

Piezo diam. (mm) OD 10.0 ID 4.0	Piezo diam. (mm) OD 10.0 ID 5.0	Piezo diam. (mm) OD 11.0 ID 5.5	Piezo diam. (mm) OD 15.0 ID 6.0
Piezo diam. (mm) OD 20.0 ID 9.8	Piezo diam. (mm) OD 20.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 25.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 25.0 ID 12.0
Piezo diam. (mm) OD 30.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 32.0 ID 10.0	Piezo diam. (mm) OD 32.0 ID 12.0	Piezo diam. (mm) OD 35.0 ID 15.0
Piezo diam. (mm) OD 38.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 38.1 ID 12.7	Piezo diam. (in) OD 1.1/2 ID 1/2	Piezo diam. (mm) OD 38.1 ID 19.1
Piezo diam. (in) OD 1.1/2 ID 3/4	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 12.0	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 17.0
Piezo diam. (mm) OD 40.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 45.0 ID 15.0	Piezo diam. (mm) OD 45.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 46.0 ID 15.8
Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 16.0	Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 17.0	Piezo diam. (mm) OD 50.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 50.8 ID 19.1
Piezo diam. (in) OD 2 ID 3/4	Piezo diam. (mm) OD 50.8 ID 25.4	Piezo diam. (in) OD 2 ID 1	Piezo diam. (mm) OD 55.0 ID 20.0
Piezo diam. (mm) OD 55.0 ID 25.0	Piezo diam. (mm) OD 60.0 ID 20.0	Piezo diam. (mm) OD 60.0 ID 30.0	Piezo diam. (mm) OD 69.0 ID 33.0
Piezo diam. (mm) OD 70.0 ID 30.0	Piezo diam. (mm) OD 70.0 ID 33.0		

Importante: As opções para "Piezo diam. (mm) / (in)" são acessíveis somente se o parâmetro de configuração "Dim. input mode" estiver configurado para "Typical sizes". A opção "Custom" será descrita detalhadamente mais à frente.

Passo 04 Pressione o botão SELECT [3] para acessar a tela de configuração "Number of piezos". Nesta tela, informe a quantidade de cerâmicas piezoelétricas do transdutor que será montado (ajustável de 1 a 99).

```
Number of piezos
4
```

Passo 05 Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar a quantidade.

Passo 06 Pressione o botão SELECT [3] para acessar a configuração "d₃₃". Nesta tela, informe o valor de d₃₃ das cerâmicas piezoelétricas. Os valores típicos são 245 pC/N para PZT-8, 290 pC/N para PZT-4 e 390 pC/N para PZT-5A.

```
d33
225 pC/N
```

Passo 07 Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar o d₃₃.

Passo 08 Pressione o botão SELECT [3] para acessar a configuração "Target prestress" ou "Target charge". Ajuste a pré-compressão alvo em MPa ou em ksi, ou ainda, a carga em uC (de 0,10 a 190,00 uC). Os valores típicos são 45 MPa (6,5 ksi) para PZT-8 e 35 MPa (5,1 ksi) para PZT-4.

```
Target prestress 45.0 MPa , Target prestress 6.53 ksi ou Target charge 32.10 uC
```

Passo 09 Utilize os botões [▲] e [▼] para alterar a pré-compressão ou a carga alvo.

Passo 10 Pressione o botão SELECT [3] para acessar a tela de configuração "Preloading time". Nesta tela, informe o tempo mínimo para o aperto do parafuso do transdutor (de 0,1 a 10,0 segundos).

```
Preloadine time
0.4 s
```

Passo 11 Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar o tempo mínimo de aperto.

Passo 12 Pressione o botão SELECT [3] para a última tela de configuração "Dim. input mode". Há duas opções, "Typical sizes" para utilizar as dimensões pré-configuradas e "Custom" para dimensões personalizadas.

```
Dim. input mode
Typical sizes
```

Passo 13 Utilize os botões [▲] ou [▼] para alterar entre as duas opções disponíveis.

Passo 14 Após configurados todos os parâmetros, pressione o botão SELECT [3] para finalizar a etapa de configuração e voltar à tela de medição.

Importante: Caso o usuário utilize a opção de configuração "Custom" na tela de configuração "Dim. input mode", o equipamento apresentará no início do processo de configuração (descrito anteriormente nos *Passos 02 e 03*) a tela "Outer diameter". Na sequência, pressionando-se o botão SELECT [3], será apresentada a tela "Inner diameter" para a informação das dimensões das cerâmicas. Neste caso, siga os passos abaixo (02a-02d) no lugar dos passos 02 e 03 descritos anteriormente para informar as dimensões das cerâmicas.

Passo 02a Pressione o botão SELECT [3] para acessar a primeira tela de configuração denominada "Outer diameter". Nesta tela deverá ser inserido o diâmetro externo da cerâmica, sendo aceito valores de 1,0 a 99,9 mm.

Passo 02b Utilize os botões [▲] ou [▼] para informar o diâmetro externo (OD).

Passo 02c Pressione novamente o botão SELECT [3] para acessar a próxima tela de configuração denominada "Inner diameter". Nesta tela deverá ser informado o diâmetro interno da cerâmica, sendo aceito os valores de 0,0 a 98,9 mm.

Passo 02d Utilize os botões [▲] ou [▼] para informar o diâmetro interno (ID).

Nota: Se o diâmetro externo for ajustado para valores menores que o diâmetro interno + 1,0 mm, o diâmetro interno será automaticamente ajustado apresentando na tela o aviso "Id adjst" e vice-versa como mostrado a seguir:

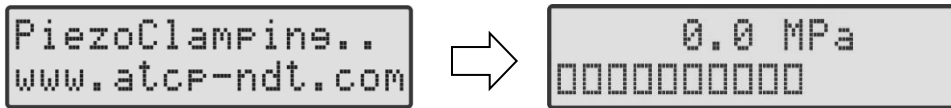
Inner diameter 30.0 mm Od adjst	/	Outer diameter 30.0 mm Id adjst
------------------------------------	---	------------------------------------



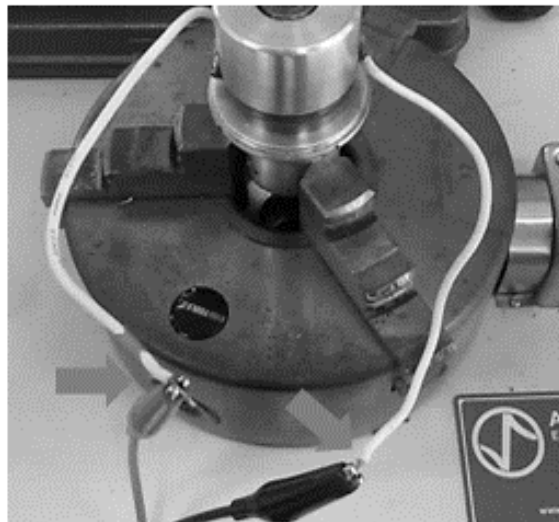
Recomendamos que os valores de d_{33} e pré-compressão ("Target prestress") sejam obtidos do fabricante das cerâmicas e do projeto do transdutor. Na ausência destas informações, considerar o d_{33} igual a 245 pC/N para PZT-8 e 290 pC/N para PZT-4, e a pré-compressão 45 MPa (6,5 ksi) para PZT-8 e 35 MPa (5,1 ksi) para PZT-4.

