



Centro de Caracterização e  
Desenvolvimento de Materiais  
UFSCar / UNESP

## RELATÓRIO DE ENSAIO LCP06-000079

**Empresa:** Bérkel Chapas Acrílicas Ltda.

**Endereço:** Av. Presidente Arthur Bernardes, 46/66 - Rudge Ramos.  
S Bernardo do Campo – SP CEP: 09618-000.

**Tel.:** (11) 4362-1300 **Fax:** (11) 4362-1300

**A/C:** Patrícia Greco.

**Data de recebimento das amostras:** 17/02/2006.

**Data de início do Trabalho:** 17/02/2006.

**Data da emissão:** 08/03/2006.

**OS:** 20975.

### Realização de ensaios em chapas de PMMA

#### Objetivo:

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

#### Método de Análise:

**Resistência à tração:** realizado conforme item 6.5.2 da norma NBR ISO 7823-2. 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

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:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (2)$$

onde

E<sub>t</sub> é o módulo de elasticidade (Young) expresso em MPa

σ<sub>1</sub> é a tensão, em MPa, medida na deformação ε<sub>1</sub>= 0,0005

σ<sub>2</sub> é a tensão, em MPa, medida na deformação ε<sub>2</sub>= 0,0025

Já a razão de Poisson é dada pela equação 3:

$$\mu_n = \frac{\sum \epsilon_n}{\sum \epsilon_n} \quad (3)$$

onde:

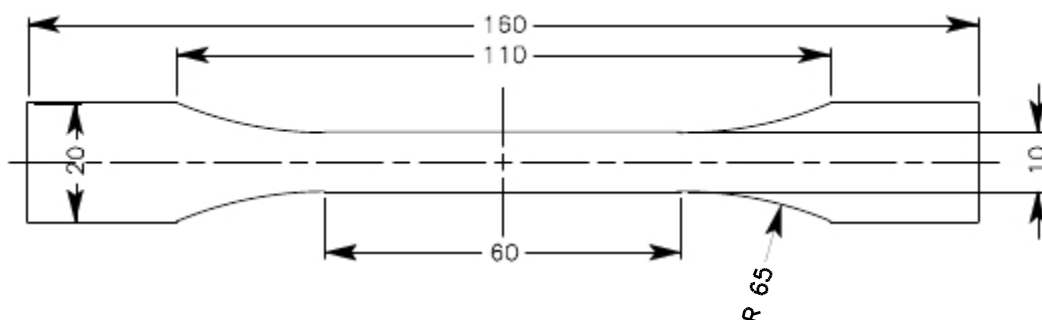
$\mu_n$  é a razão de Poisson expresso de forma adimensional com  $n= b$  (largura) ou  $n= h$  (espessura) indicando a direção normal escolhida  
 $\epsilon$  é a deformação no sentido longitudinal  
 $\epsilon_n$  é a deformação no sentido normal, que pode ser  $n= b$  (largura) ou  $n= h$  (espessura).

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 recebidas. Os corpos de prova foram retirados perpendicularmente ao sentido da extrusão. A velocidade de ensaio foi de 1 mm/min para a determinação do módulo elástico e de 5 mm/min para as demais propriedades. O ensaio foi realizado em 3 de março de 2006.

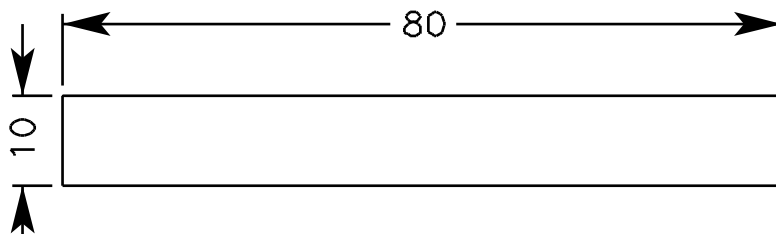


**Figura 1 - Corpo de prova ISO 527-2 1B utilizado no ensaio de tração.**

**Resistência à flexão:** realizado conforme item 6.5.1 da norma NBR ISO 7823-2. 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”).

As dimensões aproximadas dos corpos de prova utilizados neste ensaio foram as seguintes:

- comprimento: 80,0 mm;
- largura: 10 mm e
- espessura: 4 mm.



