



Centro de Caracterização e
Desenvolvimento de Materiais
UFSCar / UNESP

RELATÓRIO DE ENSAIO LCP05-000225

Empresa: Bérkel Chapas Acrílicas Ltda
Endereço: Av. Presidente Arthur Bernardes, 46/66 - Rudge Ramos
São Bernardo do Campo – SP CEP: 09618-000
Tel.: (11) 4362-1300 **Fax:** (11) 4362-1300
A/C: Patricia Greco
Data de recebimento das amostras: 01/06/2005
Data da emissão: 20/06/2005
OS: 18986

Realização de ensaios em chapas de PMMA

Objetivo:

Determinar a conformidade de 2 (duas) amostra de poli(metacrilato de metila) com alguns dos ensaios descritos na norma NBR ISO 7823-1 – “Plástico – Chapas de poli(metacrilato de metila) – Tipos, dimensões e características – Parte 1: Chapas Fundidas (*cast*)”.

Método de Análise:

Resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade¹: realizado conforme item 6.5.2 da norma NBR ISO 7823-1. O ensaio de tração foi realizado segundo a ISO 527-1 – “*Determination of tensile properties*”. Este método é usado para investigar o comportamento sob tensão da amostra e para a determinação da resistência a tração, módulo sob tensão e outros aspectos da relação tensão/deformação sob tração sob condições definidas. Estes dados são úteis para caracterização qualitativa e pesquisa e desenvolvimento.

As propriedades sob tração podem variar conforme o modo de preparação dos corpos de prova, o ambiente e a velocidade de teste. Portanto quando for

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 1 de 11

desejável uma comparação precisa entre os resultados deste teste estas variáveis deverão ser cuidadosamente controladas. As propriedades obtidas podem fornecer informações úteis para o design de produtos de engenharia. No entanto devido a grande sensibilidade da maioria dos plásticos as taxas de deformação e as condições ambientais, os dados obtidos por este método não podem ser considerados válidos para aplicações envolvendo escalas de tempo/carga e ambientes muito diferentes daqueles empregados neste ensaio.

No ensaio a amostra é estendida em seu maior eixo longitudinal a uma velocidade constante até a amostra romper ou ainda a tensão (carga) ou a deformação (alongamento) atingir um valor pré-determinado. Durante este processo a carga suportada pela amostra e o alongamento são registrados.

A tensão sob tração expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 1.

$$\sigma = \frac{F}{(h \cdot W)} \quad (1)$$

onde

F é a força aplicada (em Newton);

W é a largura da seção útil do corpo de prova (em mm)

H é a espessura do corpo de prova (em mm)

O módulo de elasticidade é calculado pela equação 2:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \quad (2)$$

onde

E_t é o módulo de elasticidade (Young) expresso em MPa

σ_1 é a tensão, em MPa, medida na deformação $\varepsilon_1 = 0,0005$

σ_2 é a tensão, em MPa, medida na deformação $\varepsilon_2 = 0,0025$

Já a razão de Poisson é dada pela equação 3:

$$\mu_n = -\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon} \quad (3)$$

onde:

- μ_n é a razão de Poisson expresso de forma adimensional com $n= b$ (largura) ou $h=$ (espessura) indicando a direção normal escolhida
- ε é a deformação no sentido longitudinal
- ε_n é a deformação no sentido normal, que pode ser $n= b$ (largura) ou $h=$ (espessura)

O equipamento utilizado apresenta as seguintes características:

- **Marca:** EMIC
- **Modelo:** DL10000

O ensaio foi realizado em corpos de prova Tipo 1-B conforme a ISO 527-2: - “Plastics - Determination of tensile properties - Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics”, usinados a partir das chapas acrílicas. A velocidade de ensaio foi de 1 mm/min para a determinação do módulo elástico e de 5 mm/min para as demais propriedades.

