

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS A BASE DE PVC DOS COLETORES SOLARES DE BAIXO CUSTO (CSBC) ATÉ 4 ANOS DE USO



Bruna Rosa Prado¹ (Bolsista), Prof. Dr. Júlio R. Bartoli² (Orientador)

¹e-mail: b059283@dac.unicamp.br

²e-mail: bartoli@feq.unicamp.br

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA - FEQ - UNICAMP

PVC - Coletores solares - Propriedades mecânicas



INTRODUÇÃO

Considerando a necessidade energética e a disponibilidade de energia solar em nosso país, diversos estudos têm sido realizados para construção de coletores solares de baixo custo (CSBC) a base de materiais termoplásticos, como o PVC rígido utilizado neste estudo. O objetivo é disseminar essa tecnologia para aquecimento de água a um número maior de consumidores de energia elétrica, em especial nas classes de menor poder aquisitivo. A durabilidade das placas coletoras dos CSBC, construídas com forros alveolares de PVC, está sendo estudada em envelhecimento natural.

Neste trabalho são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização mecânica (tração x deformação) e análises físico-químicas (FTIR) do material PVC retirado das placas de sistemas CSBC (2 placas de 0,8 m² para 500 litros) instalados em três ambientes, em períodos diferentes: *Casa de repouso Bom Pastor*, em Barão Geraldo, após 27 meses de exposição (Fig. 1); *Entidade de Assistência a Dependentes Químicos*, em Jaguariúna, 48 meses e recinto de ensaios da FEQ, 36 meses.



Figura 1. Sistema de CSBC instalado.

METODOLOGIA

Retirada das amostras:

Os Corpos de Prova (CP) para os ensaios foram retirados das placas de PVC e codificados para cada condição, conforme Tabela 1. Foram preparados 15 CP para o ensaio de tração.

Tabela 1. Legenda da Codificação

| Estrutura do código da amostra: X.Y.Z | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|---|---------------|
| X - Período de Exposição | Y - Lado da Placa | Z - Região da Placa | | | |
| 1 | 0 meses | 1 | Lado Superior (preto) | Q | Região Quente |
| 2 | 27 meses | | Lado Inferior (branco) | F | Região Fria |
| 3 | 48 meses | 2 | Lado Superior (preto) | Q | Região Quente |
| 4 | 36 meses | | Lado Inferior (branco) | F | Região Fria |



Figura 2. Regiões da placa

Análise FTIR-ATR: amostras de 1 cm², utilizando o espectrofotômetro Bruker com acessório Pike (gentileza da Rhodia, Paulínia), nas seguintes condições:

- superfície superior da placa, exposta ao sol, análise sob o revestimento preto, após remoção (levemente raspado);
- superfície inferior da placa, não exposta ao sol;
- superfície da placa tal qual recebida do fornecedor (original).

Ensaio de Tração [1]:

1. Desmontagem das placas dos CSBC instalados.
2. Corte das placas de PVC na sua seção transversal, Fig. 3.
3. Corte dos CP, entre as canaletas do forro de largura 10 mm. Usou-se uma prensa hidráulica e cunha Tipo V, Fig. 4.
4. Ensaio dos CP na Máquina Universal (EMIC DL2000), velocidade 10 mm/min, conforme a norma ASTM D638 [1].

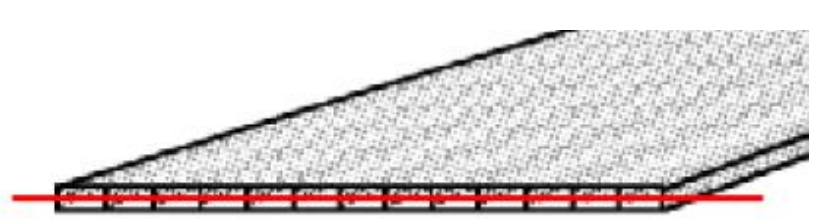


Figura 3. Placa de forro de PVC com indicação de corte transversal



Figura 4. Corte de corpos de prova.

