



# **Ensaio de Resistência à Tração em Tintas e Esquemas de Pintura**

**Fernando Fragata & Fábio Krankel**

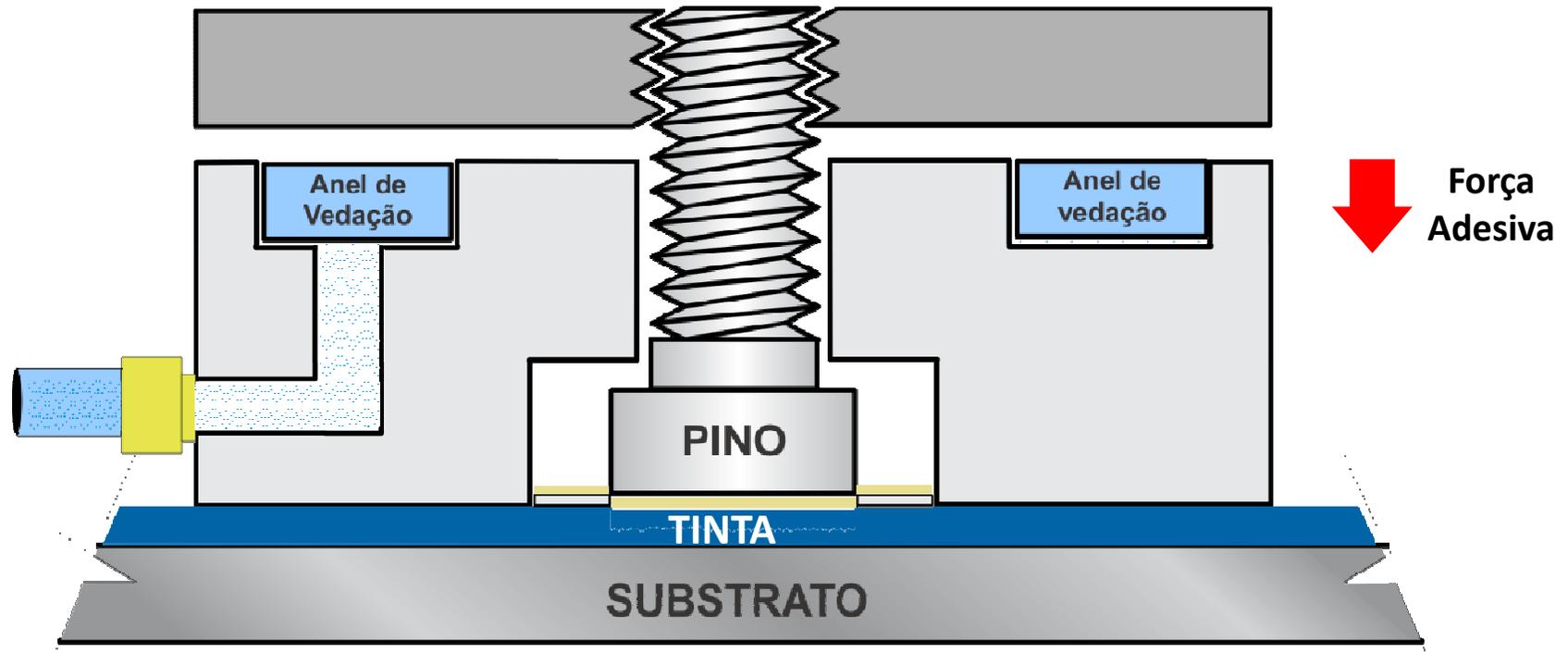


Dez/2014



↑ Força Total /  
Tensão à tração

↓ Força Peso



Desenho esquemático da montagem do pistão de auto-alinhamento

## Fórmulas aplicáveis:

$$\uparrow F_{\text{Força Total}} > \downarrow F_{\text{Força peso}} + \downarrow F_{\text{Força de adesão}}$$

$$\uparrow F_{\text{Força Total}} = P_{\text{Pressão de Display}} \times A_{\text{Área do Pistão}}$$

$$\downarrow F_{\text{Força peso (constante do pistão)}} = M_{\text{Massa do Conjunto}} \times a_{\text{Aceleração da gravidade}}$$

$$\downarrow F_{\text{Força de adesão}} = T_{\text{Tensão de arrancamento}} \times A_{\text{Área do Pino}}$$

$$\downarrow F_{\text{Força de adesão}} = \uparrow F_{\text{Força Total}} - \downarrow F_{\text{Força peso}}$$

$$(T_{\text{Tensão de arrancamento}} \times A_{\text{Pino}}) = (P_{\text{Display}} \times A_{\text{Pistão}}) - (M_{\text{Conjunto}} \times a_{\text{aceleração}})$$

$$T_{\text{Tensão de arrancamento}} = \frac{(P_{\text{Display}} \times A_{\text{Pistão}}) - (M_{\text{Conjunto}} \times a_{\text{aceleração da gravidade}})}{A_{\text{PINO}}}$$

## Fórmulas aplicáveis:

*Fórmula apresentada nas tabelas de conversão* do resultado obtido no display do aparelho, convertendo a força indicada em cada ensaio, na força real aplicada, a saber:

$$\text{POTS} = \frac{(\text{BP} \times \text{Ag}) - \text{C}}{\text{Aps}}$$

**POTS** = É a força de resistência à tração (psi) / (Pull-off Tensile Strength)

**BP** = Pressão de ruptura (psi) / (Burst Pressure)

**Ag** = Área de contato entre o anel de vedação (selo) e o lugar de reação do disco / (Contact Area between gasket, reaction plate)

**C** = Constante do pistão / (Piston Constant)

**APS** = Área do pino tracionado / (Area of Pull-stub)

A tensão de arrancamento aplicada a cada amostra de um determinado revestimento ou esquema de pintura também pode ser calculada utilizando a *fórmula apresentada nas normas ASTM D 4541 e ABNT NBR 15877*:

$$x = \frac{4F}{\pi d^2}$$

Onde o **F** = É a força real aplicada sobre o dispositivo de carga, ou seja:

$$F = P_{\text{Pressão do Display}} \times A_{\text{Área do Pistão}} - F_{\text{Força Peso}}$$



$$A_g = \frac{\pi \times [ (A_{\text{área final do poço}})^2 - (A_{\text{área inicial do poço}})^2 ]}{4}$$

$$A_g = \frac{\pi \times [ (3,41)^2 - (1,250)^2 ]}{4}$$

$$A_g = 7,91 \text{ in}^2 \text{ de área de contato pro Pistão F-8}$$

A constante da fórmula ou a força peso do pistão é calculada da seguinte maneira:

$$F = m \times a$$

Onde:

m = Massa do conjunto (pino, anel de vedação e prato de reação);

a = Aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

Apresentamos logo abaixo um exemplo prático deste cálculo, utilizando o Pistão F-8 como exemplo, onde obtivemos os seguintes resultados:



$$F = m \times a$$

$$F = 0,229332 \times 9,81$$

$$F = 2,2497 \text{ N}$$

ou

$$0,505 \text{ lbf}$$

**Tabela de resultados de área e peso dos pistões do PATTI®**

	F-1	F-2	F-4	F-8	F-16	F-20	F-20 (faixa F-8)	F-20 (faixa F-12)
Área do pistão (polegada quadrada)	1	2,01	4,055	<b>8,094</b>	<b>16,09</b>	20,24	8,094	12,14
Peso / Constante (lbf)	0,109	0,180	0,286	<b>0,510</b>	<b>0,902</b>	1,199	1,113	1,113

**Fonte:** [www.semico.org/pistonconversioncharts](http://www.semico.org/pistonconversioncharts)  
Tabelas de conversões para cada tipo de Pistão  
Revisada em Maio de 2008

## Exemplo prático

Tensão no momento do arrancamento de **55 psig ( $P_{Display}$ )**, utilizando um **Pistão F-8** e o **pino de 0,5"**, temos:

*Fórmula apresentada nas tabelas de conversão*

$$T_{\text{Tensão de arrancamento}} = \frac{(P_{Display} \times A_{Pistão}) - (M_{Conjunto} \times a_{\text{aceleração da gravidade}})}{A_{PINO}}$$

$$T_{\text{Tensão de arrancamento}} = \frac{(55 \times 7,91) - (0,505)}{0,1964}$$

$$T_{\text{Tensão de arrancamento}} = \mathbf{2.213 \text{ psi ou } 15,3 \text{ MPa}}$$

**ou**

*Fórmula apresentada nas normas ASTM D 4541 e ABNT NBR 15877*

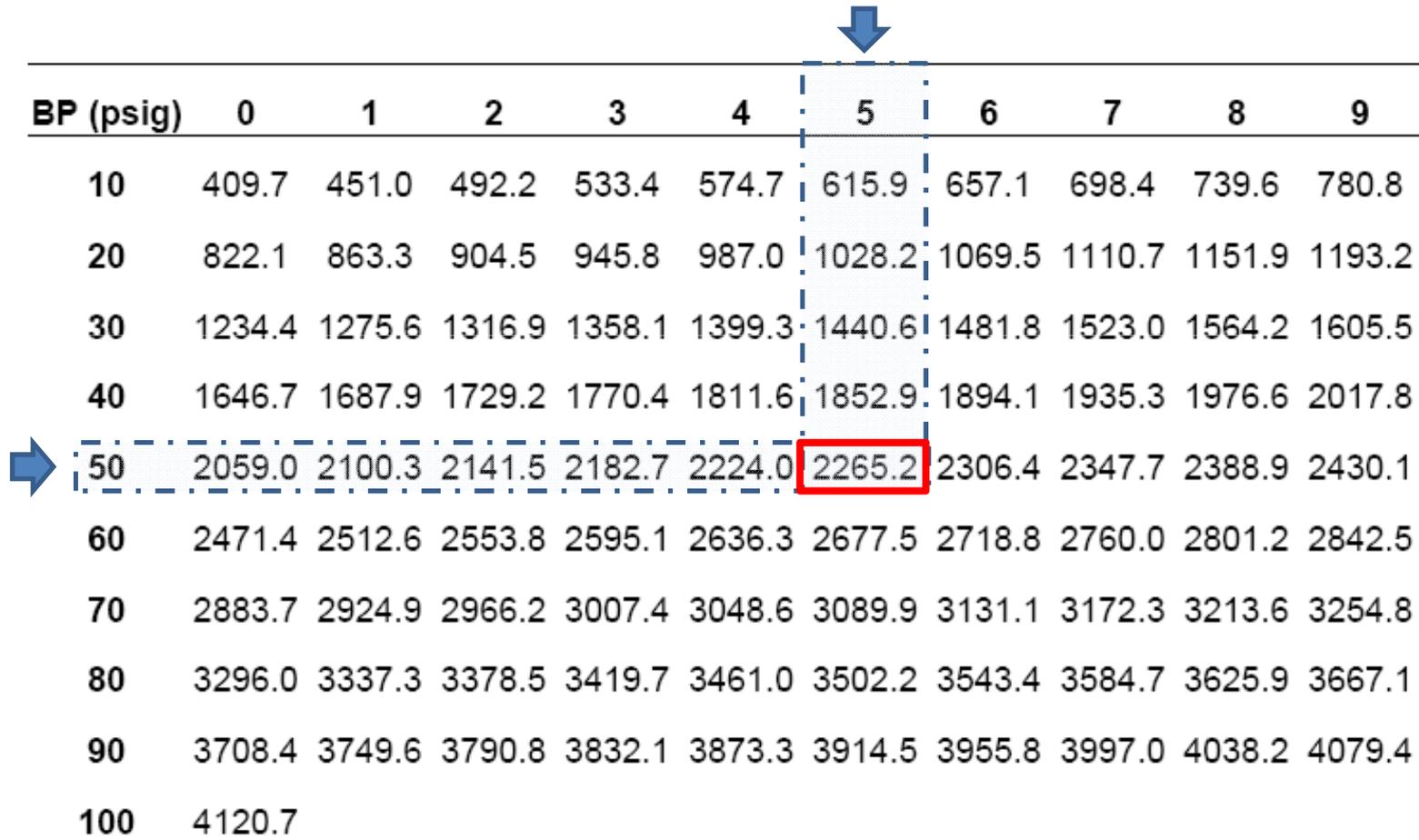
$$x = \frac{4F}{\pi d^2} \quad F = P_{Display} \times A_{Pistão} - P_{Pistão} \quad F = 55 \times 7,91 - 0,505 \quad F = 434,54$$

$$x = \frac{4 \times 434,54}{3,1416 \times (0,5)^2} \quad x = \frac{1738,16}{3,1416 \times 0,25} \quad x = \mathbf{2213 \text{ psi ou } 15,3 \text{ MPa}}$$