7.2. Medição da pré-compressão ou carga durante o aperto do parafuso

Passo 01 Ligue o equipamento pela chave POWER [7]. A mensagem inicial será apresentada por alguns instantes e sucedida pela tela de medição. Utilize os botões [▲] ou [▼] para escolher MPa, ksi ou uC. Nesse exemplo, foi selecionado MPa.



Passo 02 Observando a polaridade, conecte as garras jacaré da ponta de prova nos terminais do transdutor, que deverá estar com a massa metálica frontal fixa para possibilitar o aperto do parafuso até se atingir a pré-compressão ou carga alvo.



Passo 03 Configure os parâmetros das cerâmicas no PiezoClamping®. O tópico 7.1 descreve o processo de configuração em detalhes.

Passo 03 Pressione o botão START [6] para iniciar a medição. Neste momento o equipamento realizará o "reset" dos valores e apresentará por alguns segundos a tela "STARTING...". Apresentará também a quantidade e o modelo das cerâmicas configuradas com a finalidade de facilitar a detecção de enganos.



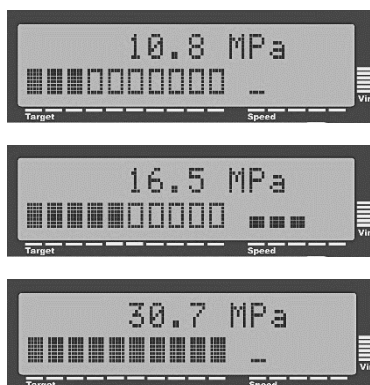
Na sequência, o equipamento apresentará automaticamente a tela inicial de medição e o usuário pode iniciar o aperto do parafuso do transdutor. Essa tela também pode ser em ksi ou uC, dependendo da escolha feita.



Passo 04 Acople a chave ou torquímetro no parafuso do transdutor e aperte progressivamente prestando atenção no display do PiezoClamping®.



Com a progressão do aperto, a pré-compressão ou carga será apresentada em tempo real no display. Na linha inferior, o bargraph será preenchido na proporção em que a pré-compressão ou a carga desejada ("Target prestress" / "Target charge") for alcançada. Cada quadrado preenchido corresponde a 10% do alvo.



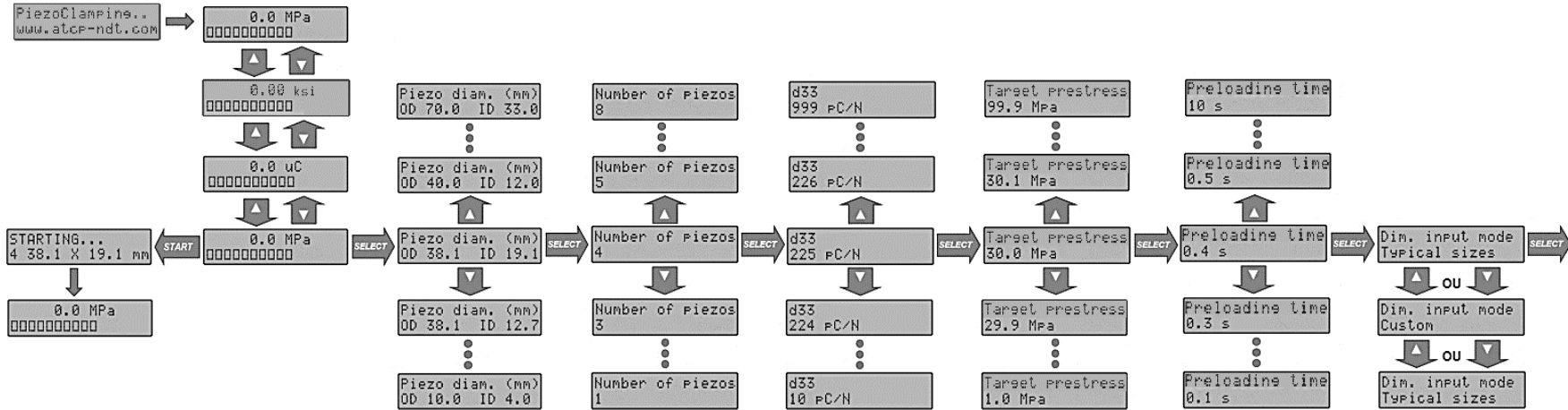
Simultaneamente, o display apresentará um segundo bargraph proporcional à velocidade de aplicação da pré-compressão. É um bargraph 2D com o eixo vertical proporcional à tensão de entrada gerada pelas cerâmicas piezoelétricas e o eixo horizontal proporcional a velocidade de aperto do parafuso. Caso o usuário ultrapasse a velocidade máxima (calculada em função de tempo de carregamento mínimo) ou a tensão de entrada ultrapasse os limites do equipamento (± 10 VDC), esse bargraph bidimensional preencherá toda a escala e um aviso sonoro será emitido para alertar o usuário. Caso ocorra para a tensão, a mensagem "sobrecarga" também será exibida e a medição interrompida.



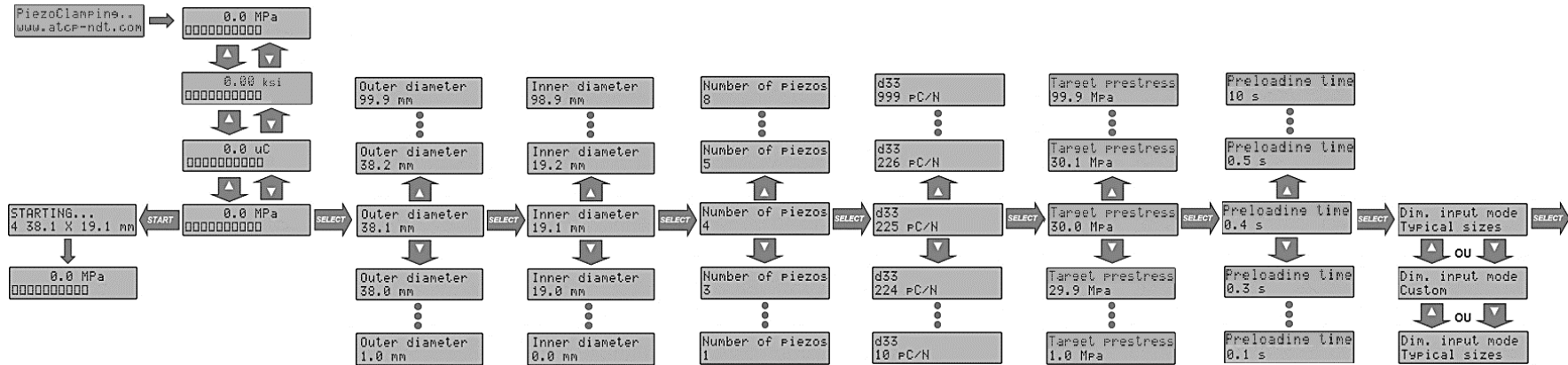
A indicação de pressão ou carga será negativa se o parafuso for afrouxado em vez de apertado ou se os cabos de teste estiverem invertidos.