RESULTADOS

Análise FTIR-ATR: Os espectros no infravermelho do PVC original e do exposto ao sol por 27 meses são mostrados nas Figuras 5 e 6.

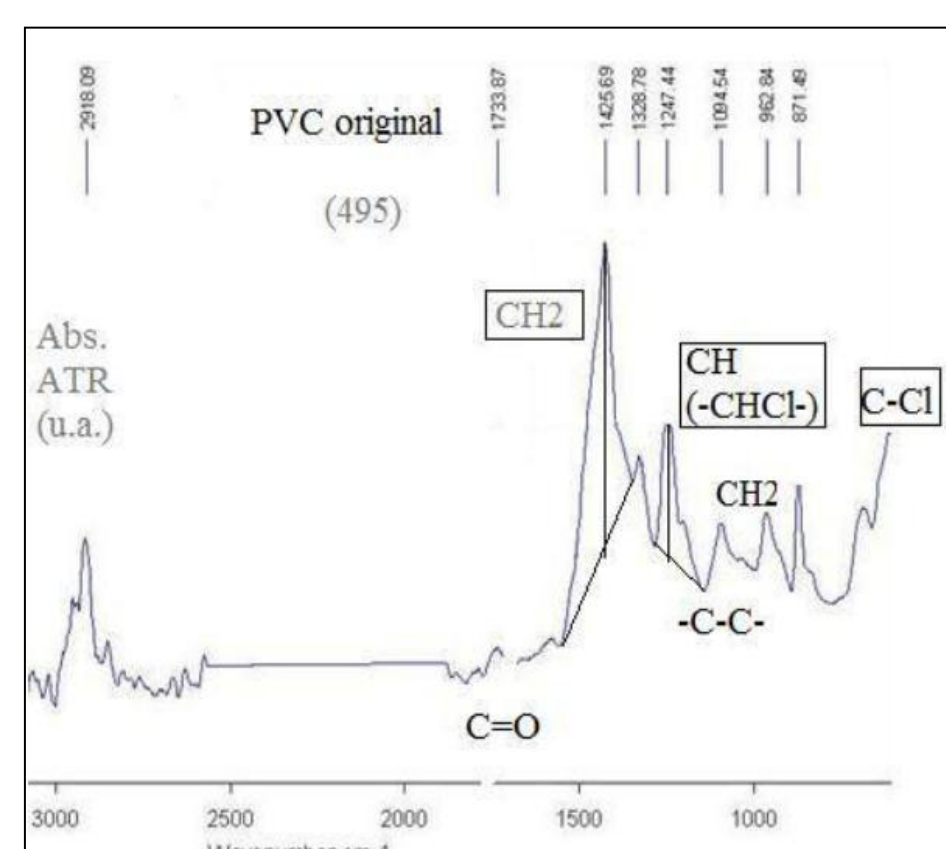


Figura 5. Espectro FTIR-ATR do PVC original (placa de forro original).