# Exemplo prático

## Stand-Alone F-8 with 0.5" P.S. Piston Conversion Table (psi)

### PULL-OFF TENSILE STRENGTH (POTS) (psi)



BP (psig)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	409.7	451.0	492.2	533.4	574.7	615.9	657.1	698.4	739.6	780.8
20	822.1	863.3	904.5	945.8	987.0	1028.2	1069.5	1110.7	1151.9	1193.2
30	1234.4	1275.6	1316.9	1358.1	1399.3	1440.6	1481.8	1523.0	1564.2	1605.5
40	1646.7	1687.9	1729.2	1770.4	1811.6	1852.9	1894.1	1935.3	1976.6	2017.8
50	2059.0	2100.3	2141.5	2182.7	2224.0	2265.2	2306.4	2347.7	2388.9	2430.1
60	2471.4	2512.6	2553.8	2595.1	2636.3	2677.5	2718.8	2760.0	2801.2	2842.5
70	2883.7	2924.9	2966.2	3007.4	3048.6	3089.9	3131.1	3172.3	3213.6	3254.8
80	3296.0	3337.3	3378.5	3419.7	3461.0	3502.2	3543.4	3584.7	3625.9	3667.1
90	3708.4	3749.6	3790.8	3832.1	3873.3	3914.5	3955.8	3997.0	4038.2	4079.4
100	4120.7									

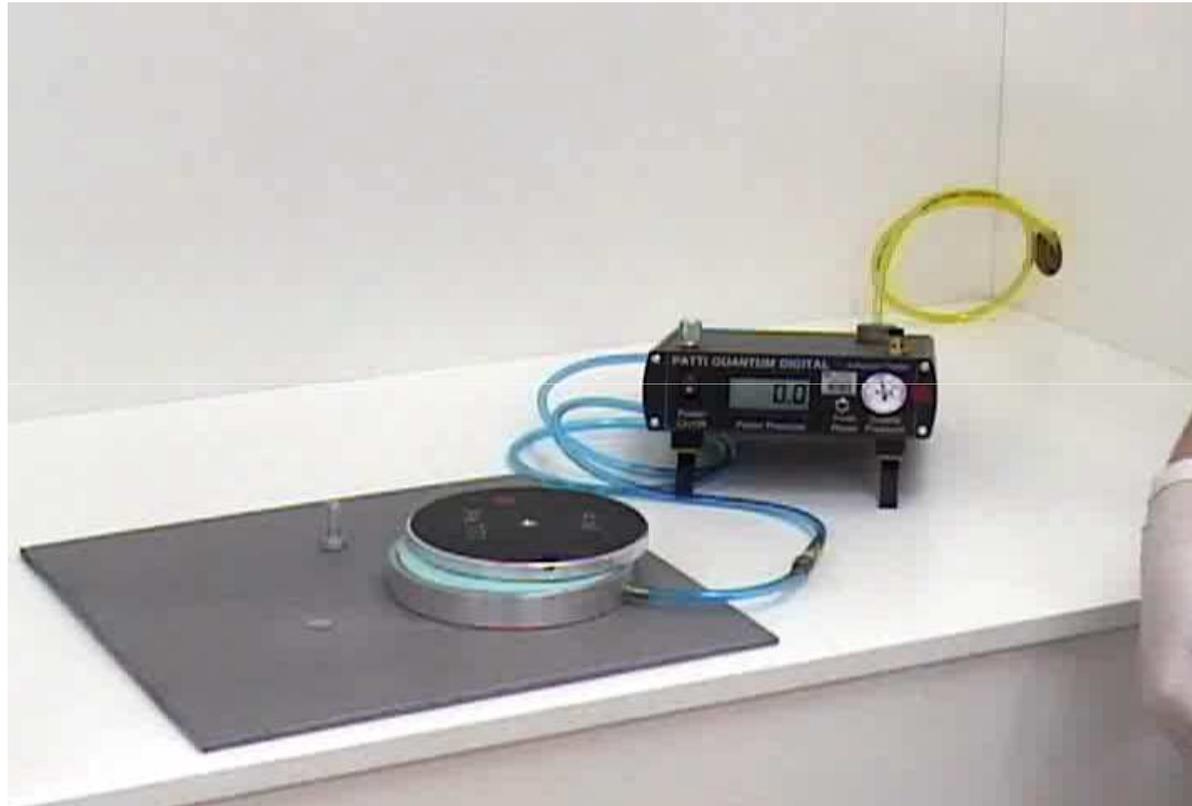
1 psi = 0,006894757 MPa

**Fonte:** Appendix D, revised August, 2006,  
[www.semicro.org](http://www.semicro.org)

*Para executar o teste* conforme **norma ASTM D 4541:2009**



**Vídeo**



- Assegure que válvula de vazão (sentido horário firme nos dedos) esteja fechada e então pressione e segure o botão de operação. Lentamente abra a válvula da vazão (sentido anti-horário) e monitore no manômetro/display de pressão do pistão para obter **a taxa de aumento de tensão menor que 1 MPa/s ( $\approx$  150 psi/s)** permitindo ainda que **o teste esteja completo dentro de 100 segundos**.

*Para executar o teste* conforme **norma ABNT NBR 15877:2010**



Vídeo



- Efetue as ligações pneumáticas apropriadas e **abrir a válvula ¼ de uma volta.**
- **Pressionar o botão para controlar a vazão de gás para o pistão e efetuar o ajuste final da válvula,** de modo que **a taxa de tensão não ultrapasse 1 MPa/s,** mas atinja seu valor máximo em 100 s.

**Norma ASTM D 4541:2009**, Método de teste D – Equipamento Tipo IV  
**Norma ABNT NBR 15877:2010**, Anexo A.2



**Elcometer Modelo 110**



**Quantum Digital**

**É possível ajustar e calibrar a taxa de variação de pressão no display do aparelho para cada tipo de pistão de maneira mais assertiva?**

# Ajuste do ponto "0" da válvula de vazão



Nós podemos calcular a taxa de variação de pressão para cada tipo de pistão convertendo a taxa de variação de tensão no pino em taxa de variação de pressão no display do equipamento, utilizando a fórmula abaixo, em conformidade com as normas ASTM D 4541 e ABNT NBR 15877, onde:

- a taxa máxima de variação de tensão no pino é de  $\Delta P_{Pots} = 1 \frac{MPa}{s}$  ou  $\Delta P_{Pots} \approx 150 \frac{psi}{s}$
- e tendo por base a fórmula pra obtenção do resultado,

$$\Delta P_{Pots} = \frac{(\Delta P_{Pressão \ de \ Display} \times A_{Área \ do \ Pistão}) - P_{Peso \ do \ Pistão}}{A_{Pino}}$$

- Temos a seguinte fórmula:

$$\Delta P_{Pressão \ de \ Display} = \frac{\Delta P_{Pots} \times A_{Área \ do \ Pino} + \frac{P_{Peso \ do \ Pistão}}{s}}{A_{Área \ do \ Pistão}}$$

# Cálculo da $\Delta P_{Display}$

Para melhor visualização e entendimento da aplicação prática da fórmula, utilizamos no cálculo abaixo para um determinado teste, o pistão F-8 com o pino padrão de 0,5 polegada:

$$\Delta P_{Display} = \frac{\Delta P_{Pots} \times A_{Pino} + \frac{P_{Pistão}}{s}}{A_{Pistão}}$$

$$\Delta P_{Display} = \frac{150 \times 0,1964 + \frac{0,505}{s}}{7,91}$$

$$\Delta P_{Display} = 3,78 \text{ psig/s}$$



Tabela de resultados do ajuste da taxa de variação de tensão no display do equipamento recomendado para cada tipo de pistão.

F-1	F-2	F-4	<b>F-8</b>	F-12	<b>F-16</b>	F-20
30 psig/s	15 psig/s	7,5 psig/s	<b>3,78 psig/s</b>	2,5 psig/s	<b>1,85 psig/s</b>	1,5 psig/s

Não exceder a taxa de variação de tensão do display quando lido o resultado no manômetro digital do equipamento para estar em conformidade com a norma ASTM D 4541 e ABNT NBR 15877.

Como é possível perceber, quando estiver utilizando um pistão de tamanho maior, pode ser difícil realizar o teste em um ritmo lento o suficiente, por isso, uma solução pode ser dada utilizando um pistão de tamanho menor para obter um maior controle, lembrando que o pistão deve ser escolhido de forma que o ponto médio do alcance esteja próximo da força de tensão suspeita do revestimento a ser testado.

1. Acoplar pistão, mangueiras pneumáticas e o pino padrão;
2. Zere o manômetro de pressão;
3. Assegure que válvula de vazão (sentido horário) esteja fechada e então pressione e segure o botão de operação (*teste breve*);
4. Abra a válvula de vazão em +/- ¼ de volta (sentido anti-horário) e ajuste o resultado da taxa de variação de pressão do display em conformidade com o pistão escolhido, com o auxílio de um cronômetro.
  1. Por exemplo, para o Pistão F-8, ajuste a taxa de variação de pressão do display para 3,78 psig/s. Não podendo exceder a 3,78 psig/s quando lido no manômetro digital, em conformidade a taxa de variação de pressão de até 1 MPa/s ( $\approx$  150 psi/s) definido na norma ASTM D 4541 e norma ABNT NBR 15877.
5. Pressione a válvula de liberação de pressão residual para que o pino possa ser removido do pistão para preparar para o próximo teste, aí sim, sobre o revestimento à ser testado.

## Procedimento para conferência e Ajuste do conjunto (aparelho + pistão) antes da execução do teste



Vídeo



**Pistão F-16**



**Área do pino novo:**

$$A_{\text{Pino}} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{\text{Pino}} = \frac{3,1416 \times (0,5)^2}{4}$$

$$A_{\text{Pino}} = 0,1964 \text{ in}^2$$

**Área do pino reutilizado:**

$$A_{\text{Pino}} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{\text{Pino}} = \frac{3,1416 \times (0,46)^2}{4}$$

$$A_{\text{Pino}} = 0,1662 \text{ in}^2$$

**15,38% de  
redução de área.**

Área do pino novo:

$$P_{\text{Display}} = \frac{\Delta P_{\text{Pots}} \times A_{\text{Pino}} + \frac{P_{\text{Pistão}}}{s}}{A_{\text{Pistão}}}$$

$$\Delta P_{\text{Display}} = \frac{150 \times 0,1964 + \frac{0,510}{s}}{7,91}$$

$$\Delta P_{\text{Display}} = 3,78 \text{ psig/s}$$

Área do pino reutilizado:

$$P_{\text{Display}} = \frac{\Delta P_{\text{Pots}} \times A_{\text{Pino}} + \frac{P_{\text{Pistão}}}{s}}{A_{\text{Pistão}}}$$

$$\Delta P_{\text{Display}} = \frac{150 \times 0,1709 + \frac{0,510}{s}}{7,91}$$

$$\Delta P_{\text{Display}} = 3,30 \text{ psig/s}$$

Com isto, comprovamos uma aplicação de **14,55% a mais na taxa de variação de pressão**, resultando em desvios nos valores de resistência a tração, quando utilizado pinos com diferentes áreas em um mesmo revestimento.

## Escolha do pistão à ser utilizado

Pistão	Tabela – Faixa de carga dos pistões	
	Faixa de carga, usando o pino (pull-stub) de 12,7 mm (0,5") de diâmetro.	
	PSI	MPa
F-1	50 – 500	0,3 - 3,4
F-2	100 - 1.000	0,6 - 6,9
F-4	200 - 2.000	1,3 - 13,8
F-8	400 - 4.000	2,7 - 27,6
F-16	800 - 8.000	5,5 - 55,2
F-8/12	F-8; 400 – 4.000	F-8; 2,7 – 27,6
(F-20)	F-12; 600 – 6.000	F-12; 4,1 – 41,3
(3 Faixas de carga)	F-20; 1.000 – 10.000	F-20; 6,9 – 69

É recomendado que um pistão seja escolhido de forma que o ponto médio do alcance esteja próximo da força de tensão suspeita do revestimento a ser testado. Isto proverá uma maior remissão em erros da força presumida do revestimento , conforme norma **ASTM D 4541 – 09 A3.1.4.**

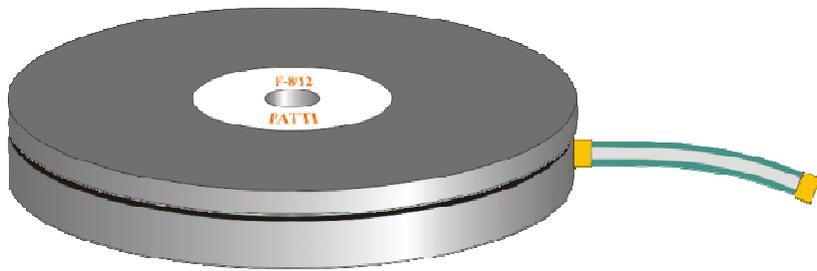
# Escolha do pistão à ser utilizado

Tabela – Faixa de carga do pistão F-8/12

Desenho esquemático

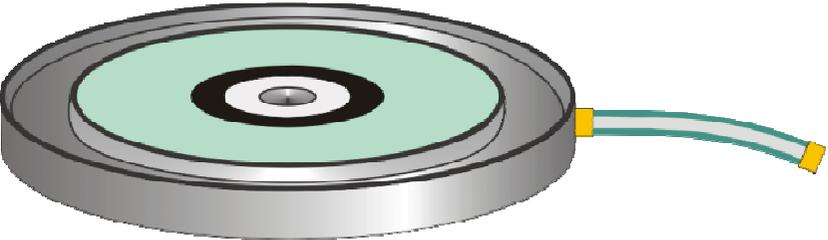
Faixa de carga, usando o pino (pull-stub) de 12,7 mm (0,5") de diâmetro.