**Figura 2 - Corpo de prova utilizado no ensaio de flexão conforme a ISO 178.**

Corpos de prova com esta espessura exigem que a distância entre os dois apoios fixos (“span”) seja igual a 64,0 mm, 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.

$$s_i = \frac{\sum \bar{f}_i L^2}{6h} \quad (i=1,2) \quad (6)$$

sendo  $s_i$  a deflexão individual;

$\sum \bar{f}_i$  os valores individuais da deformação ( $\sum f_1 = 0,0005$  e  $\sum f_2 = 0,0025$ );

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:

$$E_f = \frac{\int_{f2} \square \int_{f1}}{\sum_{f2} \square \sum_{f1}} \quad (7)$$

onde  $\int_{f1}$  e  $\int_{f2}$  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. A velocidade do ensaio foi de 2 mm/min, conforme sugere a norma. Como não foi definida uma direção preferencial para a retirada dos corpos de prova, os mesmos foram retirados perpendicularmente ao sentido da extrusão. O ensaio foi realizado em 23 de fevereiro de 2006.

**Resistência ao impacto Charpy:** realizado conforme item 6.5.3 da norma NBR ISO 7823-2. 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 (ISO 179/1fU), um pêndulo de 2J e um span de 62 mm. Este ensaio foi realizado em 23 de fevereiro de 2006. O equipamento utilizado apresenta as seguintes características:

**Marca:** CEAST

**Modelo:** RESIL 25R

Este método é usado para indicado para investigar o comportamento de tipos de corpos de prova específicos sobre condições de impacto definidas e para estimar a fragilidade ou tenacidade das amostras dentro das limitações das condições de teste. Este método apresenta uma maior aplicabilidade do que o definido pela ISO 180 (impacto Izod) e é mais adequado para testar materiais que

apresentam fratura interlamelar por cisalhamento ou materiais que exibem efeitos superficiais devido a fatores ambientais.

Diferentes corpos de prova podem ser usados para ensaios de impacto Charpy dependendo da forma inicial da amostra e da característica que deseja ser analisada. Os tipos de corpo de prova utilizados para este ensaio podem ser observados na Tabela 1.

A designação do método de ensaio utilizado no ensaio, depende do tipo do corpo de prova, entalhe e direção do impacto como pode ser observado na Tabela 2.

**Tabela 1 - Tipos de corpos de prova, dimensões e Span.**

| Tipo de C.P. | Comprimento<br>[mm] (l) | Largura<br>[mm] (b) | Espessura<br>[mm] (h) | Span<br>[mm] (L)                |
|--------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1            | 80 ± 2                  | 10,0 ± 0,2          | 4,0 ± 0,2             | 62 <sup>+0,5</sup> <sub>0</sub> |
| 2            | 25 h                    | 10 ou 15            | 3                     | 20 h                            |
| 3*           | (11 ou 13) h            |                     |                       | (6 ou 8) h                      |

\*Para materiais que apresentam fratura interlamelar por cisalhamento.

**Tabela 2 - Designação dos métodos.**

| Designação do método | Tipo de corpo de prova | Direção de impacto * | Tipo de entalhe | Raio na base do entalhe [mm] | Largura restante, b <sub>n</sub> , na base do entalhe [mm] |
|----------------------|------------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| ISO 179/1eU          | 1                      | Edgewise             | Sem entalhe     |                              |                                                            |
| ISO 179/1eA          |                        |                      | A               | 0,25 ± 0,05                  | 8,0 ± 0,2                                                  |
| ISO 179/1eB          |                        |                      | B               | 1,00 ± 0,05                  | 8,0 ± 0,2                                                  |
| ISO 179/1eC          |                        |                      | C               | 0,10 ± 0,02                  | 8,0 ± 0,2                                                  |
| ISO 179/1fU          |                        | Flatwise             | Sem entalhe     |                              |                                                            |