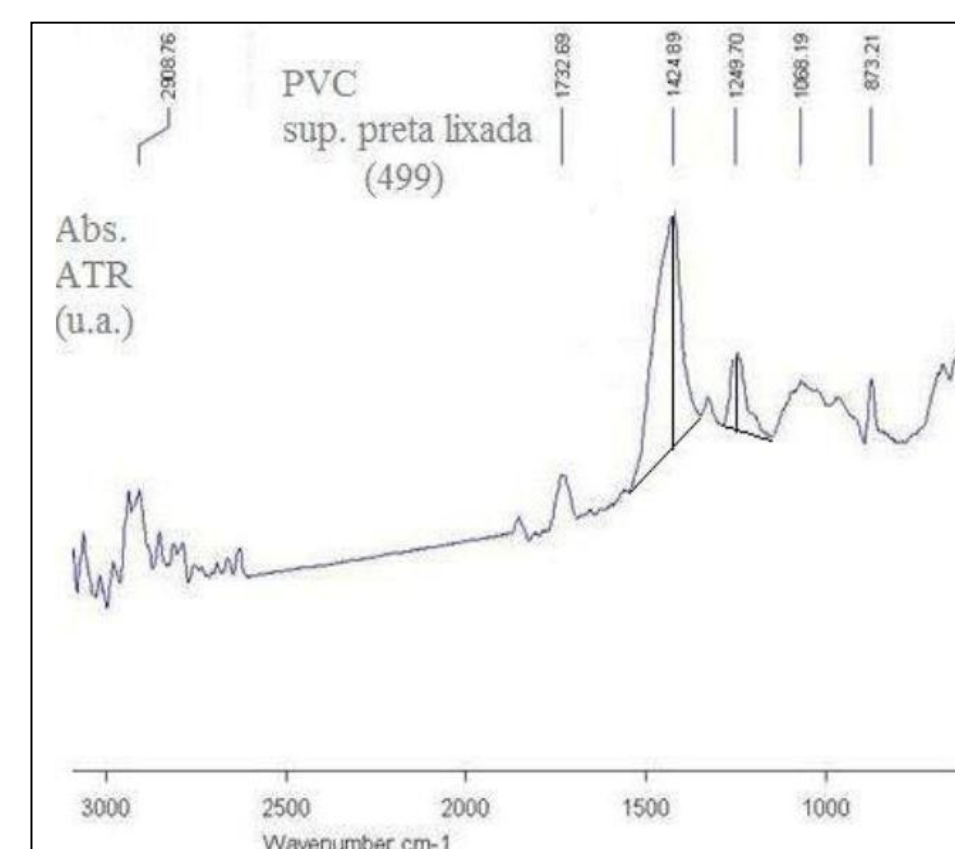


Figura 6. Espectro FTIR-ATR do PVC após a placa exposta ao sol por 27 meses.

A comparação de alguns picos característicos do espectro do PVC^[2], mostra significativa alteração nas intensidades dos grupos CH₂ a 1.425 cm⁻¹ e CH a 1.247 cm⁻¹ (este relativo à ligação CHCl da cadeia do PVC). Se a desidrocloração do PVC está ocorrendo como processo de fotodegradação, é provável que os grupos CH contribuam menos na intensidade do pico, devendo-se formar dupla ligação com a liberação de HCl.

Ensaio de Tração: As curvas de tensão vs deformação são apresentadas nas Figuras 7 e 8. Foram ensaiados quinze corpos de prova para cada amostra. As médias dos módulos de elasticidade, tensão e deformação na ruptura estão descritas na Tabela 2.