**F-20**



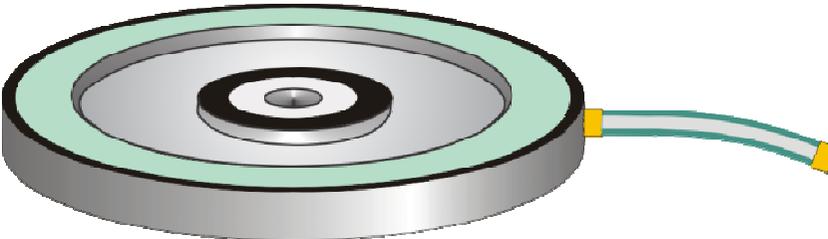
	<i>PSI</i>	<i>MPa</i>
F-20	1.000 – 10.000	6,9 – 69

**F-8**



F-8	400 – 4.000	2,7 – 27,6
-----	-------------	------------

**F-12**



F-12	600 – 6.000	4,1 – 41,3
------	-------------	------------

## Por exemplo:

Imagine que uma determinada formulação de tinta deverá atender à uma especificação **(de tinta ou de um esquema de pintura)** para uma espessura de película seca de  $450 \mu\text{m}$  ( $\pm 25 \mu\text{m}$ ), onde o resultado do teste de aderência (“Pull-off test”) deverá ser de no mínimo **12 MPa**.

- ABNT NBR 15877:2010 Anexo 2 ou;
- ASTM D 4541-09 Método D, Equipamento Tipo IV.

Pontos de vista:	Pistão	Faixa de carga
Da especificação <i>(da exigência mínima de 12 MPa)</i>	<b>F-8</b>	 2,7    12,45    27,6
Da engenharia do produto <i>(resistência à tração conhecida entre 19 – 22 MPa)</i>	<b>F-16</b>	 5,5    24,85    55,2

# Diferentes adesivos epóxis

Para este trabalho, comparamos 02 (dois) diferentes tipos de adesivos epóxis comumente utilizados nos testes de aderência pelo método de resistência à tração, a saber:



- 3M Scotch-Weld Epoxy Adhesives DP 460 Off-White
- Two-part Epoxy Adhesive System MS-907 (Miller-stephenson)



## F-8 x Ar comprimido x 3M DP 460

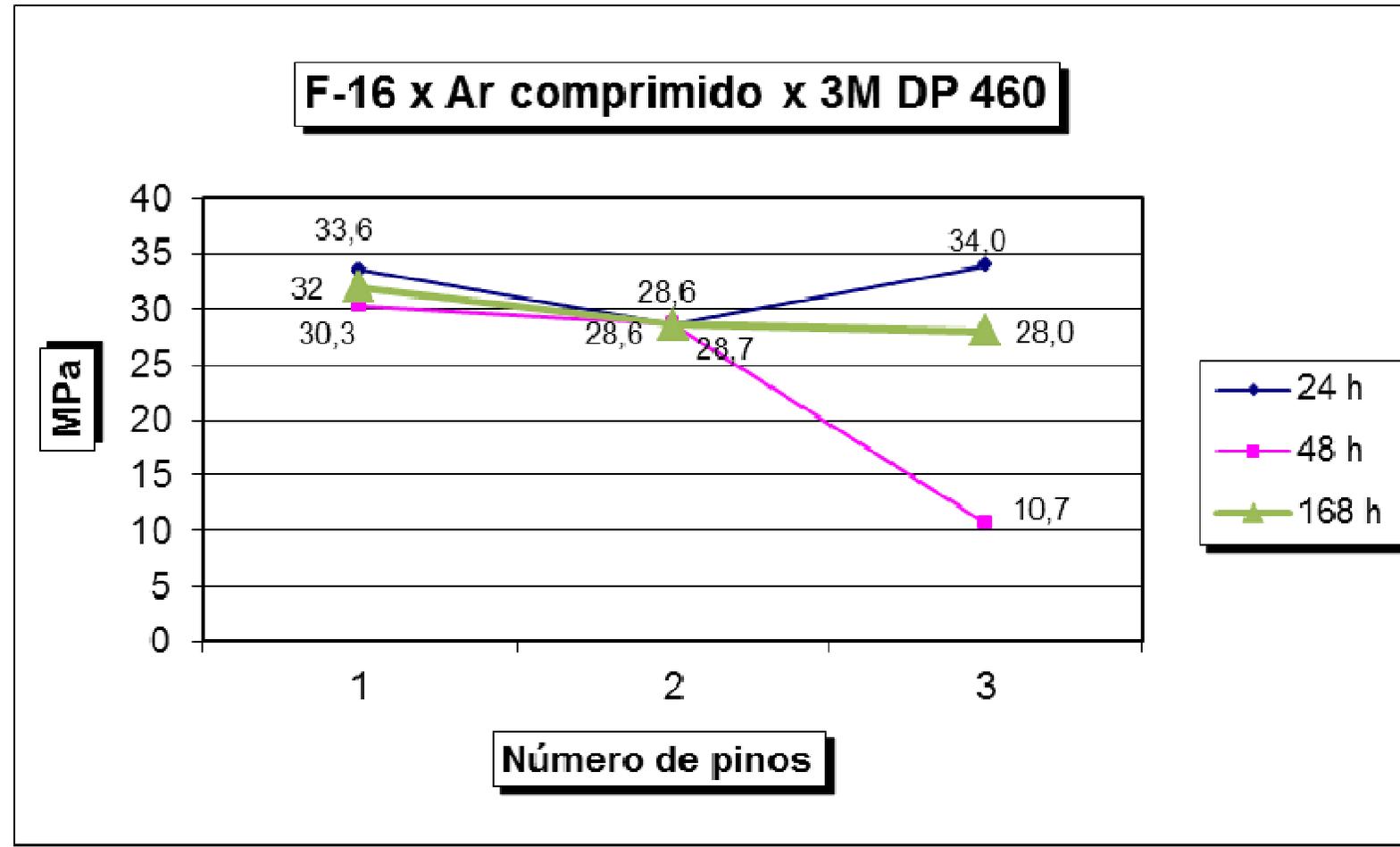


Vídeo



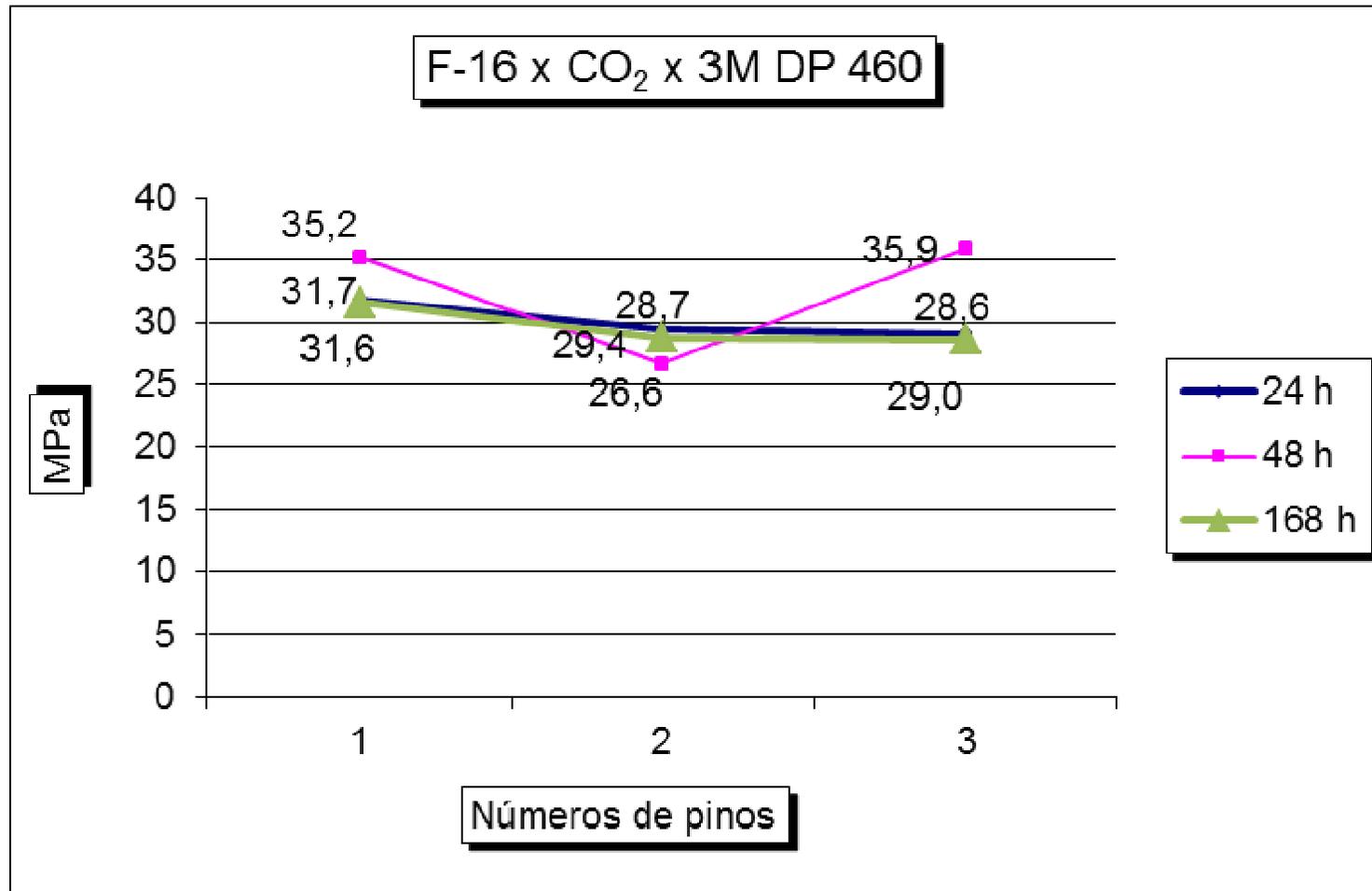
O pistão F-8 não teve força suficiente para remover o pino do corpo de prova, estabilizando e travando sempre perto dos 60 segundos.