7.3. Fluxograma geral para o controle por pré-compressão em MPa

Abaixo, o fluxograma de telas do equipamento com a opção "Dim. input mode" configurada para "Typical sizes" e sendo a variável selecionada a pré-compressão em MPa. Nota: O fluxograma para a pré-compressão em ksi e para a carga em uC são análogos a esse.



Abaixo, o fluxograma de telas com a opção "Dim. input mode" configurada para "Custom" e tendo como variável selecionada a pré-compressão em MPa. Nota: O fluxo para a variável selecionada pré-compressão em MPa e para a carga em uC são análogos a esse.



8. Solução de problemas

Problema	Possível Causa	Solução
O PiezoClamping® não liga.	A tomada está sem energia elétrica.	Utilize uma tomada com energia.
	O cabo de alimentação elétrica está desconectado da tomada e/ou do PiezoClamping®.	Conecte o cabo de alimentação.
	A chave [POWER] está na posição "desligada" (O).	Coloque a chave para a posição "ligada" (I).
	O cabo de alimentação elétrica está danificado.	Substitua por outro cabo do mesmo tipo em boas condições.
	Há um fusível queimado.	Troque os fusíveis (02 unidades de 5x20 mm, 250 V, 5 A, tipo lento).
O PiezoClamping® não consegue medir, ou A medição está incoerente, ou As medições não são reprodutíveis.	A ponta de prova está desconectada do equipamento.	Conecte a ponta de prova no conector "PIEZOCERAMICS".
	A ponta de prova está com mal contato ou com um dos fios interrompido.	Troque ou conserte a ponta de prova.
	A ponta de prova está conectada de forma incorreta no elemento em teste.	Verifique se a ponta de prova está ligada nos pinos ou terminais corretos (a ponta vermelha ao vivo e a preta ao terra).
	Os parâmetros de configuração estão incorretos.	Configure corretamente os parâmetros das cerâmicas e confirme que está no modo desejado (pré-compressão em MPa, pré-compressão em ksi ou carga em uC).
	Alguma das cerâmicas está com a polaridade invertida.	Empilhe as cerâmicas na sequência correta.
	O PiezoClamping® está desajustado.	Realize o autoteste, a aferição e o ajuste se necessário (vide tópico 9). Caso não resolva, entre em contato com a ATCP Engenharia Física. Site: www.atcp-ndt.com .
O PiezoClamping® está detectando sinal sem a cerâmica estar sendo apertado, ou mesmo sem ponta de prova.	O PiezoClamping® está captando interferências eletromagnéticas do ambiente.	Verifique o aterramento e aumente o nível de trigger se necessário (tópico 9.4). Caso o problema persista, entre em contato com a ATCP Engenharia Física. Site: www.atcp-ndt.com .

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

9. Autoteste e aferição

O PiezoClamping® foi projetado com recursos e acessórios para facilitar a identificação de problemas e o atendimento de Sistemas de Gestão da Qualidade exigentes, como os dos fabricantes de equipamentos médicos. A tabela abaixo apresenta as alternativas para testar e aferir o PiezoClamping®.

Alternativas para testar e aferir o PiezoClamping®.

#	Descrição	Carga(s)	Incerteza
1	Autoteste	47,0 uC	± 12,0 %
2	Aferição c/ o PiezoClamping® Calibration Kit	5,5, 11,0, 16,5 e 22,0 uC	± 12,8 %
3	Aferição com capacitor e fonte de tensão de precisão	Arbitrária(s)	Depende das características do capacitor e da fonte.
4	Calibração pela ATCP	5,5, 11,0, 16,5 e 22,0 uC	Típica de ± 3,1 %

O recurso "Autoteste" do PiezoClamping® consiste na medição de uma descarga interna de 47,0 uC ± 12 %. Esse recurso é suficiente para testes funcionais rápidos como parte do processo produtivo, por exemplo, no início de cada turno de trabalho. Entretanto, é limitado a uma única carga (47,0 uC) e com incerteza muito maior que a precisão e a acurácia nominal do PiezoClamping® combinadas (± 4 %). *Nota: A faixa de medição de carga do PiezoClamping® é de 0,0 a ± 190,0 uC.*

O recurso da aferição com o acessório PiezoClamping® Calibration Kit possui incerteza semelhante à do autoteste, porém é mais robusto por contemplar quatro cargas (5,5, 11,0, 16,5 e 22,0 uC) na faixa de cargas de transdutores com 2 cerâmicas piezoelétricas. Por exemplo, um transdutor com duas cerâmicas em PZT-8 e pré-compressão de 45 MPa irá gerar aproximadamente 18,75 uC com o pré-carregamento (aperto) do parafuso. A aferição do PiezoClamping® com o acessório Calibration Kit pode ser realizada esporadicamente pelo usuário, o que permite o alongamento do intervalo de calibração do instrumento ou mesmo o envio do Calibration Kit para calibração em vez do PiezoClamping® em si.

O recurso da aferição com capacitor e fonte de tensão de precisão é semelhante ao recurso do PiezoClamping® Calibration Kit, porém com maior flexibilidade quanto às cargas dos pontos de calibração para que estes compreendam as cargas típicas dos transdutores sendo fabricados. Entretanto, o procedimento experimental é mais elaborado e requer itens específicos, o que restringe essa opção para usuários com boa infraestrutura metrológica.

O recurso da calibração pela ATCP Engenharia Física é o mais simples do ponto de vista executivo do cliente e o que confere menor incerteza (típica de ± 3,1 %). Porém, é um serviço de maior custo e requer a interrupção do uso e a remessa do equipamento. O intervalo de calibração recomendado pela ATCP é de 3 anos quando o equipamento for utilizado em ambiente de laboratório e de 1 ano quando for utilizado no chão de fábrica. *Nota: O intervalo ideal deve ser determinado pelo usuário em função das particularidades de sua aplicação.*

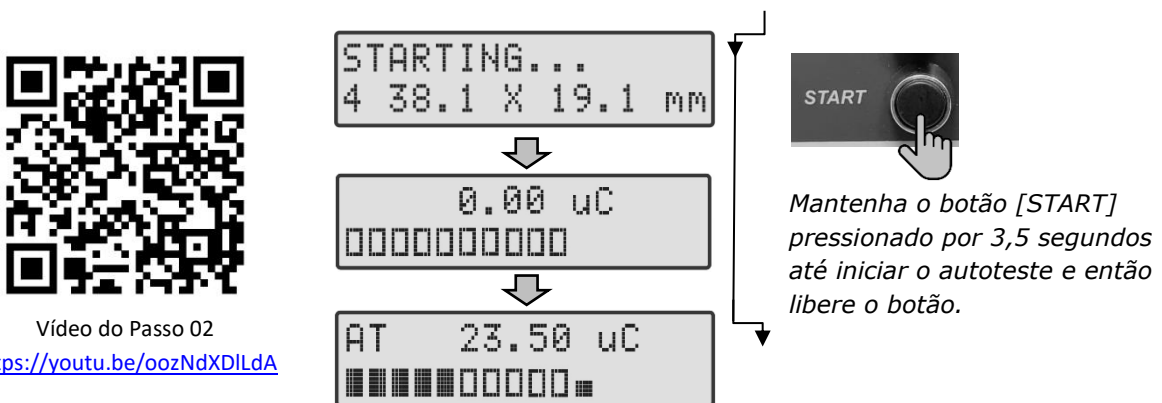
9.1. Autoteste

Para garantir a qualidade em aplicações críticas, o PiezoClamping® é capaz de realizar um autoteste, que consiste em descarregar e medir internamente uma carga de 47,0 $\mu\text{C} \pm 12\%$. O julgamento do resultado pelo equipamento também é automático.