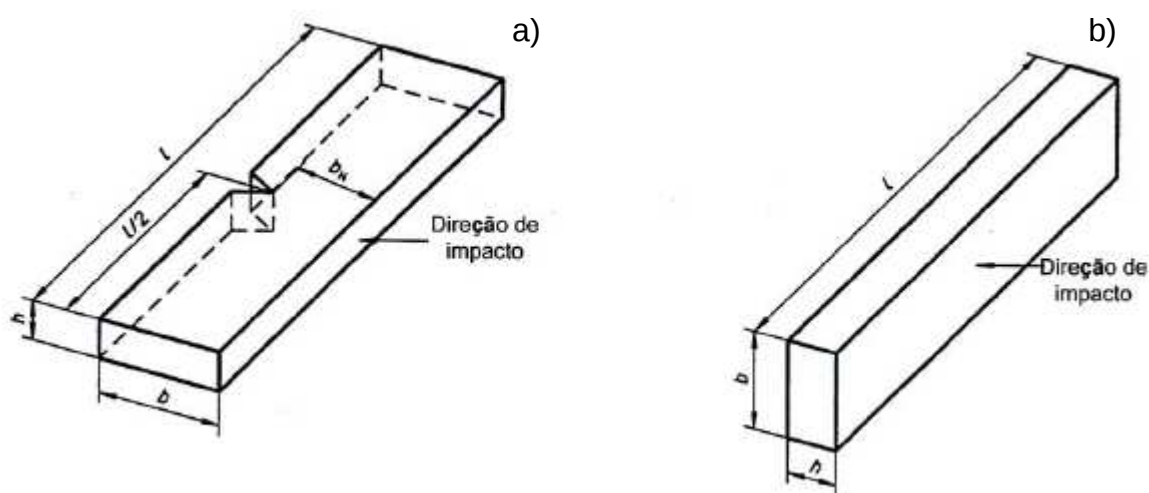
\* Ver Figura 3

O cálculo da resistência ao impacto para corpos de prova sem entalhe é expressa em quilojoules por metro quadrado e é determinado pela seguinte fórmula:

$$a_{CU} = \frac{W}{h \cdot b} \cdot 10^3 \quad (8)$$

Já para corpos de prova entalhados a mesma energia é calculada como:

$$a_{CU} = \frac{W}{h \cdot b_N} \cdot 10^3 \quad (9)$$



**Figura 3 – Direção de impacto: a) edgewise e b) flatwise.**

**Temperatura de amolecimento VICAT:** realizado conforme item 6.6.1 da norma NBR ISO 7823-2. A propriedade foi determinada segundo a norma ISO 306 - “*Plastics – Thermoplastic materials – Determination of VICAT softening temperature*”, método B50.

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  $(10 \pm 0,2)$  N e taxa de  $(50 \pm 5)$  °C/h

Método B50: força de  $(50 \pm 1,0)$  N e taxa de  $(50 \pm 5)$  °C/h

Método A120: força de  $(10 \pm 0,2)$  N e taxa de  $(120 \pm 10)$  °C/h

Método B120: força de  $(50 \pm 1,0)$  N e taxa de  $(120 \pm 10)$  °C/h

A temperatura na qual a agulha penetra  $(1 \pm 0,01)$  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. Este ensaio foi realizado em 8 de março de 2006.

**Espessura da Chapa:** realizado conforme os itens 4.4.2, 5.2 e 6.4 da norma NBR ISO 7823-2. A placa foi acondicionada segundo a norma ISO 291 a 23°C e 50% de umidade relativa. O ensaio foi realizado em 22 de fevereiro de 2006.

**Avaliação de aparência:** realizado conforme item 4.2 da norma NBR ISO 7823-2. Observou-se os defeitos superficiais e inclusos .

A amostra analisada foi identificada de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 3 - Identificação da amostra.**

| Identificação do cliente *         | Código da amostra - CCDM |
|------------------------------------|--------------------------|
| Chapa Cristal 1.016 x 2.007 x 4.00 | LCP060158                |

\* identificação fornecida pelo cliente.

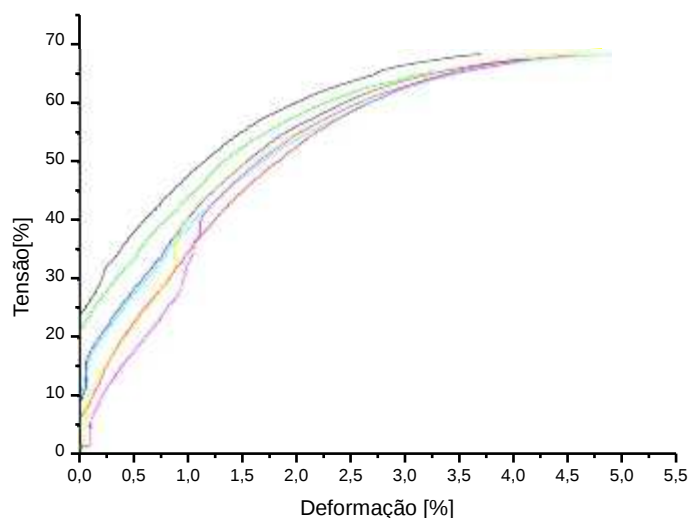
### Resultados:

O resultado de resistência à tração é apresentado na Tabela 4. O valor de módulo elástico foi obtido em um ensaio realizado a 1 mm/min. Os demais resultados foram obtidos a 5 mm/min. A espessura do corpo de prova utilizado é igual a espessura da chapa recebida como amostra. Na Figura 4 é possível observar as curvas de Tensão x Deformação obtidas. Para os cálculos os outliers foram desprezados.