# Diferentes adesivos epóxis



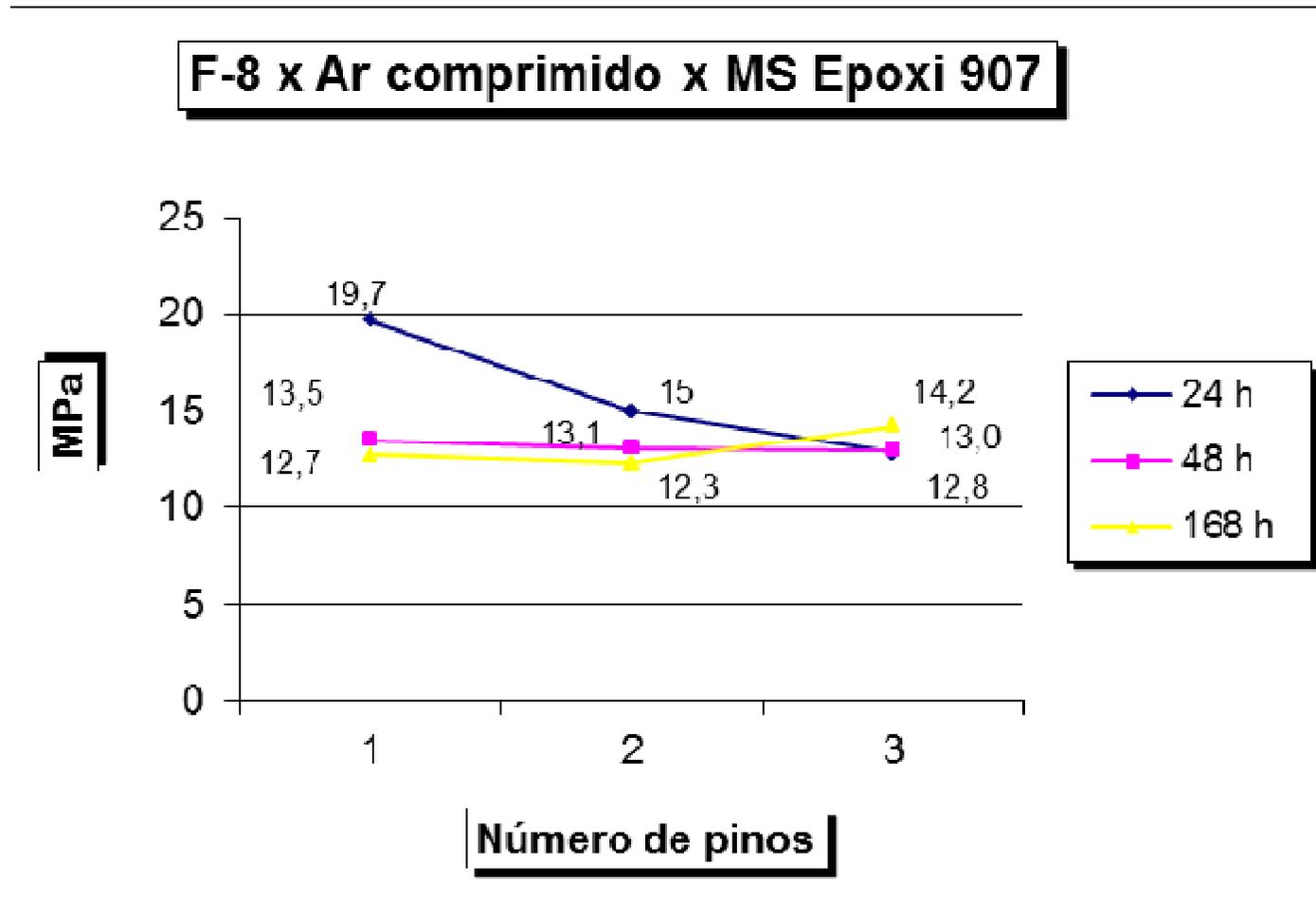
Média de 29 MPa

- Influência da fonte de alimentação no resultado



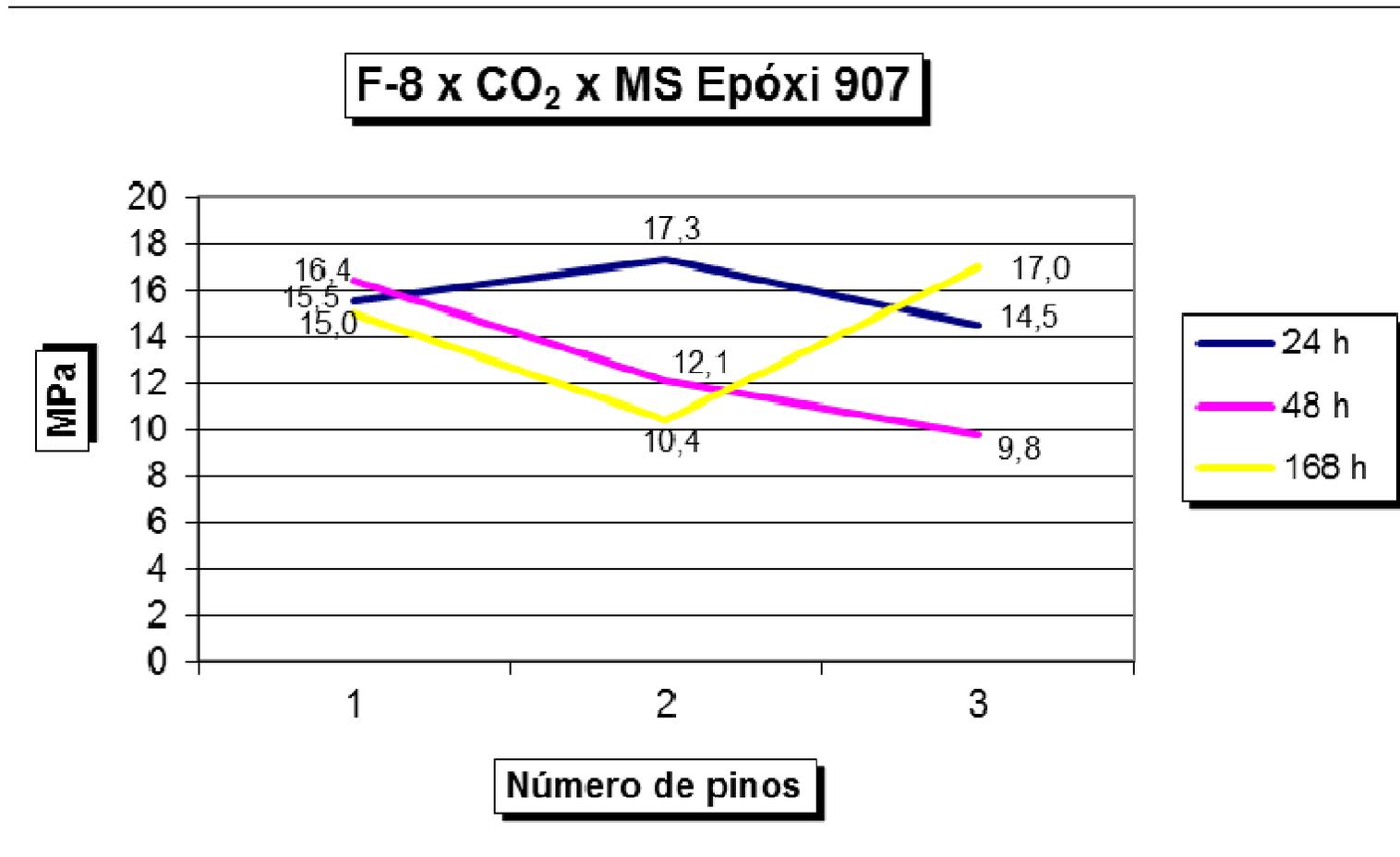
Média de 31 MPa

- Influência da fonte de alimentação no resultado



Média de 15 MPa

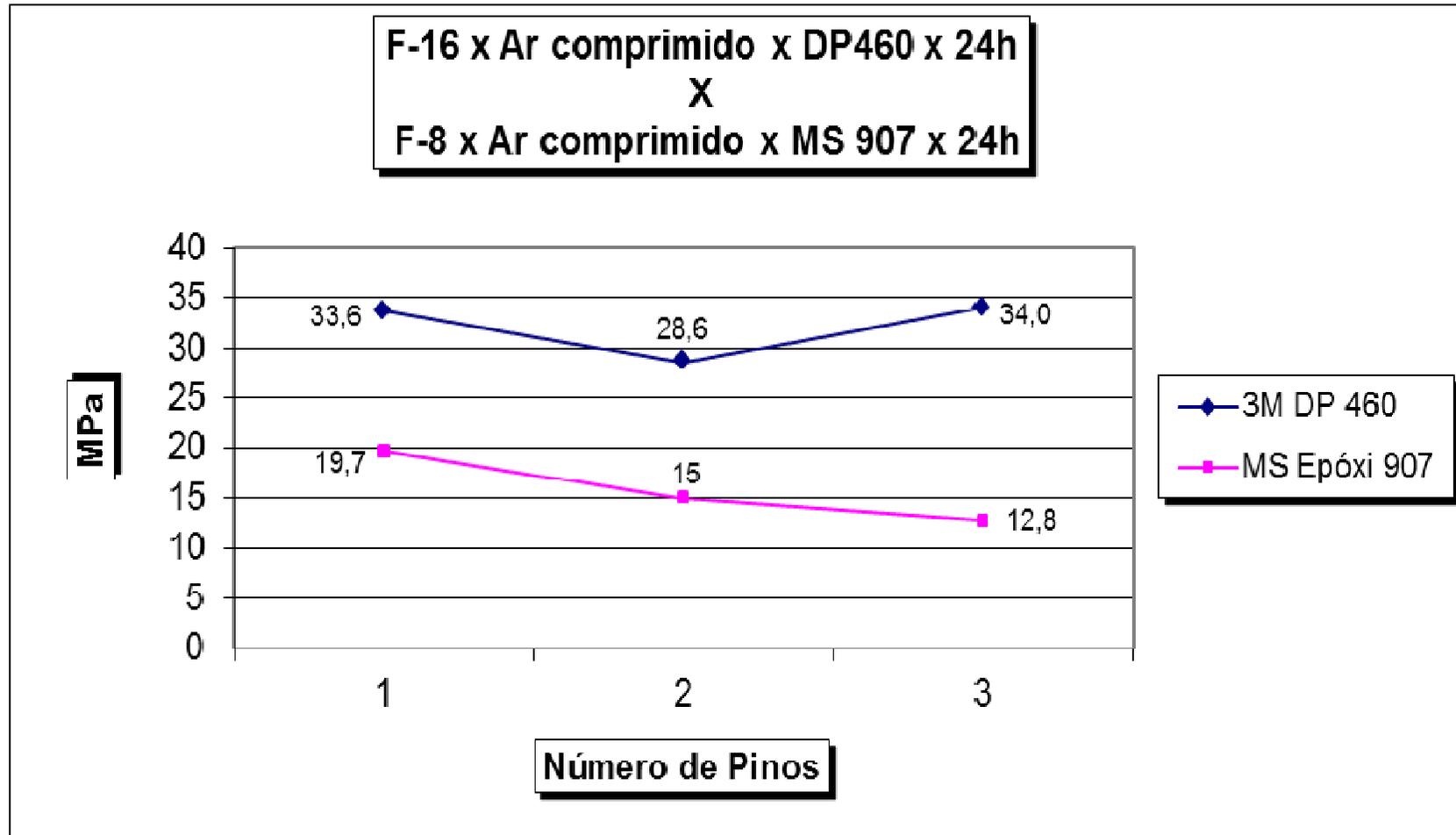
- Influência da fonte de alimentação no resultado



Média de 16 MPa

# Diferentes adesivos epóxis

- Resultados comparativos finais entre os adesivos



# Diferentes posições de teste



**Horizontal**



**Vertical**



**Teto (Sobre cabeça)**

Para melhor entendimento dos cálculos que envolvem as diferentes posições de teste, apresentamos um exemplo prático a seguir considerando que um determinado teste tenha obtido a tensão no momento do arrancamento de **55 psig ( $P_{Display}$ )**, utilizando um **Pistão F-8** e o **pino de 0,5"**, temos:

- **FÓRMULA PARA A POSIÇÃO HORIZONTAL:**

$$P_{Pots} = \frac{\Delta P_{Display} \times A_{Pistão} - P_{Pistão}}{A_{Pino}}$$

$$P_{Pots} = 2.213,7 \text{ psi}$$

ou

$$15,3 \text{ MPa}$$

- **FÓRMULA PARA A POSIÇÃO DE TETO (SOBRE CABEÇA):**

$$P_{Pots} = \frac{\Delta P_{Display} \times A_{Pistão} + P_{Pistão}}{A_{Pino}}$$

$$P_{Pots} = 2.218,8 \text{ psi}$$

ou

$$15,3 \text{ MPa}$$

- **FÓRMULA PARA A POSIÇÃO VERTICAL:**

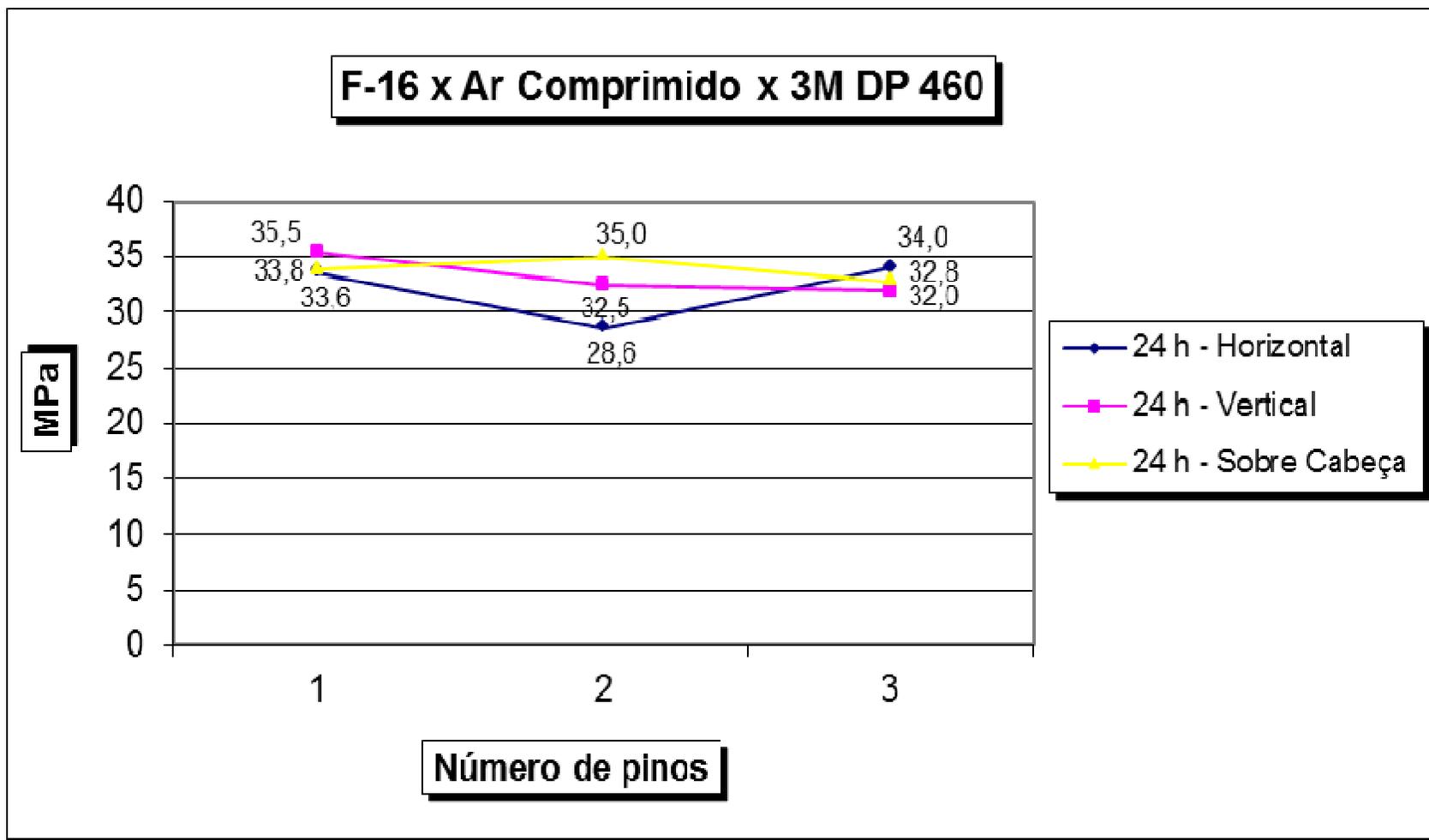
$$P_{Pots} = \frac{\Delta P_{Display} \times A_{Pistão}}{A_{Pino}}$$