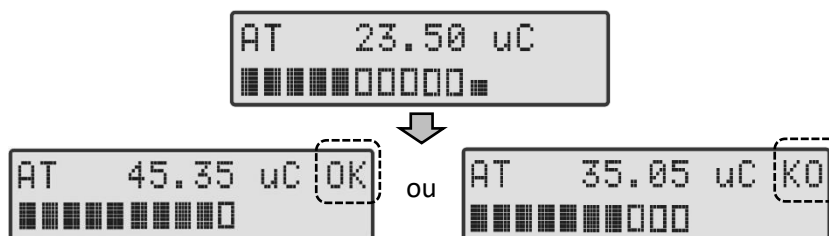
Passo-a-passo para o autoteste:

Passo 01 Ligue o PiezoClamping® e desconecte a ponta de prova do conector BNC.
Nota: Para o autoteste, não deve haver nada conectado ao conector BNC do painel do equipamento.

Passo 02 Mantenha o botão [START] pressionado continuamente por 3,5 segundos até surgir a última tela da sequência abaixo (a tela com as letras "AT" no início da primeira linha). Iniciado o autoteste, solte o botão. *Nota: A segunda tela pode ser diferente dependendo da última configuração.*



Passo 03 Verifique a informação que aparece no final da primeira linha após passado o tempo de 5 segundos para a descarga interna. Se for "OK", o equipamento foi aprovado, se for "KO" o equipamento falhou. Após apresentar o resultado, o equipamento se reiniciará automaticamente.



Notas: Para que o resultado seja "OK" é necessário que a carga medida esteja no intervalo de 41,36 a 52,64 μC (47,00 $\mu\text{C} \pm 12\%$). Como a incerteza da descarga é de $\pm 12\%$, pode ser que o bargraph não esteja completo ou apareça um ">" após o último quadrado, e mesmo assim o resultado seja "OK". Se o resultado for "KO", enviar o instrumento para calibração pela ATCP Engenharia Física.

9.2. Aferição

Neste tópico é descrito o procedimento típico de aferição do PiezoClamping®. Para realiza-lo é necessário o acessório PiezoClamping® Calibration Kit ou os seguintes itens: capacitor de precisão com capacitância nominal de 2,2 uF e incerteza conhecida e fonte de tensão de precisão com tensão entre 2,5 e 10,0 VDC e incerteza conhecida. O PiezoClamping® Calibration Kit e a combinação de capacitor e fonte de tensão mencionada proporciona cargas na faixa de 5,5 a 22,0 uC, o que coincide com a faixa típica de cargas para transdutores de 2 cerâmicas piezoelétricas. Por exemplo, um transdutor com duas cerâmicas em PZT-8 e pré-compressão de 45 MPa irá gerar aproximadamente 18,75 uC ao ser apertado. Para a aferição com outras cargas, pode-se empregar capacitâncias maiores ou menores, conforme a necessidade.

Passo-a-passo para a aferição utilizando o Calibration Kit:

A imagem abaixo mostra o PiezoClamping® Calibration Kit. A seguir é apresentado o passo-a-passo resumido para a sua utilização. Para mais detalhes, por favor, consulte o respectivo manual.

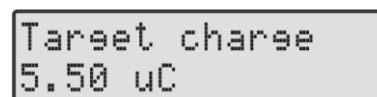


PiezoClamping® Calibration Kit

Passo 01 Ligue o PiezoClamping® e pressione o botão [▼] para acessar a opção carga, como ilustrado abaixo.



Passo 02 No Calibration Kit, escolha a carga (5,50, 11,00, 16,50 ou 22,00 uC). No PiezoClamping®, pressione o botão [SELECT] para acessar a tela "Target charge" e informe a carga esperada (Q_E). *Nota: A carga esperada Q_E é igual ao valor de carga selecionada no Calibration Kit ou a reportada no respectivo certificado de calibração.*

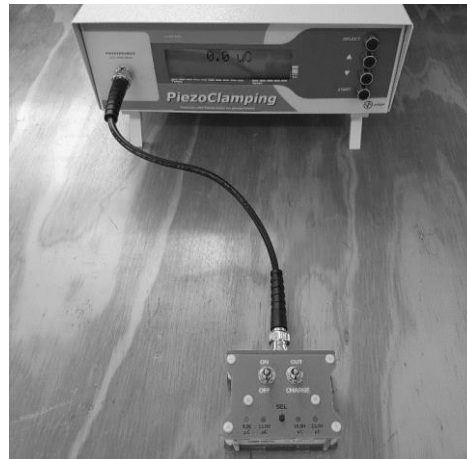


Passo 03 Utilize a Equação (1) para calcular a incerteza combinada (I_{QE}) da carga que será descarregada no PiezoClamping® pelo Calibration Kit com a incerteza de medição do próprio PiezoClamping®.

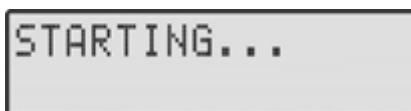
$$I_{QE} = 2 * Q_E * \sqrt{\left(\frac{I_{CK}}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_{PZC}}{100}\right)^2} \quad (1)$$

Onde I_{CK} é a incerteza percentual do PiezoClamping® Calibration Kit e I_{pzc} é a incerteza percentual de medição do PiezoClamping®. A incerteza do PiezoClamping® pode ser considerada igual a 4% (acurácia + precisão). A incerteza do Calibration Kit é de 5%, mas pode ser menor caso tenha sido calibrado com uma referência de maior precisão (verifique o respectivo certificado de calibração).

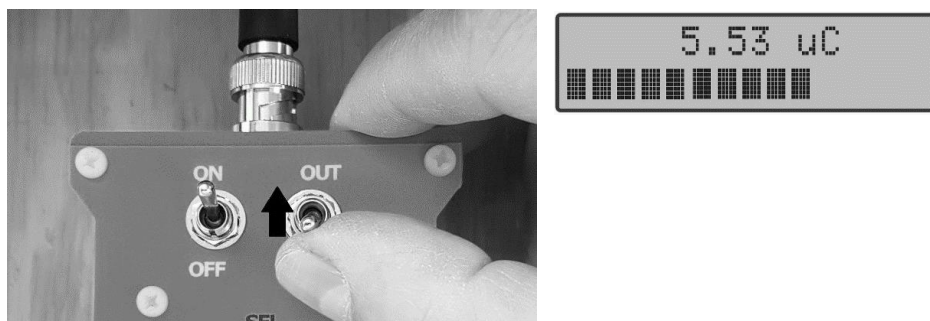
Passo 04 Ligue e conecte o Calibration Kit ao PiezoClamping® com um cabo BNC-BNC. *Nota: Se o Calibration Kit estiver descarregado, recarregue empregando um carregador de celular e um cabo micro USB.*



Passo 05 Pressione o botão [START] para zerar o equipamento e iniciar uma nova medição de carga.



Passo 06 Descarregue o Calibration Kit no PiezoClamping® e anote a carga medida pelo equipamento. Repita os passos 05 e 06 por cinco vezes e calcule a média das medições ($\overline{Q_m}$).