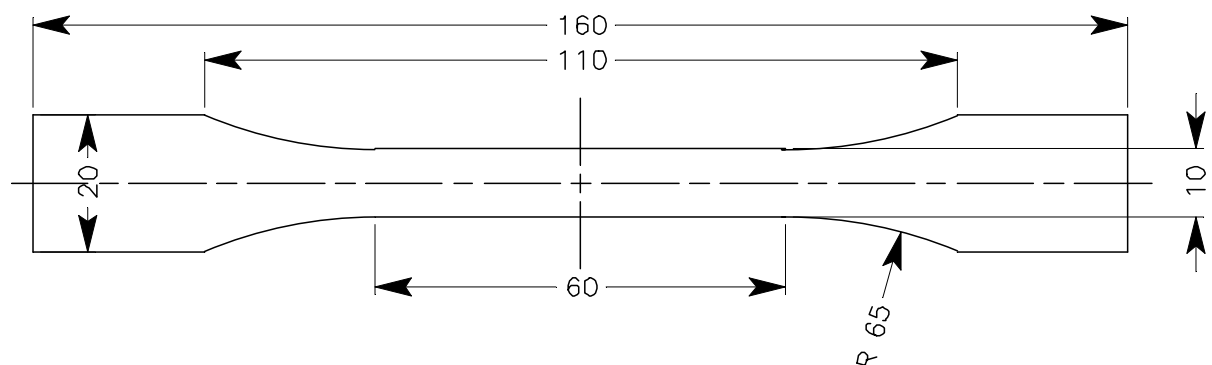


Figura 1 - Corpo de prova ISO 527-2 1B utilizado no ensaio de tração

Resistência à flexão²: realizado conforme item 6.5.1 da norma NBR ISO 7823-1. O ensaio foi realizado conforme a ISO 178 – “*Plastics – Determination of flexural properties*”. Ensaio de flexão são usados para investigar o comportamento mecânico em flexão de materiais. Pode-se obter informações sobre a tensão em flexão, módulo em flexão e outras propriedades de interesse. O ensaio foi realizado em corpos de prova sob carregamento em três pontos, sendo que o carregamento máximo ocorre exatamente na metade da distância entre os dois apoios fixos (“span”).

A distância entre os dois apoios fixos (“span”) é determinada pela seguinte relação, isto é:

$$L = (16 \pm 1)\bar{h} \quad (4)$$

onde L= a distância entre dois apoios fixos e \bar{h} é a espessura média dos corpos de prova utilizado.

A tensão em flexão expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 2.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5)$$

Onde

F é a força aplicada (em Newton);

L é a distância entre os apoios fixos, (em mm);

b é a largura dos corpos de prova (em mm) e

h é a espessura dos corpos de prova (em mm).

Para o cálculo do módulo em flexão inicialmente deve-se determinar as deformações individuais s_1 e s_2 , que corresponde à flecha de na região linear

inicial da curva tensão x deformação. Os valores de s_1 e s_2 são calculados de acordo com a equação 3.

$$s_i = \frac{\varepsilon_{fi} L^2}{6h} \quad (i=1,2) \quad (6)$$

sendo s_i a deflexão individual;

ε_{fi} os valores individuais da deformação ($\varepsilon_{f1} = 0,0005$ e $\varepsilon_{f2} = 0,0025$);

L é a distância entre apoios e

h é a espessura do corpo de prova.

Desta forma o módulo em flexão pode ser determinado de acordo com a equação 4:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}} \quad (7)$$

onde σ_{f1} e σ_{f2} são as tensões medidas nos pontos de deflexão s_1 e s_2 respectivamente.

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios modelo DL10000 da EMIC, operando com célula de carga de 500 Kgf, calibrada em pela EMIC-DCAME - RBC. A velocidade do ensaio foi de 2 mm/min, conforme sugere a norma.

Resistência ao impacto Charpy³: realizado conforme item 6.5.3 da norma NBR ISO 7823-1. A propriedade foi determinada segundo a norma ISO 179 – “Plastics –Determination of Charpy impact strength”, utilizando-se um corpo de prova com 80 mm x 10 mm pela espessura do corpo de prova sem entalhe, e um pêndulo de 2J. O equipamento utilizado apresenta as seguintes características:

- **Marca:** CEAST
- **Modelo:** RESIL 25R



Temperatura de amolecimento VICAT²: realizado conforme item 6.6.1 da norma NBR ISO 7823-1. A propriedade foi determinada segundo a norma ISO 306 - “*Plastics – Thermoplastic materials – Determination of VICAT softening temperature*”.

Neste ensaio uma agulha de ponta chata (com área de $1.000 \pm 0.015 \text{ mm}^2$) com uma massa específica é colocada em contato direto com a amostra. A massa aplicada e a taxa de aquecimento empregada são definidas através dos seguintes métodos:

- ✓ Método A50: força de $(10 \pm 0,2) \text{ N}$ e taxa de $(50 \pm 5) \text{ °C/h}$
- ✓ Método B50: força de $(50 \pm 1,0) \text{ N}$ e taxa de $(50 \pm 5) \text{ °C/h}$
- ✓ Método A120: força de $(10 \pm 0,2) \text{ N}$ e taxa de $(120 \pm 10) \text{ °C/h}$
- ✓ Método B120: força de $(50 \pm 1,0) \text{ N}$ e taxa de $(120 \pm 10) \text{ °C/h}$

A temperatura na qual a agulha penetra $(1 \pm 0,01) \text{ mm}$ é a temperatura de amolecimento VICAT.