$$P_{Pots} = 2.216,3 \text{ psi}$$

ou

$$15,3 \text{ MPa}$$

# Diferentes posições de teste



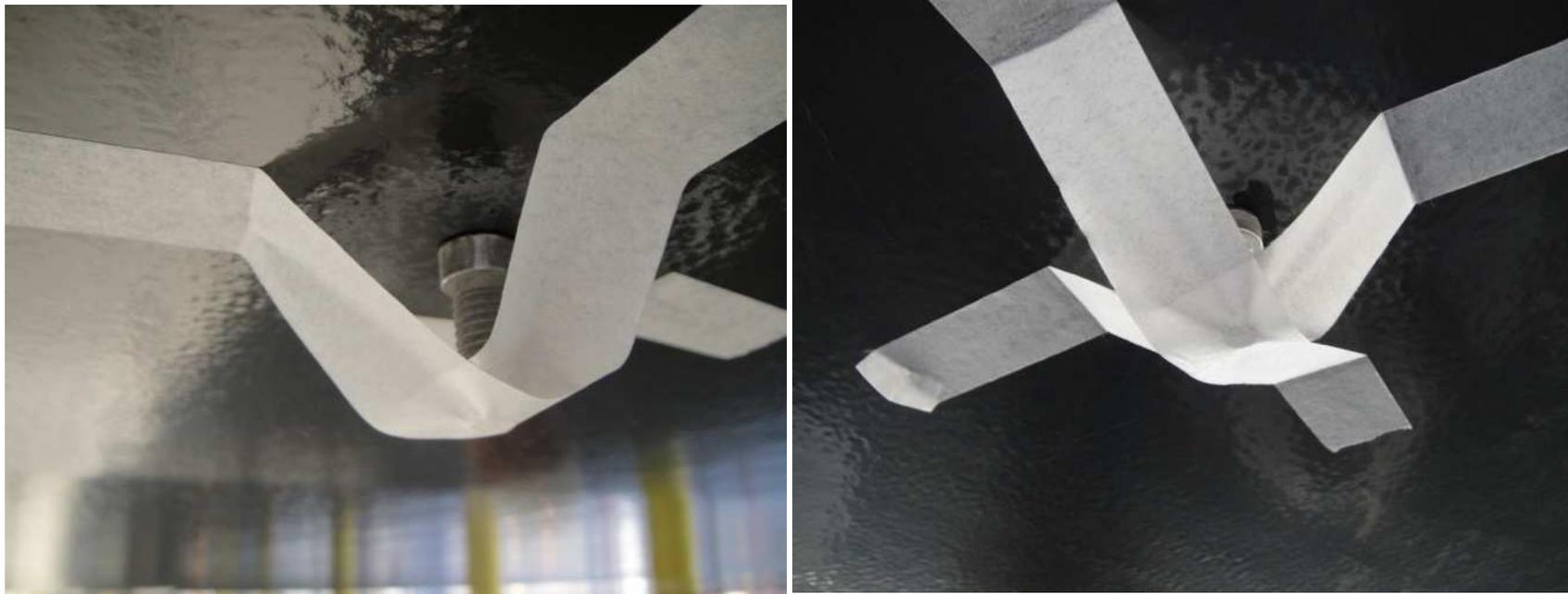
## Diferentes posições de teste

- A influência da força gravitacional nas diferentes posições em estudo é apenas considerada quando avaliado o resultado acima de 02 (duas) casas depois da vírgula, portanto, valor considerado desprezível, e por isso, a norma ASTM D 4541 descreve que o teste pode ser realizado sobre a superfície com qualquer orientação com referência à força gravitacional.
- As principais dificuldades de executar os testes na vertical ou no teto (sobre cabeça) está no procedimento de colagem do pino e na pressão de fixação do mesmo durante o processo de cura do adesivo.



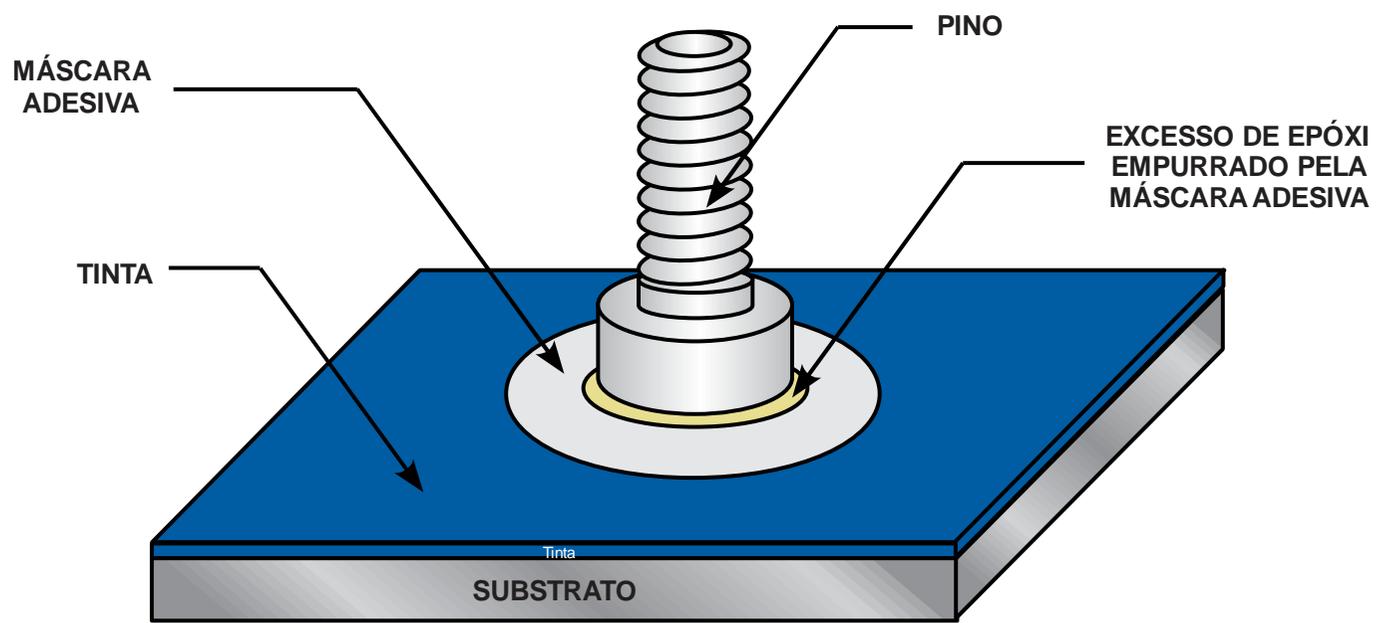
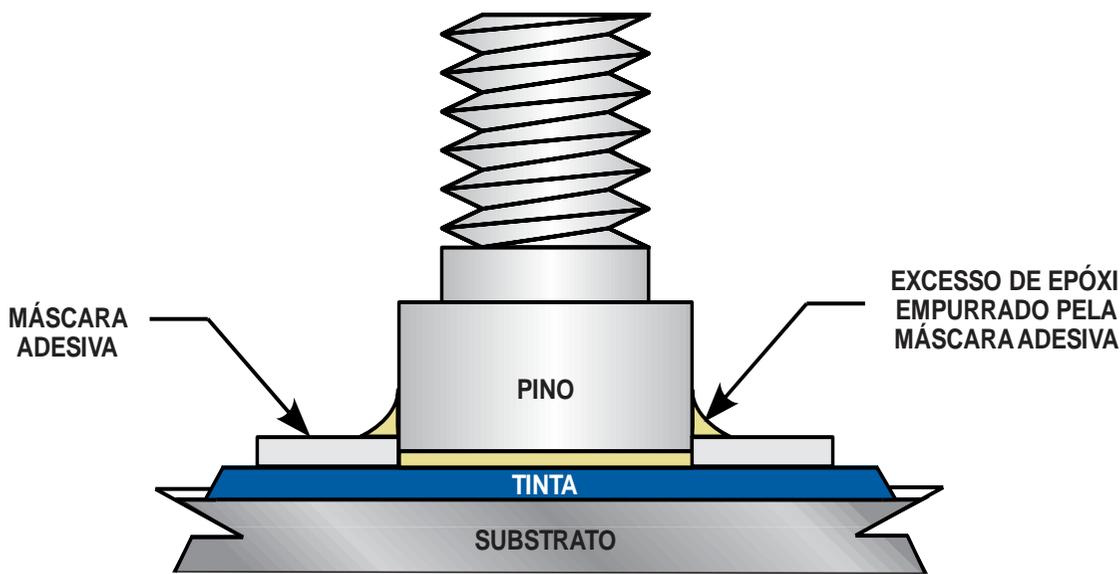
## Diferentes posições de teste

Os pinos colados e que dependem da aderência utilizando apenas fitas adesivas para melhor fixação, devem ser usados com cautela, se assegurando que eles não afrouxem com o tempo e deixem o ar entrar entre o pino e a área de teste



Outros sistemas de pressão utilizando grampos e abraçadeiras magnéticas ou mecânicas podem vir à funcionar melhor, contudo, ainda não tem sido utilizado em campo.

# Utilização de máscaras adesivas



# Utilização de máscaras adesivas



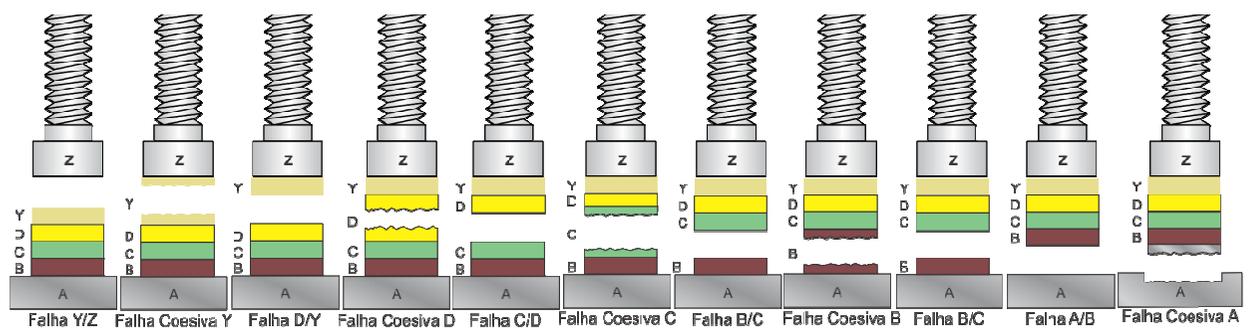
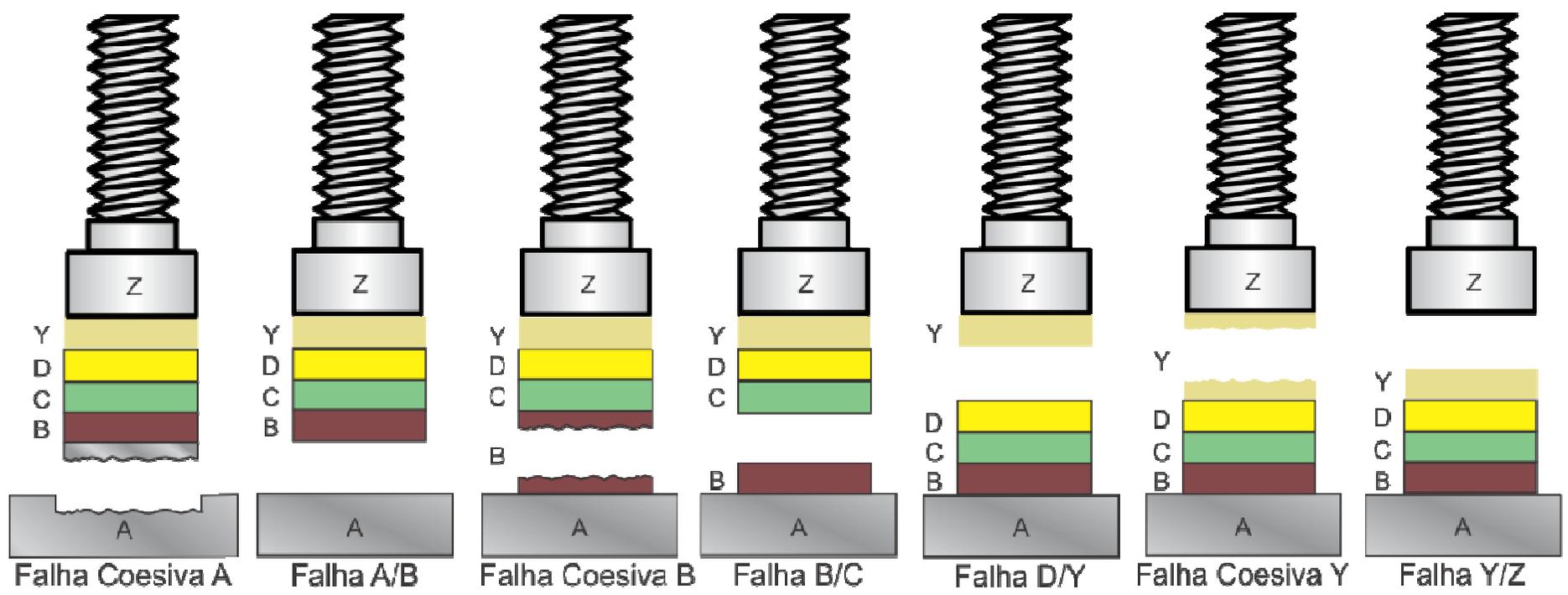
- A norma ASTM D 4541 solicita que o excesso de adesivo ao redor do pino seja removido cuidadosamente e reforça a ideia que movimentos, especialmente de torção, podem causar pequenas bolhas se aglutinando em grandes vazios que compõem descontinuidades no adesivo, prejudicando a tensão de ruptura durante os testes.
- A remoção do excesso de adesivo ao redor do pino pode ser realizada utilizando-se um cotonete, um adesivo plástico na interface cola/revestimento ou até mesmo um cortador circular.