Passo 08 A média das medições ($\overline{Q_m}$) deve estar dentro do intervalo dado pela Equação 2:

$$(Q_E - I_{QE}) \leq \overline{Q_m} \leq (Q_E + I_{QE}) \quad (2)$$

Repita os passos de 1 a 8 para as demais cargas do Calibration Kit. Caso a média das medições pelo PiezoClamping® fique fora do intervalo acima ou da exatidão desejada, é necessário o ajuste do PiezoClamping®. Vide tópico "10. Ajustes" ou envie o equipamento para calibração e ajuste pela ATCP Engenharia Física.

Exemplo de aferição usando o PiezoClamping® Calibration Kit

Parâmetros e intervalo para a carga de 5,50 uC:

Parâmetro	Valor	Nota
Q _E	5,50 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	0,704 uC (12,8 % de 5,5 uC)	Cálculo pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	6,204 uC	
Q _E - I _{QE}	4,796 uC	
Intervalo de aceite:	$4,80 \leq \overline{Q}_m \leq 6,20 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 11,00 uC:

Parâmetro	Valor	Nota
Q _E	11,00 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,408 uC (12,8 % de 11,00 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	12,41 uC	
Q _E - I _{QE}	9,59 uC	
Intervalo de aceite:	$9,59 \leq \overline{Q}_m \leq 12,41 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 16,50 uC:

Parâmetro	Valor	Nota
Q _E	16,50 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,112 uC (12,8 % de 16,50 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	18,61 uC	
Q _E - I _{QE}	14,39 uC	
Intervalo de aceite:	$14,39 \leq \overline{Q}_m \leq 18,61 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 22,00 uC:

Parâmetro	Valor	Nota
Q _E	22,00 uC	
I _{CK}	5%	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,816 uC (12,8 % de 22,00 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	24,82 uC	
Q _E - I _{QE}	19,18 uC	
Intervalo de aceite:	$19,18 \leq \overline{Q}_m \leq 24,82 \mu\text{C}$	

Cargas medidas versus intervalos de aceite:

Carga nominal	Intervalo de aceite	Carga medida média ($\overline{Q_m}$)	Julgamento
5,50 μC	$4,80 \leq \overline{Q_m} \leq 6,20 \mu\text{C}$	5,53 μC	No intervalo
11,00 μC	$9,59 \leq \overline{Q_m} \leq 12,41 \mu\text{C}$	11,30 μC	No intervalo
16,50 μC	$14,39 \leq \overline{Q_m} \leq 18,61 \mu\text{C}$	16,93 μC	No intervalo
22,00 μC	$19,18 \leq \overline{Q_m} \leq 24,82 \mu\text{C}$	22,58 μC	No intervalo

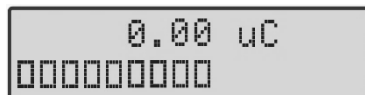
Como os valores medidos pelo PiezoClamping® estão dentro dos intervalos esperados, o equipamento muito provavelmente está em ordem. Caso estivesse(m) fora, seria necessário o ajuste o ajuste do PiezoClamping® para a medição de carga, conforme descrito no tópico 10.



É recomendável que o PiezoClamping® Calibration Kit esteja calibrado.

Passo-a-passo utilizando um capacitor e uma fonte de tensão de precisão:

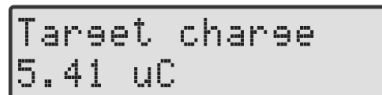
Passo 01 Ligue o PiezoClamping® e pressione o botão [▼] para acessar a opção carga mostrada abaixo.



Passo 02 Utilize a equação (3) abaixo para calcular a carga esperada (Q_E) em função da capacitância (C) e da tensão (V) empregadas.

$$Q_E = C \times V \quad (3)$$

Pressione o botão [SELECT] para acessar a tela "Target charge" e informe o valor esperado de carga (Q_E) calculado, como no exemplo abaixo.



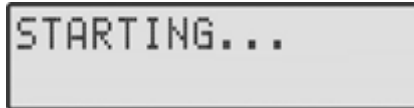
Passo 03 Utilize a Equação (4) para calcular a incerteza combinada (I_{QE}) da carga que será descarregada no PiezoClamping® com a incerteza do próprio PiezoClamping®.

$$I_{QE} = 2 * Q_E * \sqrt{\left(\frac{I_V}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_C}{100}\right)^2 + \left(\frac{I_{PZC}}{100}\right)^2} \quad (4)$$

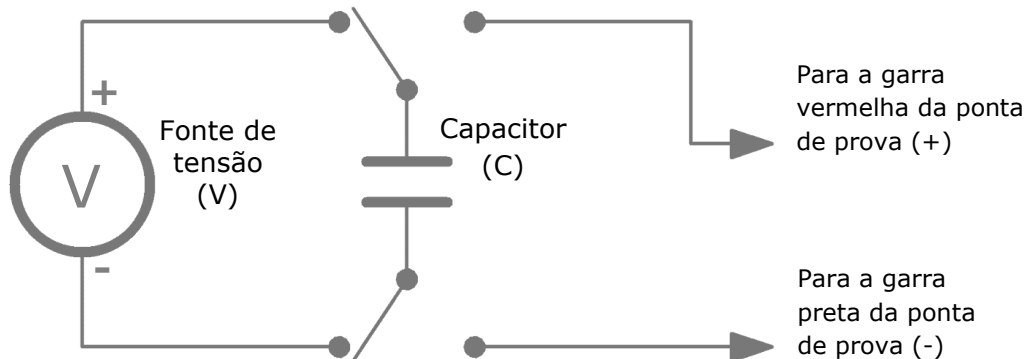
Onde I_V é incerteza percentual da fonte de tensão, I_C é incerteza percentual do capacitor e I_{PZC} é a incerteza percentual de medição do PiezoClamping®. A incerteza do PiezoClamping® pode ser considerada como igual a 4% (acurácia + precisão).

Passo 04 Conecte a ponta de prova fornecida com o equipamento ao conector "PIEZOCERAMICS" localizado do painel frontal do instrumento.

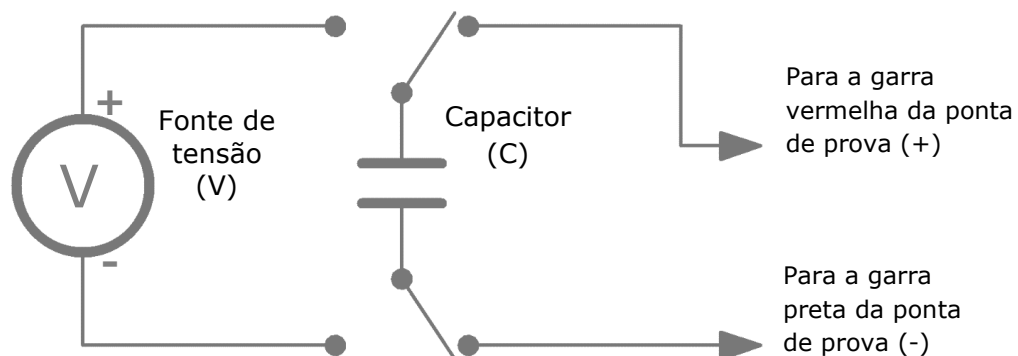
Passo 05 Pressione a tecla [START] para zerar o equipamento e iniciar uma nova medição de carga.