As amostras devem possuir espessura entre 3 e 6,5 mm e pelo menos 10 mm x 10 mm em área ou diâmetro de 10 mm.

O meio de transferência de calor utilizado foi um banho de óleo de silicone em um equipamento, calibrado conforme procedimento de fabricante, com as seguintes características:

- **Marca:** CEAST
- **Modelo:** HDT 6 VICAT P/N 6921

Antes do ensaio os corpos de prova foram acondicionados por 16 horas a uma temperatura de 80° C e deixados resfriar em dessecador.

Espessura da Chapa⁴: realizado conforme os itens 5.4.2 e 6.4.2 da norma NBR ISO 7823-1. Foi utilizado para tal fim um micrômetro externo digital milesimal. A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra. Página 6 de 11

calibrado pela Mitutoyo - RBC. A placa foi acondicionada segundo a norma ISO 291 a 23°C e 50% de umidade relativa.

Avaliação de aparência⁴: realizado conforme item 5.2 da norma NBR ISO 7823-1. Observou-se os defeitos superficiais (item 5.2.1), inclusos (item 5.2.2) e os defeitos foram classificados (item 5.2.3) e avaliados conforme sua distribuição (item 5.2.4).

As amostras analisadas foram identificadas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Identificação das amostras.

| Identificação do cliente * | Código da amostra - CCDM |
|--|--------------------------|
| Placa de PMMA cód. BE 000 1,00 x 2,00 4,0 mm de espessura Fab. 18/05/2005 | LCP050459 |
| Placa de PMMA cód. BE 000 1,00 x 2,00 3,0 mm de espessura Fab. 18/05/2005 | LCP050460 |

* identificação fornecida pelo cliente.

Resultados:

Os resultados obtidos no ensaio de tração, isto é, resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo de elasticidade em tração podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de tração.

| Amostra | Resistência à Tração [MPa] | Alongamento à Ruptura [%] | Módulo [MPa] |
|-----------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|
| LCP050459 | 74,34 ± 5,00 | 4,15 ± 0,83 | 3468 ± 94 |
| LCP050460 | 79,44 ± 4,61 | 5,31 ± 1,80 | 3475 ± 27 |

O resultado de resistência à flexão obtido é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de flexão.

| Amostra | Resistência à Flexão [MPa] |
|----------------|---------------------------------------|
| LCP050459 | 114,6 ± 1,0 |
| LCP050460 | 114,7 ± 0,2 |

Os valores de energia absorvida durante o ensaio de impacto Charpy são apresentados na Tabela 5. Na Tabela 4 são apresentados os resultados de resistência ao impacto Charpy.

Tabela 4 – Resultados de resistência ao impacto.

| Amostra | Resistência ao Impacto Charpy | | | |
|----------------|--------------------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| | J/m | | kJ/m² | |
| | Média | Desvio | Média | Desvio |
| LCP050459 | 158,63 | 11,19 | 15,96 | 1,17 |
| LCP050460 | 162,20 | 15,52 | 16,25 | 1,56 |

Tabela 5 - Resultados Individuais de energia absorvida.

| LCP050459 | | | LCP050460 | | |
|----------------|----------------------|---------------|----------------|----------------------|---------------|
| Impacto [J] | Energia Residual [J] | Resultado [J] | Impacto [J] | Energia Residual [J] | Resultado [J] |
| 0,584 | 0,020 | 0,564 | 0,472 | 0,020 | 0,452 |
| 0,580 | 0,020 | 0,560 | 0,464 | 0,020 | 0,444 |
| 0,580 | 0,020 | 0,560 | 0,512 | 0,020 | 0,492 |
| 0,600 | 0,020 | 0,580 | 0,488 | 0,020 | 0,468 |
| 0,572 | 0,020 | 0,552 | 0,472 | 0,020 | 0,452 |
| 0,560 | 0,020 | 0,540 | 0,504 | 0,020 | 0,484 |
| 0,628 | 0,020 | 0,608 | 0,396 | 0,020 | 0,376 |
| 0,608 | 0,020 | 0,588 | 0,560 | 0,020 | 0,540 |
| 0,576 | 0,020 | 0,556 | 0,520 | 0,020 | 0,500 |
| 0,480 | 0,020 | 0,460 | 0,532 | 0,020 | 0,512 |
| Média: | | 0,557 | Média: | | 0,472 |
| Desvio Padrão: | | 0,039 | Desvio Padrão: | | 0,045 |