# Cortador circular



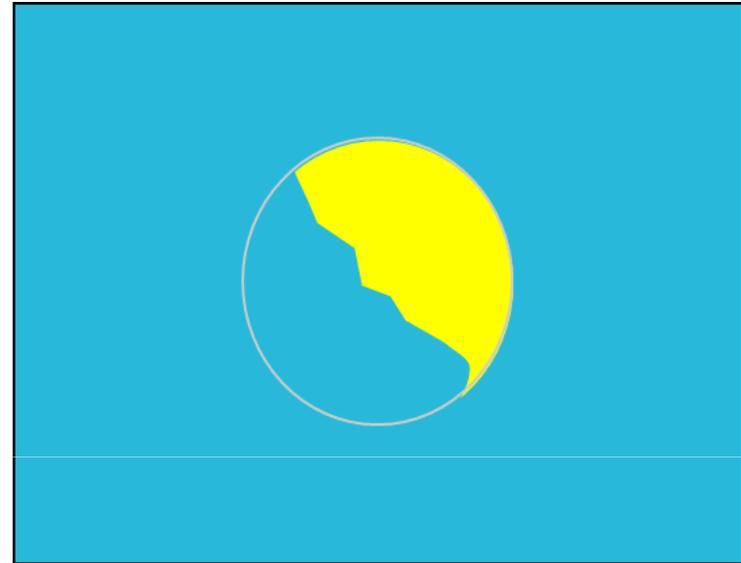
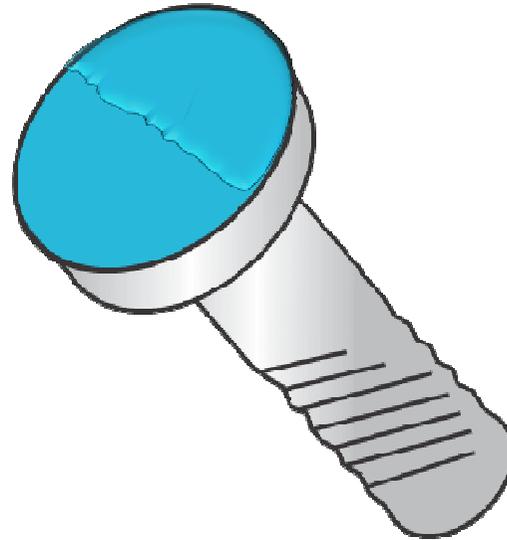
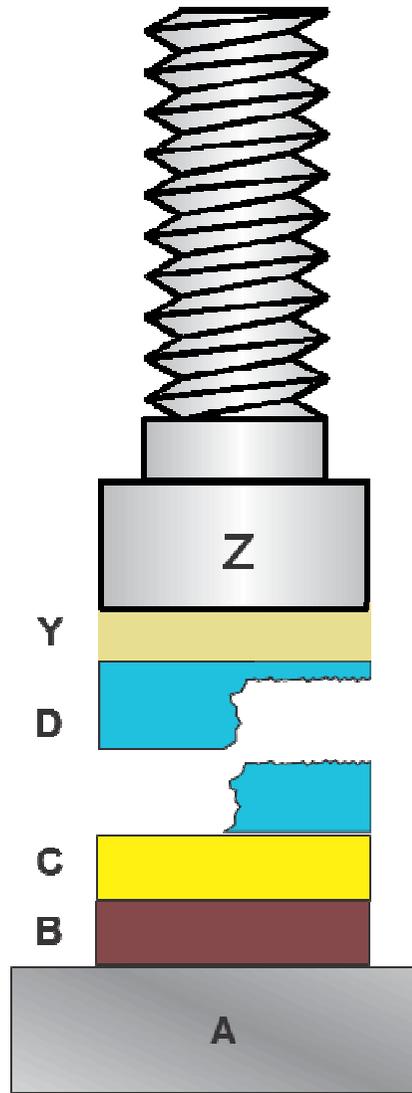
- ① Atualmente o cortado circular é opcional e deve ser acordado entre as partes envolvidas.
- ② Cortar ao redor do pino viola o critério fundamental do teste.
- ③ O recorte somente é recomendado para revestimentos de películas mais espessas, ou seja, espessuras maiores do que  $500 \mu\text{m}$  (*20 mils*), revestimentos reforçados e revestimentos elastoméricos.
- ④ Este procedimento deve ser claramente relatado com os resultados.

# Análise Qualitativa (Natureza da falha)



Outro desenho esquemático para interpretação dos resultados é apresentado na Norma da ABNT NBR 15877, item 6.3.

## Análise Qualitativa (Natureza da falha)



Nesta análise qualitativa, também é registrado o percentual da falha, e quando observado mais do que um tipo de falha, é registrado o percentual de cada uma.

Como neste exemplo, num esquema de pintura de 03 (três) demãos de tintas, observamos:

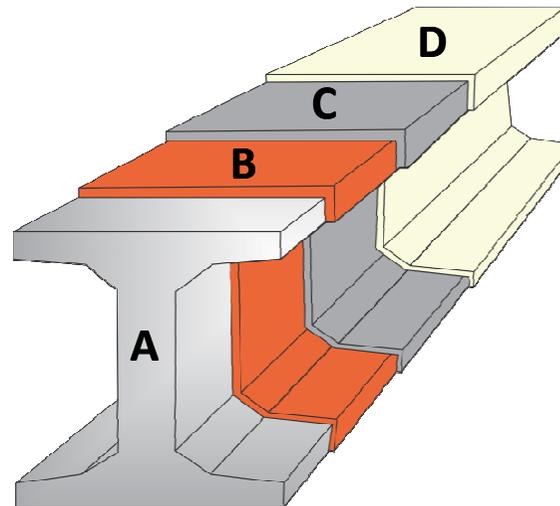
- 50% de falha adesiva C/D;
- e 50% de falha coesiva D (*superficial*).

# Influência do tempo de cura no esquema de pintura (Epóxi Sem Solvente)

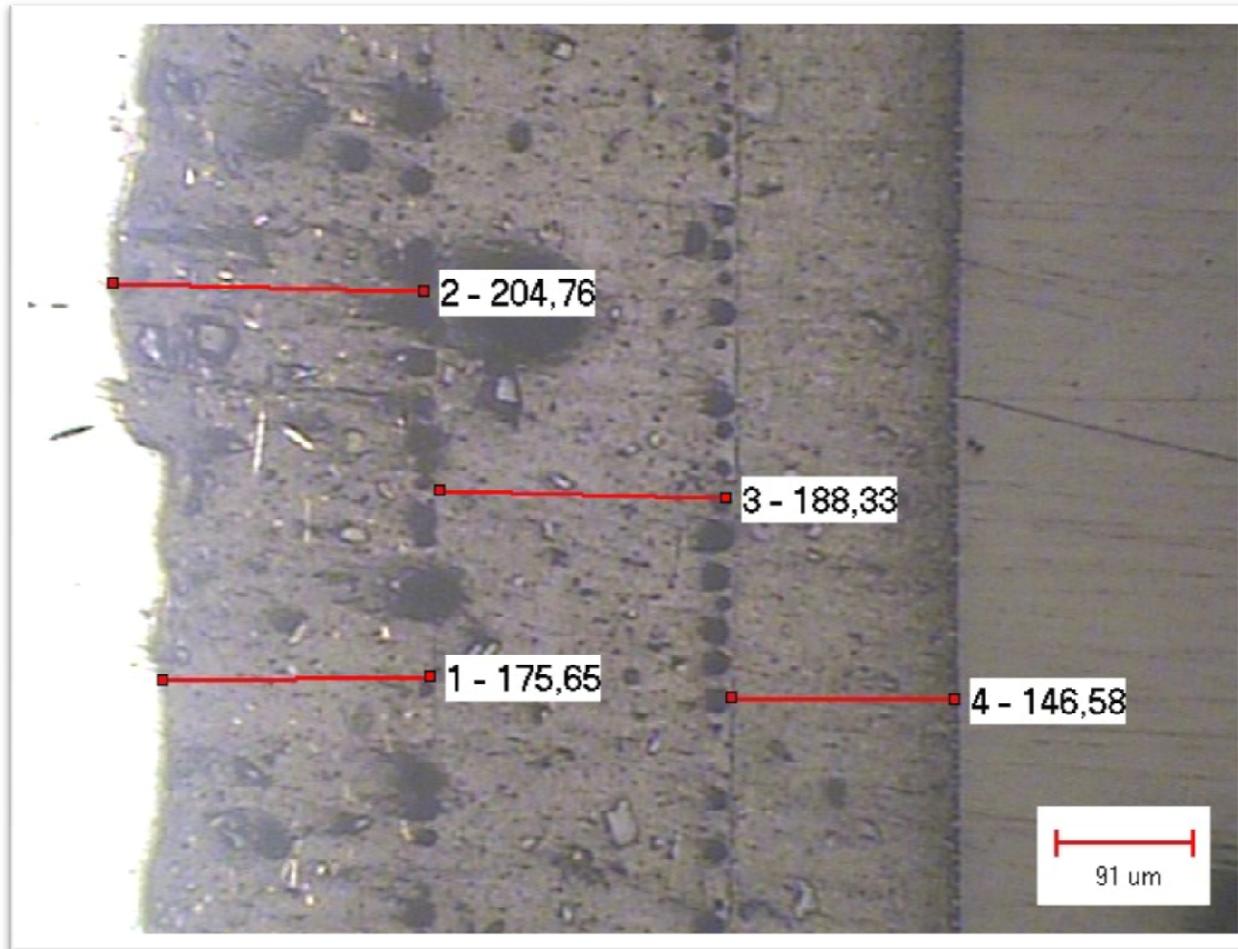
## Esquema de pintura nº 01

Nº do esquema	Demão	Descrição produto	EPS	Cor	Critério de aceitação (#)	
					Tensão mínima de Tração (MPa)	Tipo de falha não aceitável
1º	1	Epóxi	150 µm	Vermelho Óxido <b>(B)</b>	12	A/B
	1	Epóxi	150 µm	Cinza <b>(C)</b>		
	1	Epóxi	150 µm	Branco <b>(D)</b>		

(#) Critério de aceitação para o teste de tração mediante a resultados presumidos e historicamente conhecidos.