Passo 06 Conecte a fonte de tensão ao capacitor para carregá-lo, como ilustrado na figura a seguir.



Passo 07 Desconecte o capacitor da fonte de tensão e conecte-o à entrada do PiezoClamping® como na figura abaixo, para que a carga do capacitor seja descarregada e medida pelo PiezoClamping®. Não toque nos terminais do capacitor durante o processo. Após a descarga, anote o valor obtido. Repita os passos 06 e 07 por cinco vezes e calcule a média ($\overline{Q_m}$).



Passo 08 A média das medições do PiezoClamping® ($\overline{Q_m}$) deve estar no intervalo dado pela Equação 5:

$$(Q_E - I_{QE}) \leq \overline{Q_m} \leq (Q_E + I_{QE}) \quad (5)$$

Se a média das medições pelo PiezoClamping® ficar fora do intervalo da equação (5), é necessário ajustar o PiezoClamping® para a medição de carga. Vide tópico "10. Ajustes" ou envie o equipamento para calibração e ajuste pela ATCP Engenharia Física.

Exemplo de aferição com capacitor e fonte de tensão

Dispositivos utilizados:

- Capacitor bipolar de 2,1630 uF com 2,7% de incerteza (modelo comercial equivalente: KEMET F461DO225G250L).
- Referência de tensão modelo AD584-M (4 tensões de saída selecionáveis: 2,5000 V; 5,0000 V; 7,5000 V e 10,0000V com incerteza de 0,1%).

Cálculo dos intervalos de aceite:

Parâmetros e intervalo para a carga de 5,41 uC:

Parâmetro	Valor	Observação
C	2,1630 uF	
V	2,5000 V	
Q _E	5,41 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	0,522 uC (9,65 % de 5,41 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	5,932 uC	
Q _E - I _{QE}	4,888 uC	
Intervalo de aceite:	$4,89 \leq \overline{Q_m} \leq 5,93 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 10,81 uC:

Parâmetro	Valor	Observação
C	2,1630 uF	
V	5,0000 V	
Q _E	10,81 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,043 uC (9,65 % de 10,81 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	11,85 uC	
Q _E - I _{QE}	9,77 uC	
Intervalo de aceite:	$9,77 \leq \overline{Q_m} \leq 11,85 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 16,22 uC:

Parâmetro	Valor	Observação
C	2,1630 uF	
V	7,5000 V	
Q _E	16,22 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	1,565 uC (9,65 % de 16,22 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	17,78 uC	
Q _E - I _{QE}	14,56 uC	
Intervalo de aceite:	$14,56 \leq \overline{Q_m} \leq 17,78 \mu\text{C}$	

Parâmetros e intervalo para a carga de 21,63 uC:

Parâmetro	Valor	Observação
C	2,1630 uF	
V	10,0000 V	
Q _E	21,63 uC	
I _v	0,1 %	
I _c	2,7 %	
I _{PZC}	4%	
I _{QE}	2,087 uC (9,65 % de 21,63 uC)	Cálc. pela eq. (3)
Q _E + I _{QE}	23,71 uC	
Q _E - I _{QE}	19,54 uC	
Intervalo de aceite:	$19,54 \leq \overline{Q}_m \leq 23,71$ uC	

Cargas medidas versus intervalos de aceite:

Carga nominal	Intervalo de aceite	Carga medida média (\overline{Q}_m)	Julgamento
5,50 µC	$4,89 \leq \overline{Q}_m \leq 5,93$ µC	5,54 µC	No intervalo
11,00 µC	$9,77 \leq \overline{Q}_m \leq 11,85$ uC	11,06 µC	No intervalo
16,50 µC	$14,56 \leq \overline{Q}_m \leq 17,78$ µC	16,75 µC	No intervalo
22,00 µC	$19,54 \leq \overline{Q}_m \leq 23,71$ uC	22,04 µC	No intervalo

Como os valores medidos pelo PiezoClamping® estão dentro dos intervalos esperados, o equipamento muito provavelmente está em ordem. Caso estivesse(m) fora, seria necessário o ajuste da medição de carga conforme descrito no tópico 10.



É recomendável que o capacitor e a fonte de tensão utilizados estejam calibrados.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)


10. Ajustes

10.1. Ajuste da medição de carga elétrica

É possível ajustar o PiezoClamping® para a medição de carga elétrica. Este ajuste é necessário quando o equipamento é reprovado no autoteste ou na aferição. Para tanto, é necessária uma fonte de carga elétrica de precisão. Na ATCP, como parte de processo de fabricação, o PiezoClamping® é ajustado com a descarga de $\pm 21,63 \mu\text{C} \pm 3 \%$.

Passo-a-passo:

Passo 01 Acesse o menu de ajuste ligando o PiezoClamping® pela chave [POWER] enquanto mantém os botões [SELECT] e [▲] pressionados simultaneamente. Solte os botões somente quando o equipamento mostrar o fator de correção "Z adjust" na primeira linha. Ajuste o fator "Z adjust" para 1.000, como mostrado abaixo, e desligue/ligue o equipamento para salvar e sair do modo de ajuste.



Notas: Na segunda linha é informada a versão do firmware do equipamento. Os valores podem ser diferentes dos ilustrados.

Passo 02 Meça a carga de referência 10 vezes, sendo 5 vezes com a polaridade invertida, e calcule a média e o desvio padrão do valor absoluto dos resultados para obter $\overline{Q_m}$ com a equação (6).

$$\overline{Q_m} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} |Q_m| \quad (6)$$

Passo 03 Calcule o novo fator "Z adjust" empregando a equação (7). O "Z adjust" é um fator multiplicativo da medição de carga/pré-compressão e deve ser alterado na proporção inversa do desvio observado na aferição da carga elétrica empregando a equação (6). Q_e é o valor de carga esperado e igual ao módulo da carga elétrica descarregada.

$$Z \text{ adjust}_{\text{novo}} = \left(\frac{Q_e}{Q_m} \right) Z \text{ adjust}_{\text{atual}} \quad (7)$$

Nota: O valor máximo para o parâmetro "Z adjust" é 1050 e o mínimo 950. Se o valor necessário estiver fora desse intervalo, o equipamento pode estar danificado e o ajuste será impossível sem o devido reparo.

Passo 04 Acesse novamente o menu de ajuste ligando o PiezoClamping® pela chave [POWER] enquanto mantém os botões [SELECT] e [▲] pressionados simultaneamente. Insira o novo fator "Z adjust" calculado pela equação (7). Desligue/ligue o equipamento para salvar e sair do modo ajuste.

Passo 05 Realize um autoteste ou aferição para confirmar que o ajuste foi bem sucedido.

Exemplo de ajuste

Os dispositivos utilizados para o ajuste foram o comutador de carga, a década capacitiva e a fonte de tensão mostrados abaixo. A década capacitiva foi selecionada para 0,2219 uF e a fonte de tensão para 10,000 Volts. Tanto a década quanto a fonte estavam calibradas com rastreabilidade ao Sistema Internacional de Unidades e à Rede Brasileira de Calibração. Esse arranjo possibilita a geração da carga de referência de $\pm 21,63 \text{ uC} \pm 3 \%$ e é empregado na ATCP no ajuste do PiezoClamping®.