Os resultados de temperatura de amolecimento VICAT são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados de temperatura de amolecimento VICAT.

| Amostra | Temperatura de amolecimento VICAT [°C] | Temperatura de amolecimento VICAT (média) [°C] |
|-----------|--|--|
| LCP050459 | 119,1 | 119,3 |
| | 119,5 | |
| | 119,2 | |
| LCP050460 | 119,8 | 119,6 |
| | 119,9 | |
| | 119,2 | |

A espessura da placa medida com um micrômetro milesimal é apresentada na Tabela 7. Foram efetuadas ao todo 10 medidas ao redor da placa.

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 9 de 11

Tabela 7 - Espessura da placa de acrílico: dimensões em milímetros.

| LCP050459 | | LCP050460 | |
|---------------|-------|---------------|-------|
| 3,931 | 3,710 | 2,905 | 2,959 |
| 3,780 | 3,859 | 2,931 | 2,842 |
| 3,778 | 3,942 | 2,909 | 2,870 |
| 3,628 | 3,777 | 3,014 | 2,882 |
| 3,872 | 3,911 | 2,880 | 2,868 |
| Média: | 3,819 | Média: | 2,906 |
| Desvio Padrão | 0,102 | Desvio Padrão | 0,051 |

Não foi observado nenhum defeito superficial ou incluso na área analisada das amostras LCP050459 e LCP050460.

Conclusão

As Tabelas seguintes apresentam um resumo dos resultados obtidos bem como os valores especificados para cada ensaio.

Amostra LCP050459

| Propriedade | Unidade | Subseção | Valor Especificado | Valor Obtido |
|-----------------------------------|-------------------|----------|---|--------------|
| Resistência à tração | MPa | 6.5.2 | > 70 | 74,34 |
| Deformação na tração | % | 6.5.2 | > 4 | 4,15 |
| Módulo de elasticidade na tração | MPa | 6.5.2 | > 3000 | 3468 |
| Resistência à flexão | MPa | 6.5.1 | 110 | 114,6 |
| Resistência ao impacto Charpy | KJ/m ² | 6.5.3 | >13 | 15,96 |
| Temperatura de Amolecimento VICAT | °C | 6.6.1 | >105 | 119,3 |
| Espessura da Chapa | mm | 5.4.2 | 4 ± 0,8 | 3,819 |
| Aparência | - | 5.2 | Classificação desprezível/ aceitável e distribuição aceitável | OK |

A amostragem relativa e este certificado são de responsabilidade do cliente, e estes resultados referem-se apenas aos itens ensaiados (não extensivos a outras amostras). Reproduções devem ser feitas na íntegra.

Página 10 de 11

Amostra LCP050460

| Propriedade | Unidade | Subseção | Valor Especificado | Valor Obtido |
|-----------------------------------|-------------------|----------|---|--------------|
| Resistência à tração | MPa | 6.5.2 | > 70 | 79,44 |
| Deformação na tração | % | 6.5.2 | > 4 | 5,31 |
| Módulo de elasticidade na tração | MPa | 6.5.2 | > 3000 | 3475 |
| Resistência à flexão | MPa | 6.5.1 | 110 | 114,7 |
| Resistência ao impacto Charpy | KJ/m ² | 6.5.3 | >13 | 16,25 |
| Temperatura de Amolecimento VICAT | °C | 6.6.1 | >105 | 119,6 |
| Espessura da Chapa | mm | 5.4.2 | 3 ± 0,7 | 2,906 |
| Aparência | - | 5.2 | Classificação desprezível/ aceitável e distribuição aceitável | OK |

Portanto as amostras atendem aos requisitos da norma NBR ISO 7823-1 – “Plástico – Chapas de poli(metacrilato de metila) – Tipos, dimensões e características – Parte 1: Chapas Fundidas (*cast*)” para os ensaios realizados.

São Carlos, 20 de junho de 2005.

Eng. Rubens Eduardo dos Santos
Gerente Técnico - Polímeros
CREA/SP 5061453834

¹ Ensaio Realizado em 06/06/2005

² Ensaio Realizado em 10/06/2005

³ Ensaio Realizado em 08/06/2005

⁴ Ensaio Realizado em 15/06/2005