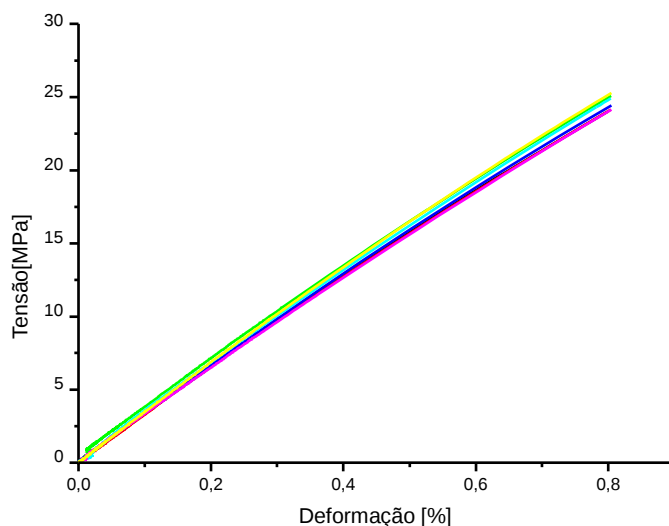
**Tabela 4 - Resultados do ensaio de Tração.**

| Amostra       | Módulo elástico<br>(MPa) | Resistência à Tração<br>(MPa) | Deformação na Tração<br>(%) |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| LCP060158     | 3205                     | 68,55                         | 3,68                        |
|               | 3244                     | 68,30                         | 4,53                        |
|               | 3302                     | 65,46                         | 3,23                        |
|               | 3257                     | 67,66                         | 4,14                        |
|               | 3315                     | 68,37                         | 4,85                        |
|               | 3159                     | 67,31                         | 4,02                        |
|               | 3385                     | 69,06                         | 4,79                        |
| Média         | 3267                     | 67,81                         | 4,18                        |
| Desvio Padrão | 75                       | 1,19                          | 0,59                        |

O resultado de resistência à flexão obtido é apresentado na Tabela 5. Na Figura 6 é possível se observar a as curvas Tensão x Deformação para as amostras ensaiadas sob flexão. Os corpos de prova foram ensaiados com a mesma espessura da chapa fornecida.



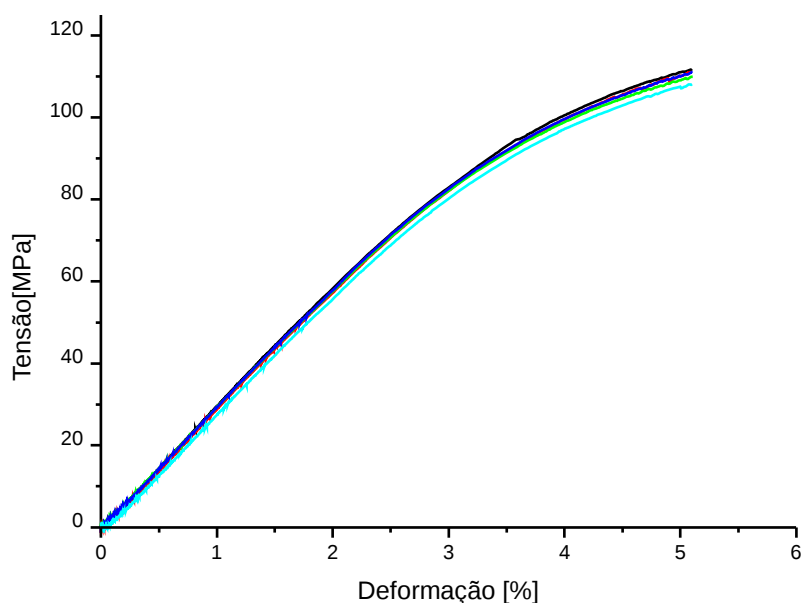
**Figura 4 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob Tração a 5 mm/min.**