Comutador de carga, década capacitiva e fonte de tensão de precisão.

A tabela abaixo apresenta os resultados das medições da carga após o equipamento ter o parâmetro "Z adjust" ajustado para 1000. *Nota: Como a precisão nominal do PiezoClamping® é de 1,0%, espera-se que o desvio padrão das medições seja menor que 1,0% (foi de 0,7%).*

Resultados após o equipamento ter o parâmetro "Z adjust" ajustado para 1000

Medição #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (uC)	22,25	22,28	22,49	22,41	21,99	-22,30	-22,28	-22,42	-22,19	-22,08

- Média do módulo da carga medida: 22,27 uC;
- Desvio padrão do módulo da carga medida: 0,15 uC (0,7 %).

Cálculo do valor ideal para o fator "Z adjust" pela equação (7):

$$Z_{adjust_{novo}} = \left(\frac{21,63}{22,27} \right) 1000 = 971$$

$$Z_{adjust_{novo}} = 971$$

A tabela a seguir apresenta os resultados das medições da carga de referência após o equipamento ter o parâmetro "Z adjust" ajustado para o valor calculado de 971.

Resultados após o equipamento ter o parâmetro "Z adjust" ajustado para 971

Medição #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Carga (uC)	21,54	21,86	21,73	21,53	21,73	-21,52	-21,33	-21,71	-21,39	-21,39

- Média do módulo: 21,57 uC (0,3% abaixo da carga de referência, o que é muito menor que exatidão nominal do equipamento de 4%);
- Desvio padrão do módulo: 0,18 uC (0,8 %).

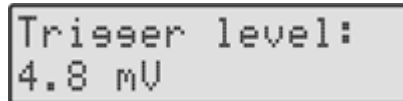
Note que o desvio da carga média medida com a carga de referência foi de somente - 0,3%, o que é muito menor que a exatidão nominal do equipamento (4 %) e menos de 1/3 da precisão nominal (1%).

10.2. Ajuste do nível de disparo da medição

É possível ajustar o nível de tensão de disparo para a aquisição de sinal pelo PiezoClamping® alterando o parâmetro "Trigger level". Este procedimento pode ser necessário em ambientes com níveis de interferência eletromagnética capazes de disparar a medição sem que haja um transdutor conectado ou sendo apertado.

Passo-a-passo:

Passo 01 Acesse o menu de ajuste ligando o PiezoClamping® pela chave [POWER] enquanto mantém os botões [▼] e [▲] pressionados simultaneamente. Solte os botões [▼] e [▲] somente quando o equipamento mostrar o parâmetro "Trigger level" como abaixo (o valor de fábrica é 4,8 mV):



Passo 02 Ajuste o parâmetro "Trigger level" utilizando os botões [▼] e [▲]. O "Trigger level" é o parâmetro de referência empregado pelo PiezoClamping® para determinar se a tensão no conector de entrada é um sinal real ou ruído.

Passo 03 Para sair do modo de ajuste, desligue e ligue o PiezoClamping® utilizando a chave [POWER]. O novo valor de "Trigger level" será salvo automaticamente.

O ajuste do nível de trigger é necessário raramente. Usualmente, os problemas com a medição de ruídos estão relacionados a falta de aterramento na tomada de alimentação, o que é facilmente corrigível sem a necessidade de contorno pelo ajuste do nível de disparo.



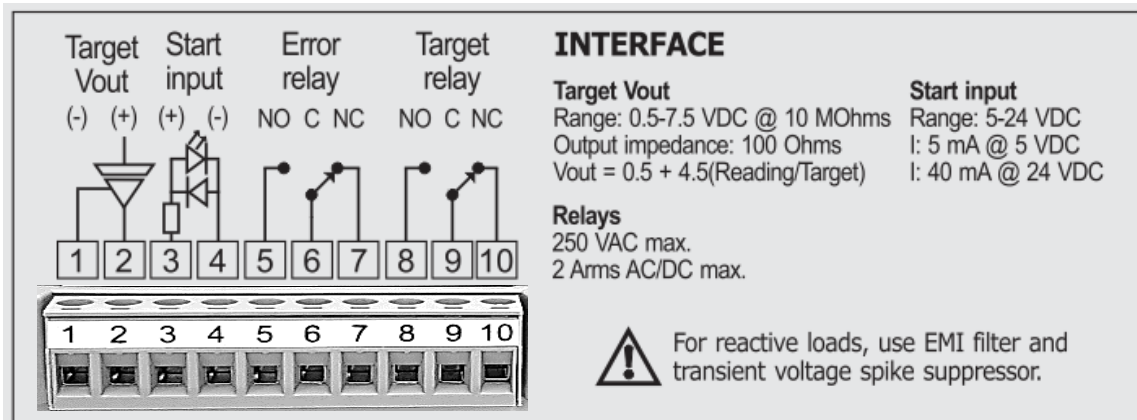
O parâmetro "trigger level" deve ser mantido o mais próximo possível de 4,8 mV; valores acima causarão a perda de informações e a diminuição da exatidão do equipamento.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

11. Interface para automação

11.1. Descrição das entradas e saídas

O PiezoClamping® possui uma interface para automação, conforme detalhado a seguir. Essa interface permite o controle remoto do equipamento e a transmissão em tempo real da pré-compressão ou carga percentual com relação ao alvo.



Interface do PiezoClamping® localizada no painel traseiro.

Entradas e saídas:

“Target Vout”: Saída de tensão analógica isolada proporcional à variável selecionada (pré-compressão ou carga). A faixa de tensão de saída é de 0,5 a 7,5 VDC para altas impedâncias (para 1 k Ohms, a tensão máxima de saída é de aproximadamente 7,3 VDC). A equação (8) descreve a correlação entre Vout em altas impedâncias, a variável selecionada (*Leitura*) e o alvo (*Alvo*).

$$Target\ Vout = 0,5 + 4,5 \left(\frac{Leitura}{Alvo} \right) \quad (8)$$

A medição do sinal deve ser realizada na posição '2' (+) do conector sendo a posição '1' a referência (-). *Nota: Essa saída pode ser calibrada em função da impedância do circuito acoplado, conforme procedimento descrito no tópico 11.2.*

“Start input”: Entrada isolada para iniciar uma nova medição. Atua da mesma forma que o botão START [6]. A faixa de tensão de entrada é de 5 a 24 VDC. O sinal deve ser injetado na posição '3' do conector (+), sendo a '4' a referência (-).

“Error relay”: Saída isolada onde um relé SPDT é acionado no momento em que ocorre um erro ou sobrecarga. É possível utilizar tanto o contato normalmente fechado (NC, posição '7' do conector) quanto o contato normalmente aberto (NO, posição '5' do conector). O contato comum (C) está disponível na posição '6' do conector.

“Target relay”: Saída isolada onde um relé SPDT é acionado no momento em que o alvo (“Target”) é atingido. É possível utilizar tanto o contato normalmente fechado (NC, posição '10' do conector) quanto o contato normalmente aberto (NO, posição '8' do conector). O contato comum (C) está disponível na posição '9' do conector.

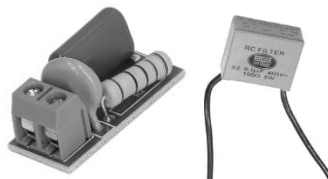
Para a conexão elétrica externa com a interface do PiezoClamping®, deve ser utilizado o conector fornecido como acessório (conector modelo MSTB 2,5/10-STZ-5,08, PN# 1764303, marca Phoenix Contact).