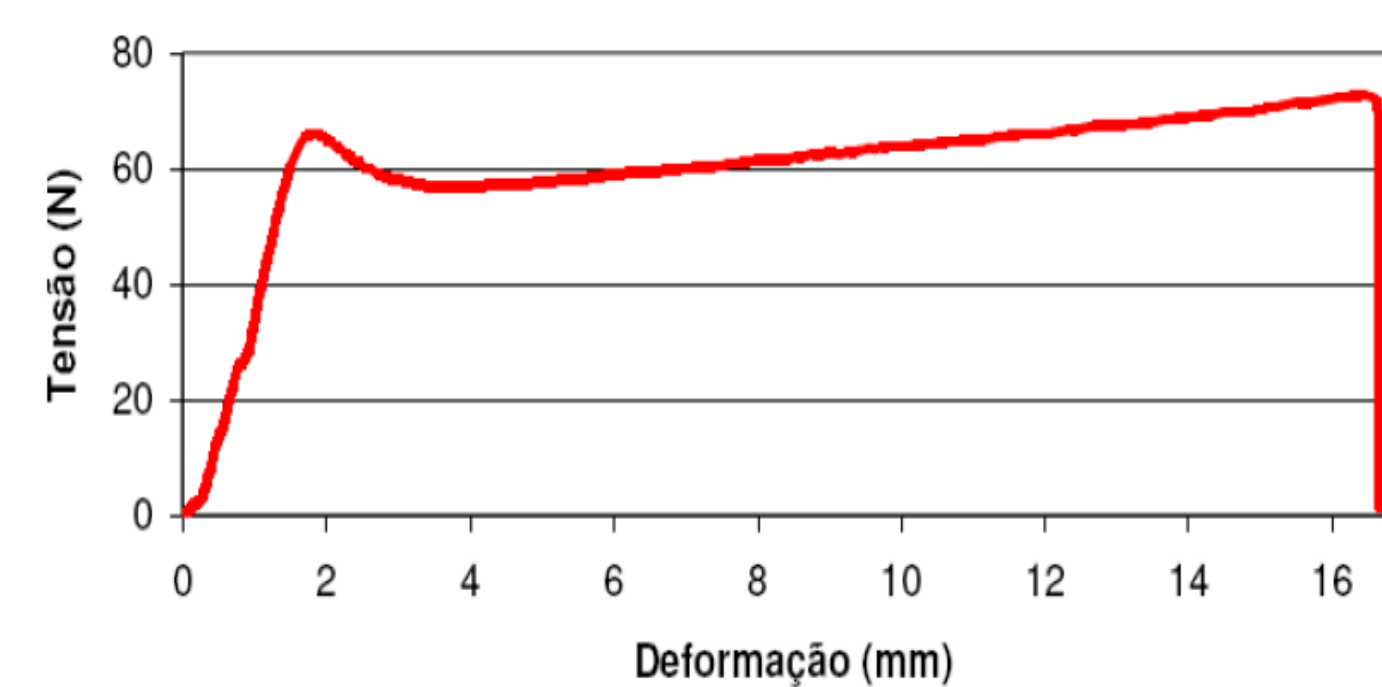


Figura 7. Curva de Tensão x Deformação - Amostra de PVC da placa original

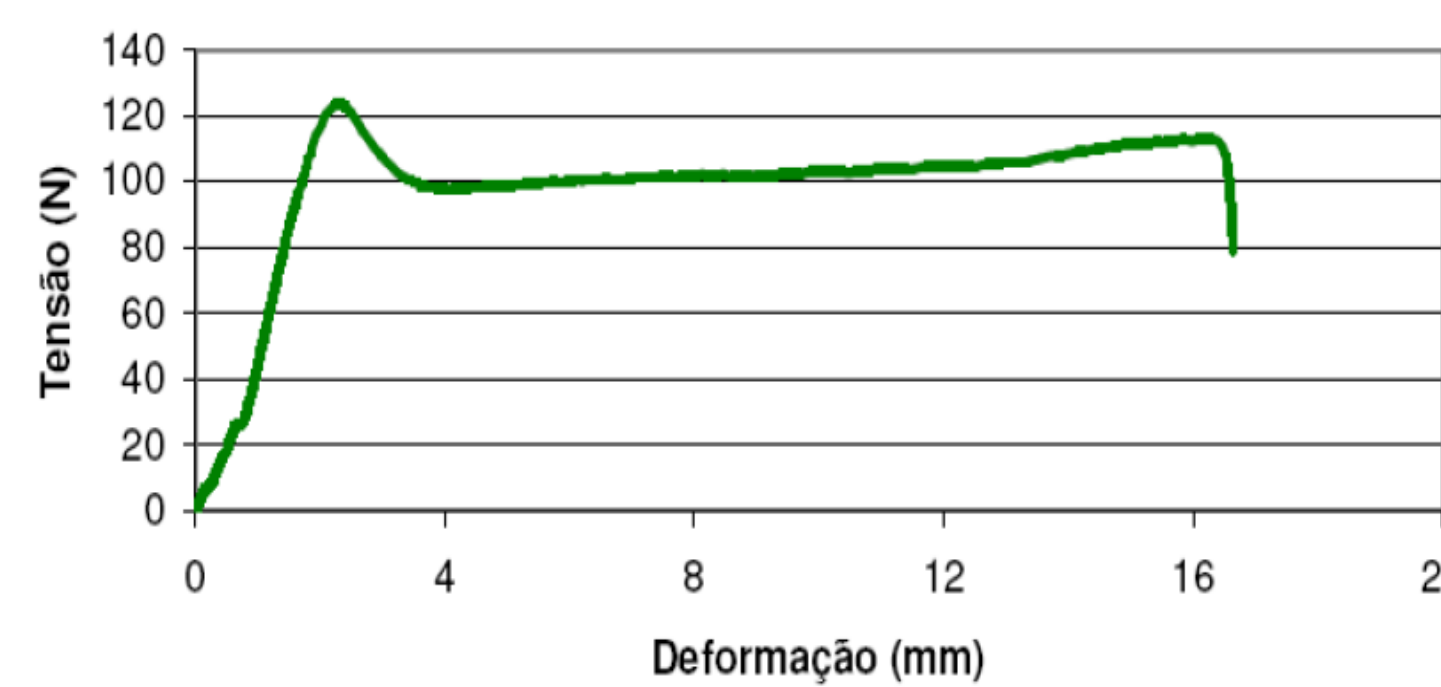


Figura 8. Curva de Tensão x Deformação - Amostra de placa exposta 27 meses, lado superior preto

Tabela 2. Resultados médios e desvios padrão

| Amostra | Módulo (Mpa) | Tensão (Mpa) | Deformação (%) | Área (mm ²) |
|---------|-------------------|----------------|----------------|-------------------------|
| 1.0 | 1.282,7 ±210,0 | 41,37 ±7,5 | 169,8 ±30,8 | 1,74 ±0,30 |
| 2.1 | 1.070,6 ±197,4 | 39,43 ±8,7 | 193,5 ±19,3 | 2,53 ±0,47 |
| 2.2 | 1.199,1 ±155,5 | 43,88 ±8,0 | 192,2 ±19,0 | 2,03 ±0,27 |
| 3.1.Q | 948,8 ±208,5 | 33,63 ±14,1 | 182,3 ±47,1 | 2,37 ±0,24 |
| 3.1.F | 998,1 ±288,7 | 32,14 ±10,3 | 178,5 ±29,6 | 2,65 ±0,39 |