**Figura 5 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob Tração a 1 mm/min.**

**Tabela 5 - Resultados do ensaio de flexão.**

| Amostra       | Resistência à Flexão |
|---------------|----------------------|
|               | [MPa]                |
| LCP060158     | 111,77               |
|               | 111,21               |
|               | 109,92               |
|               | 110,94               |
|               | 108,15               |
| Média         | 110,4                |
| Desvio Padrão | 1,4                  |



**Figura 6 – Curva Tensão x Deformação da amostra LCP060158 sob flexão.**

Os valores de energia absorvida durante o ensaio de impacto Charpy são apresentados na Tabela 7. Na Tabela 6 são apresentados os resultados de resistência ao impacto Charpy.

**Tabela 6 – Resultados de resistência ao impacto.**

| Amostra   | kJ/m <sup>2</sup> |        |
|-----------|-------------------|--------|
|           | Média             | Desvio |
| LCP060158 | 14,32             | 1,77   |

Os resultados de temperatura de amolecimento VICAT são apresentados na Tabela 8.

**Tabela 7 - Resultados Individuais de energia absorvida.**

| LCP060158      |                         |                  |
|----------------|-------------------------|------------------|
| Impacto<br>[J] | Energia Residual<br>[J] | Resultado<br>[J] |
| 0,576          | 0,016                   | 0,560            |
| 0,628          | 0,016                   | 0,612            |
| 0,560          | 0,016                   | 0,544            |
| 0,628          | 0,016                   | 0,612            |
| 0,624          | 0,016                   | 0,608            |
| 0,400          | 0,016                   | 0,384            |
| 0,608          | 0,016                   | 0,592            |
| 0,628          | 0,016                   | 0,612            |
| 0,616          | 0,016                   | 0,600            |
| 0,552          | 0,016                   | 0,536            |
| Média:         |                         | 0,566            |
| Desvio Padrão: |                         | 0,070            |

**Tabela 8 - Resultados de temperatura de amolecimento VICAT.**

| Amostra   | Temperatura de amolecimento VICAT<br>[°C] | Temperatura de amolecimento VICAT<br>(média)<br>[°C] |
|-----------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| LCP060158 | 101,8                                     | 101,9                                                |
|           | 101,9                                     |                                                      |
|           | 102,1                                     |                                                      |

A espessura da placa medida com um micrômetro milesimal é apresentada na Tabela 9. Foram efetuadas ao todo 10 medidas ao redor da placa.

**Tabela 9 - Espessura da placa de acrílico: dimensões em milímetros.**

| LCP060158     |       |
|---------------|-------|
| 3,971         | 3,944 |
| 4,000         | 3,965 |
| 4,006         | 3,959 |
| 3,966         | 3,991 |
| 3,953         | 3,956 |
| Média:        | 3,971 |
| Desvio Padrão | 0,021 |

Não foi observado nenhum defeito superficial ou incluso na área analisada da amostra LCP060158.

## Conclusão

A Tabela seguinte apresenta um resumo dos resultados obtidos bem como os valores especificados para cada ensaio.

| Amostra LCP060158                 |                   |          |                                                               |              |
|-----------------------------------|-------------------|----------|---------------------------------------------------------------|--------------|
| Propriedade                       | Unidade           | Subseção | Valor Especificado                                            | Valor Obtido |
| Resistência à flexão              | MPa               | 6.5.1    | 110 a 115                                                     | 110,4        |
| Resistência à tração              | MPa               | 6.5.2    | > 60                                                          | 67,81        |
| Deformação na tração              | %                 | 6.5.2    | > 2                                                           | 4,18         |
| Módulo de elasticidade na tração  | MPa               | 6.5.2    | > 2900                                                        | 3267         |
| Resistência ao impacto Charpy     | KJ/m <sup>2</sup> | 6.5.3    | > 8                                                           | 14,32        |
| Temperatura de Amolecimento VICAT | °C                | 6.6.1    | > 88                                                          | 101,9        |
| Espessura da Chapa                | mm                | 6.6.3    | 4 ± 0,4                                                       | 3,971        |
| Aparência                         | -                 | 4.2      | Classificação desprezível/ aceitável e distribuição aceitável | OK           |

Portanto a amostra LCP060158 atende, aos requisitos da norma NBR ISO 7823-2 – “Plástico – Chapas de poli(metacrilato de metila) – Tipos, dimensões e características – Parte 2: Chapas extrusadas calandradas”.

São Carlos, 8 de março de 2006.

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