# Influência do tempo de cura no esquema de pintura (Epóxi Sem Solvente)



Micrografia

Fotografia com 52 vezes de aumento no microscópio

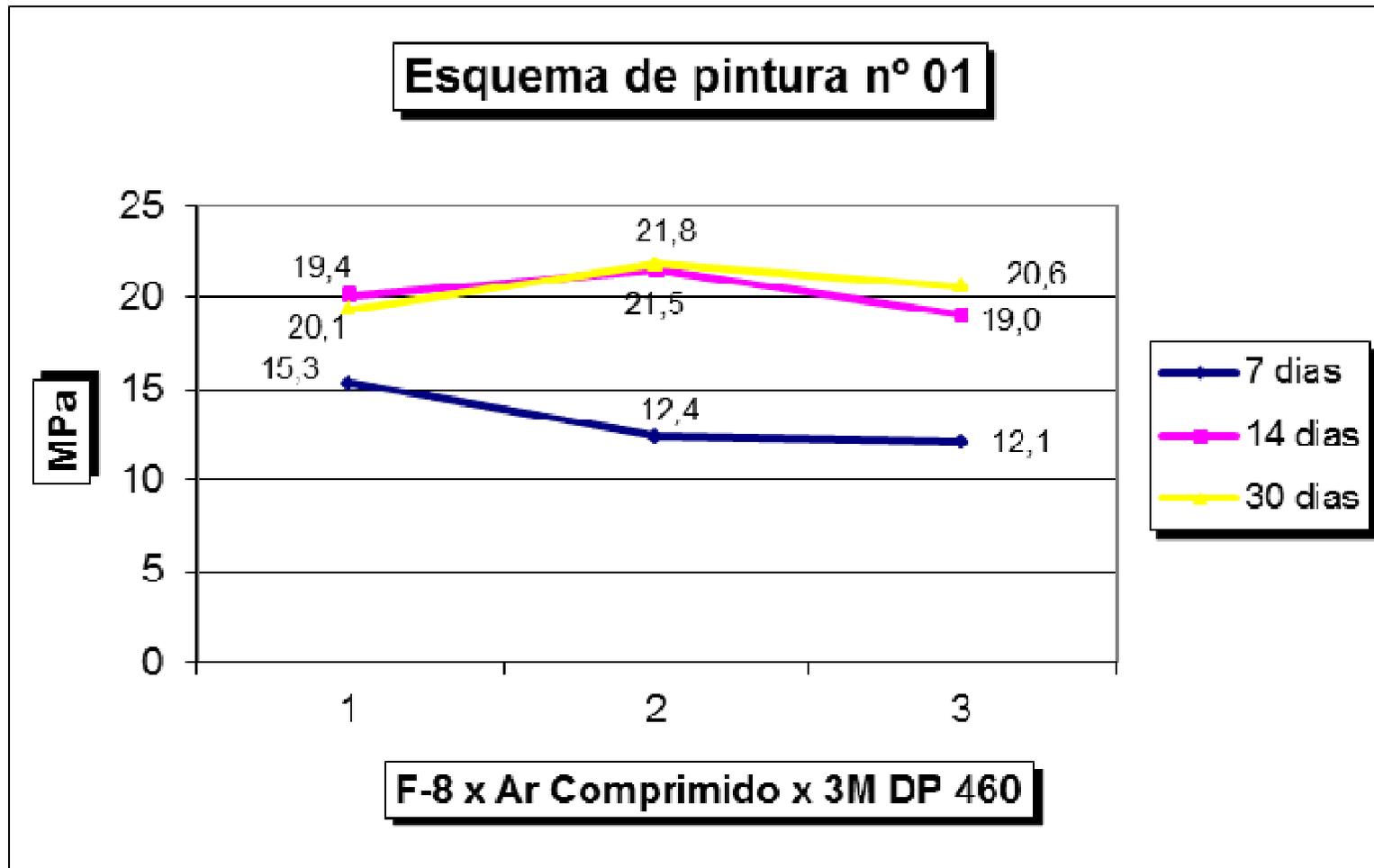
# Influência do tempo de cura no esquema de pintura (Epóxi Sem Solvente)



Vídeo



# Influência do tempo de cura no esquema de pintura (Epóxi Sem Solvente)

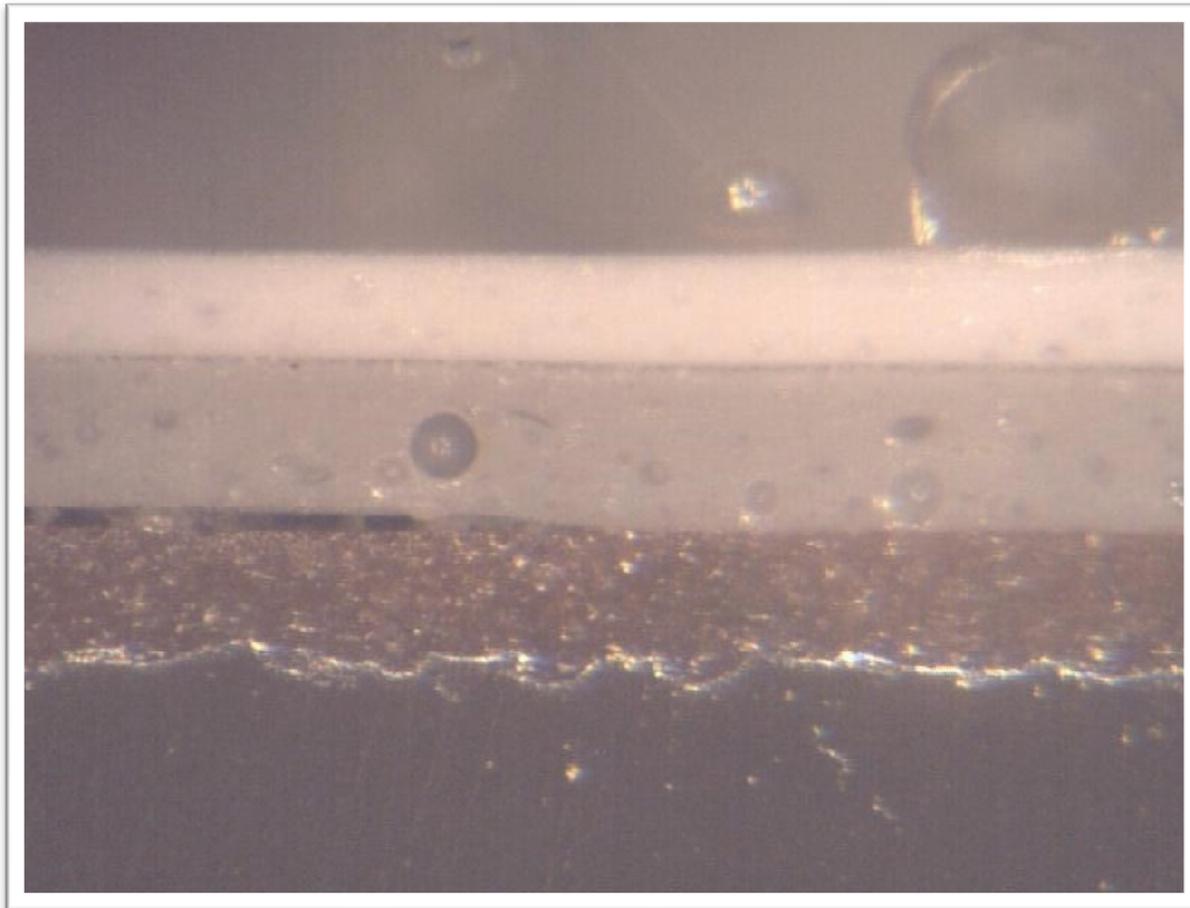


## Comparativo dos limites de repetibilidade dos testes realizados com a norma ASTM D 4541

Tabela de limites de repetibilidade para o Esquema de Pintura – 1 (psi)					
Esquema de pintura	Tempo de cura	Desvio Padrão “sr”	$\bar{x}$ (psi)	r (psi)	Limite de repetibilidade
Nº 01	07 dias	209	1924	464	24,1%
	14 dias	148	2929	362	12,5%
	30 dias	142	2987	348	11,6%

Comparando esta tabela com os limites de precisão e tendência descritos na norma ASTM D 4541 (Tabela 3), verificamos que apenas os resultados obtidos em 14 e 30 dias de cura do esquema de pintura, estão dentro do limite de repetibilidade de **14,8%**. Isto se dá em função da influência do tempo de cura das tintas no valor da tensão de ruptura.

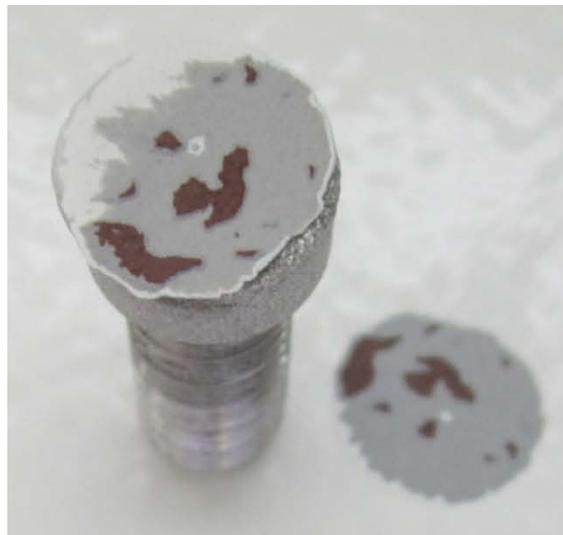
## Análise Qualitativa (Natureza da falha)



Macrografia

Fotografia com 32 vezes de aumento no estereoscópio

## Registro fotográfico com 7 dias de cura



5% Coesivo B	30% Coesiva B	20% Coesiva B
85% Coesivo C	63% Coesiva C	80% Coesiva C
10% Adesiva C/D	5% Adesiva C/D	
	2% Adesiva D/Y	

## Registro fotográfico com 14 dias de cura



70% Coesivo C	5% Coesiva B	70% Coesiva C
30% Adesiva C/D	75% Coesiva C	30% Adesiva C/D
	20% Adesiva C/D	

## Registro fotográfico com 30 dias de cura



80% Adesiva B/C 20% Adesiva C/D	100% Adesiva B/C	98% Adesiva B/C 2% Adesiva C/D
------------------------------------	------------------	-----------------------------------

## Considerações finais

---

- A vazão definida na válvula “rate” interfere no valor do resultado;
- A fórmula e os valores para ajuste da taxa de variação de tensão para cada tipo de pistão resultam em maior repetibilidade e segurança para execução do teste nos laboratórios e no campo;
- As áreas do pistão e do pino, assim como os seus pesos, resultam nos testes, valores diferentes;
- Trocando a fonte de alimentação do equipamento, é possível obtermos resultados ligeiramente diferentes de resistência à tração;
- Ambos adesivos estudados apresentaram melhor resultados em 24 h;
- A influência gravitacional nas diferentes posições estudadas resultaram em valores parecidos e comparáveis;
- O tempo de cura influenciou no resultado (quantitativo e qualitativo) do esquema de pintura epóxi sem solvente.



## **Ensaio de Resistência à Tração em Tintas e Esquemas de Pintura**

**- Informações Adicionais -**

**Fernando Fragata & Fábio Krankel**

❖ **Levantamento junto aos profissionais da área de pintura anticorrosiva:**

- **Indicou como sendo um tema muito relevante a ser colocado em discussão no II SBPA.**
- **Reclamação por parte de profissionais a respeito da falta de critério na avaliação dos resultados obtidos.**
- **Geração de inúmeras discussões entre os profissionais das empresas envolvidas no projeto.**



**Prováveis Razões**



# Prováveis Razões

Muitos profissionais querem simplicidade e raciocinar apenas com números, tal como nos testes de corte em grade e em X.

Desde que se tenha um número para servir de base o resto que se “dane”. Ou seja,

Mínimo exigido : 12 MPa

Valor encontrado : 12,1 MPa



**APROVADO**

Valor encontrado : 11,9 MPa



**REPROVADO**

# Atenção !

**O ensaio de resistência à tração não é só isso.**

**É muito mais abrangente do que se imagina. Basta ter conhecimento adequado para se entender o significado dos resultados obtidos.**

**Dentre outras aplicações, é uma “ferramenta” importante para avaliar as propriedades de adesão e coesão dos revestimentos, em campo ou em laboratório.**

## Informações Importantes

O ensaio não é de aderência e sim de resistência à tração. Os resultados obtidos podem, isto sim, dar informações sobre as propriedades de adesão ou de coesão dos revestimentos.

**SUGESTÃO : Alteração do nome do ensaio**

**“Ensaio de Aderência”  
por  
“Ensaio de Resistência à Tração”**

Vantagem e benefício: obrigaria os profissionais a estudarem os fundamentos básicos do ensaio, bem como contribuiria para capacitá-los melhor quanto à realização do ensaio e à interpretação dos resultados obtidos.

- O Valor da tensão de ruptura (MPa) isoladamente, na maioria dos casos, não tem grande significado, em relação ao desempenho dos esquemas de pintura.

- O Valor da tensão de ruptura (TR) e o local da falha têm que ser avaliados de forma conjunta, **PORÉM**, considerando-se:

- As características técnicas das tintas (exemplo: N 1277; N 1661; N 2288; N 2912; N 2492).

- Tempo e condições de cura (N 1661; N 2492; etc.)

- Mecanismo de formação da película (N 2492, acrílicas de base aquosa, etc.)

## EXEMPLO REAL

Esquemas 1C e 10 C : aplicados em chapas com grau de limpeza **CSt3** (oxidação prévia na presença de cloreto).

ADERÊNCIA INICIAL				
Esquema	ASTM D 4541 (MPa)	Natureza da Falha	NBR 11003 A (corte em X)	ISO 2409 (corte em grade)*
1C	20,4 (*)	40% B; 60% D	X <sub>0</sub> Y <sub>0-1</sub>	0-1
10C	14,0 (**)	B	X <sub>0</sub> Y <sub>0</sub>	1-2

\* Espaçamento entre os cortes de 3 mm, cortes efetuados com instrumento de um gume

**1 C : os valores típicos poderiam variar de 18 a 25 MPa.**

**10 C : os valores típicos poderiam variar de 11 a 15 MPa.**

Um profissional com pouca experiência ou “bitolado” certamente optaria por utilizar o esquema 1C, por entender que quanto maior a tensão de ruptura melhor o desempenho.