A seguir é apresentada uma tabela com as especificações das entradas e saídas.

Especificações das entradas e saídas.

Target Vout	Posições '1' (-) e '2' (+). Faixa de tensão: 0,5 - 7,5 VDC @ 10 MOhms. Impedância de saída: 100 Ohms. <i>Nota: É recomendável que a impedância do circuito acoplado seja maior ou igual a 1 k Ohms.</i>
Start input	Posições '3' (+) e '4' (-). Faixa de tensão: 5-24 VDC. I: 5 mA @ 5 VDC / I: 40 mA @ 24 VDC.
Error relay	Posições '5' (NO), '6' (C) e '7' (NC). 250 VAC max. / 2 Arms AC/DC max.
Target relay	Posições '8' (NO), '9' (C) e '10' (NC). 250 VAC max. / 2 Arms AC/DC max.

Para a comutação de cargas reativas utilizando o relé "Error relay" ou o relé "Target relay", inclua supressores de transientes e filtros de EMI no circuito externo para evitar que afetem o funcionamento do PiezoClamping® e comprometam sua integridade e confiabilidade. Abaixo são mostrados alguns exemplos.



Exemplos de "snubbers" que podem ser usados no circuito externo no caso comutação de cargas reativas com a interface do PiezoClamping®.



Exemplo de filtro de EMI que pode ser incluído no circuito externo no caso comutação de cargas reativas com a interface do PiezoClamping®.

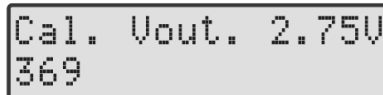
11.2. Calibração da saída analógica "Target Vout"

É possível calibrar a saída analógica proporcional "Target Vout" do PiezoClamping® para compensar a impedância do circuito acoplado que está medindo o sinal analógico. Essa calibração é realizada em dois pontos, em 2,75 e 5,00 VDC como detalhado a seguir. Recomendamos que a impedância do circuito acoplado seja maior ou igual a 1 k Ohms.

Passo-a-passo:

Passo 01 Conecte um voltímetro DC calibrado à saída "Target Vout" (pinos '1' (-) e '2' (+) do conector da interface) em paralelo ao circuito de automação ou à uma resistência equivalente.

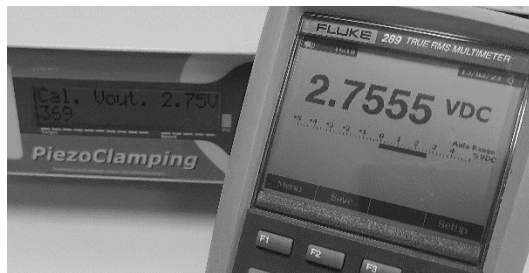
Passo 02 Acesse o menu de ajuste ligando o PiezoClamping® pela chave [POWER] enquanto mantém os botões [SELECT] e [▼] pressionados simultaneamente. Solte os botões [SELECT] e [▼] somente quando o equipamento mostrar "Cal. Vout. 2.75V" no display, como abaixo.



```
Cal. Vout. 2.75V
369
```

Nota: Na segunda linha é mostrado o valor do conversor analógico-digital de 10 bits do equipamento.

Passo 03 Ajuste o valor mostrado na segunda linha até que a tensão medida pelo voltímetro seja igual a 2,75 VDC, como abaixo.



Nota: O valor da segunda linha para a saída ser igual 2,75 VDC dependerá da impedância do circuito ligado à saída. No exemplo, a impedância era de 1 k Ohms e o valor de 369 (a faixa de ajuste é de 0 a 470).

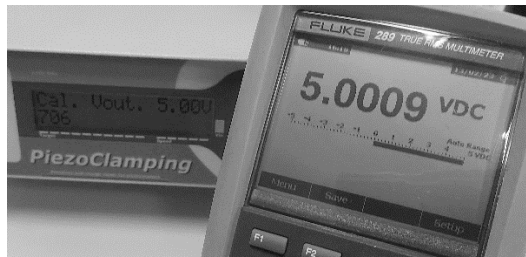
Passo 04 Pressione [SELECT] para acessar o próximo menu "Cal. Vout. 5.00V", como ilustrado abaixo.



```
Cal. Vout. 5.00V
706
```

Nota: Na segunda linha é mostrado o valor do conversor analógico-digital de 10 bits do equipamento.

Passo 05 Ajuste o valor mostrado na segunda linha até que a tensão medida pelo voltímetro seja igual a 5,00 VDC, como abaixo.



Nota: O valor da segunda linha para a saída ser igual a 5,00 VDC dependerá da impedância do circuito ligado à saída. No exemplo, a impedância era de 1 k Ohms e o valor foi de 706 (a faixa de ajuste é de 480 a 1023).

Passo 06 Desligue e ligue o PiezoClamping® para salvar os ajustes e sair do modo de calibração.



Vídeo do passo-a-passo para a calibração da saída analógica
"Target Vout"

<https://youtu.be/s8xzTZ3yo0g>

12. Assistência técnica, termo de garantia e termo de responsabilidade

Caso o equipamento apresente defeito ou mal funcionamento, verifique se o problema está relacionado com aqueles mencionados no tópico 8 (Solução de problemas). Se mesmo assim não for possível encontrar uma solução, entre em contato com a ATCP Engenharia Física para análise e reparo.

A ATCP Engenharia Física oferece 02 anos de garantia a partir da data de compra para defeitos de material e/ou fabricação. Após o vencimento do período de garantia, os serviços, peças e despesas serão cobrados. Fatores que implicam na perda da garantia:

- Falta dos cuidados recomendados neste manual com relação à instalação e operação do equipamento;
- Acidente, queda, instalação inadequada ou qualquer outro dano provocado por uso incorreto ou ação de agentes naturais;
- Violação, conserto ou qualquer outra modificação ou alteração executadas no equipamento ou em suas partes por pessoal não autorizado.

A empresa ATCP Engenharia Física assume a total responsabilidade técnica e legal pelo produto PiezoClamping® e afirma que todas as informações contidas neste Manual de Instalação e Operação são verdadeiras.

- ▲ A leitura de todas as informações deste manual de instalação e operação é indispensável para a correta utilização do equipamento.
- ▲ Não utilizar o equipamento para outras finalidades que não sejam as indicadas neste manual.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco)

13. Referências

- [1] LANGEVIN, P.; Procédé et appareils d'émission et de réception des ondes élastiques sous-marines à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz Procédé et appareils d'émission et de réception des ondes élastiques sous-marines à l'aide des propriétés piézo-électriques du quartz, French Patent 505.703,1920.
- [2] FREDERICK, J.; Ultrasonic Engineering: John Wiley & Sons, Inc. - 1965.
- [3] PROKIC, M.; Piezoelectric Converters Modeling and Characterization, 2° edição, MPI Interconsulting, august 2004.
- [4] PIEZOELECTRIC CERAMICS Properties & Applications. Morgan Advanced Materials.
- [5] BUNAI, C.; The Torque-Tension Relationship Gets Stretched, American Fastener Journal, May/June 2012 Issue - Vol. 28 No. 3.