**Resultado de ensaio de corrosão, após 5 anos.**



Após 5 anos em atmosfera urbana + NaCl 1 %,  
duas vezes por semana

**20,4  
MPa**



**1 C : EP Al .da (120 µm)+ EP HB (100 µm) +  
PU (60 µm)**

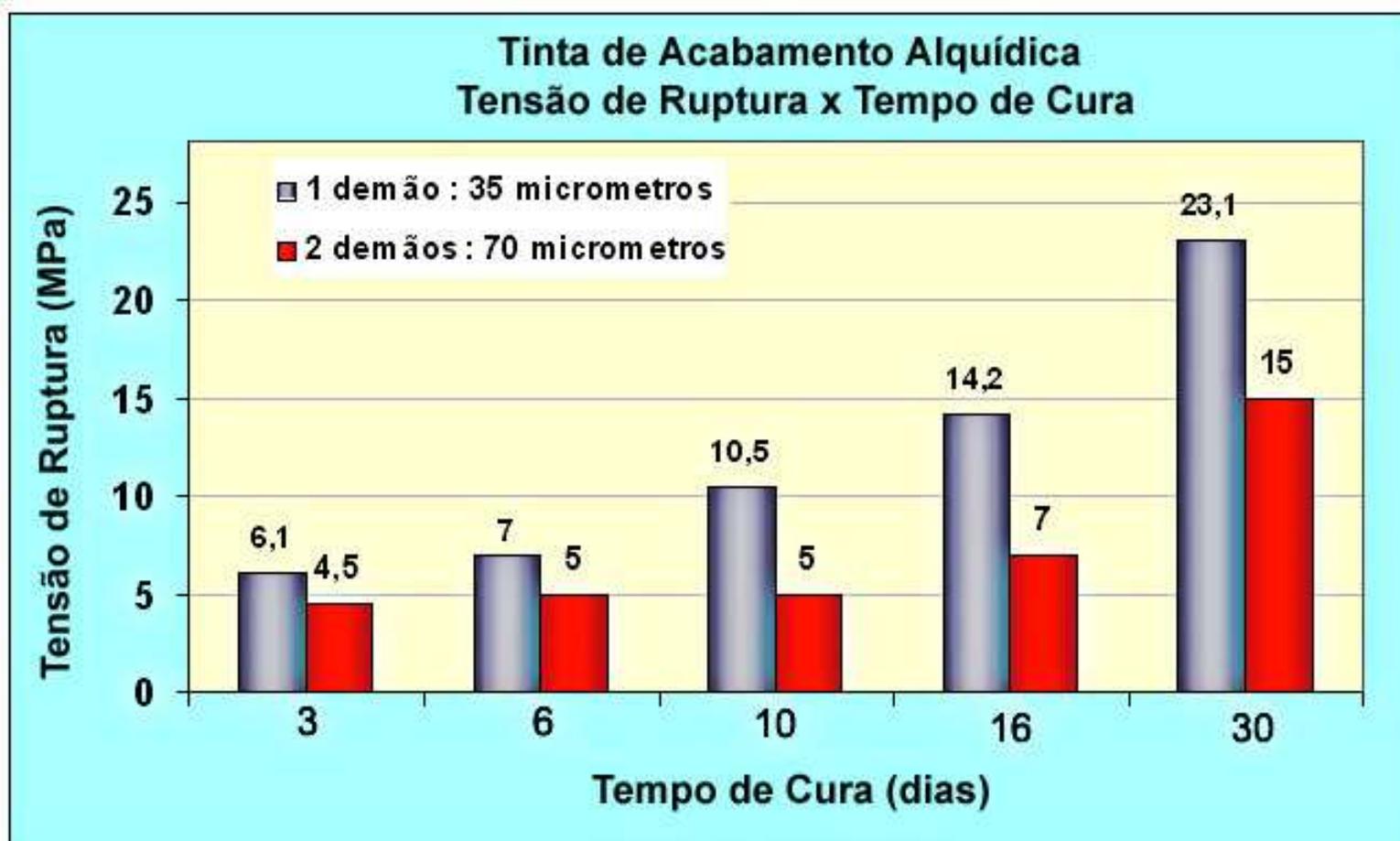
**14,0  
MPa**



**10 C : EP Zn (70 µm)+ EP HB (120 µm) + PU  
(60 µm)**

**INTERCORR 2014 – Grupo de Corrosão  
do Cepel (Alberto Ordine)**

## Mecanismo de secagem e cura através de reação química com oxigênio (O<sub>2</sub>) do ar (Tintas Alquídicas)



Falha coesiva em todos os casos

## Tinta Etil Silicato de Zinco (Mecanismo de Formação de Película Através de Reação Química de Hidrólise) + Acabamento Epóxi Poliamida

Tensão de Ruptura em Função da Cura da Tinta Etil Silicato de Zinco (que depende da umidade relativa e tempo de exposição ao meio)

Esquema Fundo/Acabamento	EFS total ( $\mu\text{m}$ )	Resistência à tração (ASTM D 4541)	
		Tensão de ruptura (MPa)	Natureza do Rompimento
ET.Zn (BU24) / EP.da	160	7 a 9	B
ET.Zn (AU24) / EP.da	160	13 a 15	B

BU : baixa umidade (  $\pm 40\%$  )      AU : alta umidade (  $\pm 90\%$  )

Tempo de cura da ET.Zn : 24 H

Fonte : INTERCORR 2012

## Caso Polêmico (A/B)

**Uma norma exige tensão de ruptura mínima de 15 MPa e não é aceita falha do tipo A/B (substrato / revestimento).**

Esquema de pintura epóxi aplicado em chapa de aço-carbono jateada ao metal branco (BSa3) e perfil de rugosidade médio de 65  $\mu\text{m}$ . O inspetor informou os seguintes resultados:

Tensão de ruptura : **29 MPa**

Local da falha : **A/B**

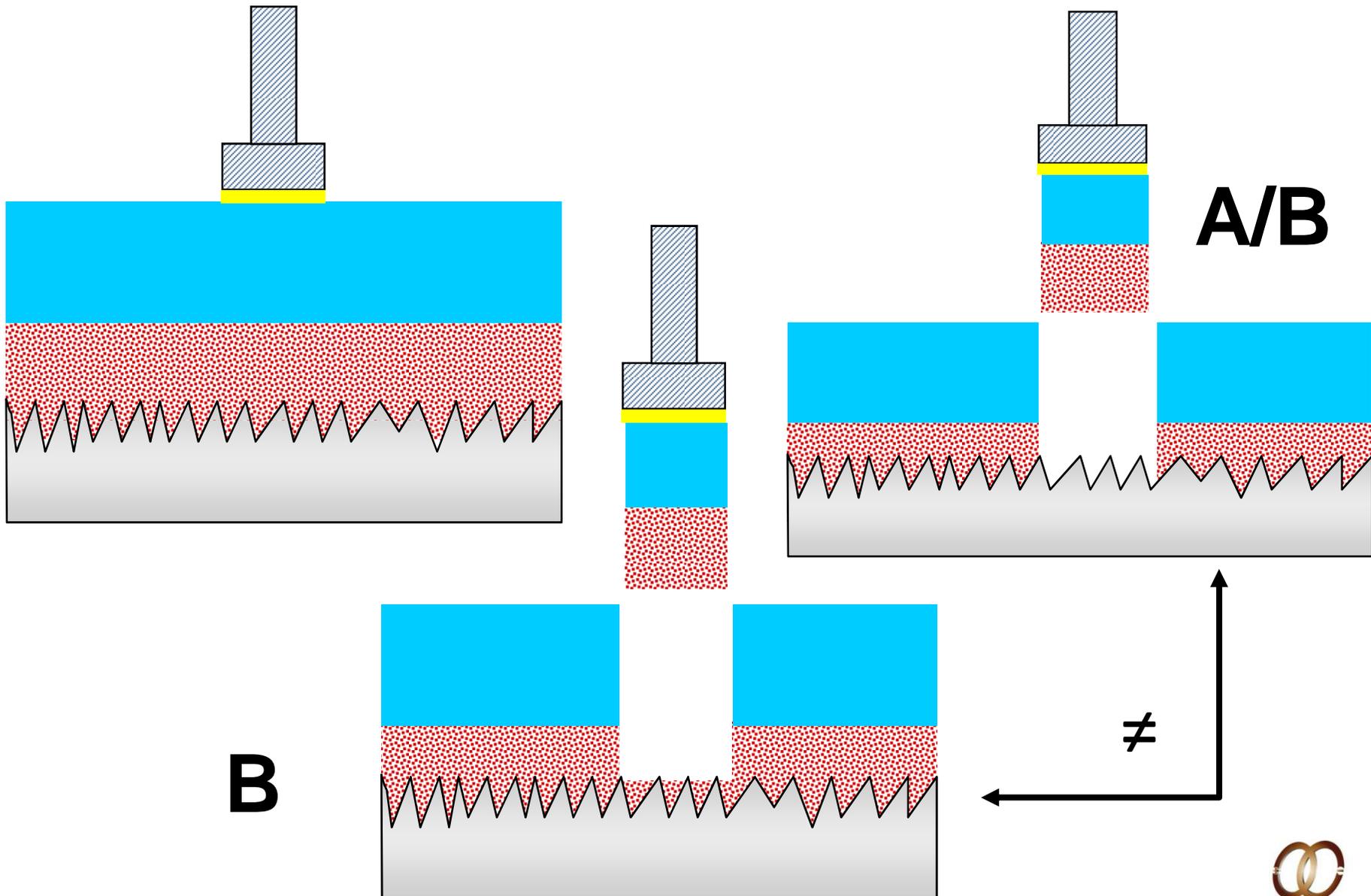
### Idéias do “Inspetor Espertalhão”



Usar um adesivo de menor tensão de ruptura

Alterar as condições de realização do ensaio

# A/B ou B ?



## Projeto de Pesquisa com Tintas de Base Aquosa (CEPEL – PETROBRAS)

**Observou-se, através do ensaio de resistência à tração, um aumento substancial da coesão do revestimento ao longo do tempo. Tal fato é comum nestes tipos de esquema de pintura, principalmente acrílicos, e já foi comprovado em trabalhos anteriores por meio de técnicas eletroquímicas (Impedância).**

**Resultados de ensaios de resistência à tração , antes e após a realização de ensaio cíclico de corrosão (4300 horas de ensaio) .**



Esquema de Pintura	Condição Inicial		Condição Final	
	MPa	Falha	MPa	Falha
WH 1	10,9	(A/B)**	22,2	Y/Z
WH 2	22,0	(A/B)**	25,0	Y/Z
WH 3	14,0	(A/B)**	21,9	Y/Z
WS 2	9,2	B	21,3	25 % B 75 % Y

(\*) 3 dias de UV-B e umidade + 3 dias de SS + 1 dia baixa temperatura

(\*\*) Dentro dos alvéolos observou-se a presença da tinta de fundo

# Considerações Finais

A aderência é uma propriedade muito importante para a durabilidade dos revestimentos. Porém há que se ter em mente que um revestimento com excelente aderência inicial não significa que vá apresentar ótimo desempenho, haja vista que este depende de outros fatores.

Sugestão : trocar o nome do ensaio para “Ensaio de Resistência à Tração”. Os benefícios serão grandes em todos os aspectos.

“Ensaio de Resistência à Tração”. Uma ferramenta importante, quando corretamente usada, para se avaliar as propriedades de adesão e coesão dos revestimentos.

É importante capacitar melhor os profissionais da área de pintura anticorrosiva para que possam extrair o máximo de informações a partir dos resultados obtidos.

# Considerações Finais

**Não se pode transformar os resultados do ensaio em mecanismo de venda ou marketing, tal como fizeram durante anos com o ensaio de “Salt Spray”.**

**Tabela de Preços de Tintas (R\$/L)**

**Ensaio de “Sautisprei” !!**

Tinta	Resistência	R\$/L
A	4000 H	80,00
B	2000 H	55,00
C	1000 H	45,00

**Teste de “Pulofe” !!**

Tinta	"MEGA"!!	R\$/L
A	28	80,00
B	15	55,00
C	12	45,00

**Não se trata de teste de aderência de corte em X**

Ensaio de Aderência em Esquemas de Pintura pelo Método de Tração – Avaliação de Fatores que Influenciam os Resultados - [Corrosão e Protecção de Materiais, v. 27, p. 122-129 \(2008\)](#).

Ensaio de Aderência em Tintas e Esquemas de Pintura – Análise de Resultados Obtidos por Diferentes Métodos – [INTERCORR 2010\\_91](#)

Ensaio de Aderência em Tintas e Esquemas de Pintura – Valores Típicos de Tensão de Ruptura, Tipos de Falha e Comentários Técnicos – [INTERCORR 2012\\_332](#)

Ensaio de Aderência em Esquemas de Pintura pelo Método de Resistência à Tração – Resultados Obtidos com os Equipamentos PATTI® e POSITEST® Automático- [COTEQ 2013](#).

**Muito Obrigado Pela Atenção**

**Fernando Fragata**

**Email : [fragata200@gmail.com](mailto:fragata200@gmail.com)**

**Telefones : 21 9 82326652  
21 9 96334361**