| 3.2.Q | 1221,7 ±194,5 | 39,13 ±9,2 | 162,1 ±23,6 | 1,94 ±0,31 |
| 3.2.F | 1206,8 ±367,6 | 51,41 ±12,3 | 164,5 ±21,4 | 1,54 ±0,30 |
| 4.1.Q | 1052,8 ±370,5 | 38,66 ±7,8 | 171,8 ±29,8 | 2,30 ±0,35 |
| 4.1.F | 1143,4 ±278,3 | 36,36 ±12,1 | 170,9 ±33,2 | 2,49 ±0,32 |
| 4.2.Q | 1269,0 ±162,3 | 42,10 ±14,4 | 179,0 ±54,1 | 2,28 ±0,27 |
| 4.2.F | 1178,1 ±135,2 | 39,23 ±7,2 | 200,8 ±27,6 | 1,92 ±0,21 |

Os resultados do Módulo de Elasticidade no PVC rígido, após a exposição ao sol, mostram redução significativa. Verifica-se o menor Módulo E nas amostras retiradas do lado superior preto da placa (saída da água quente para o reservatório).

A regressão linear do Módulo de Elasticidade, Fig. 9, prevê redução de 50% do Módulo (0,65 GPa), da placa de PVC original, em 90 meses (7,5 anos).

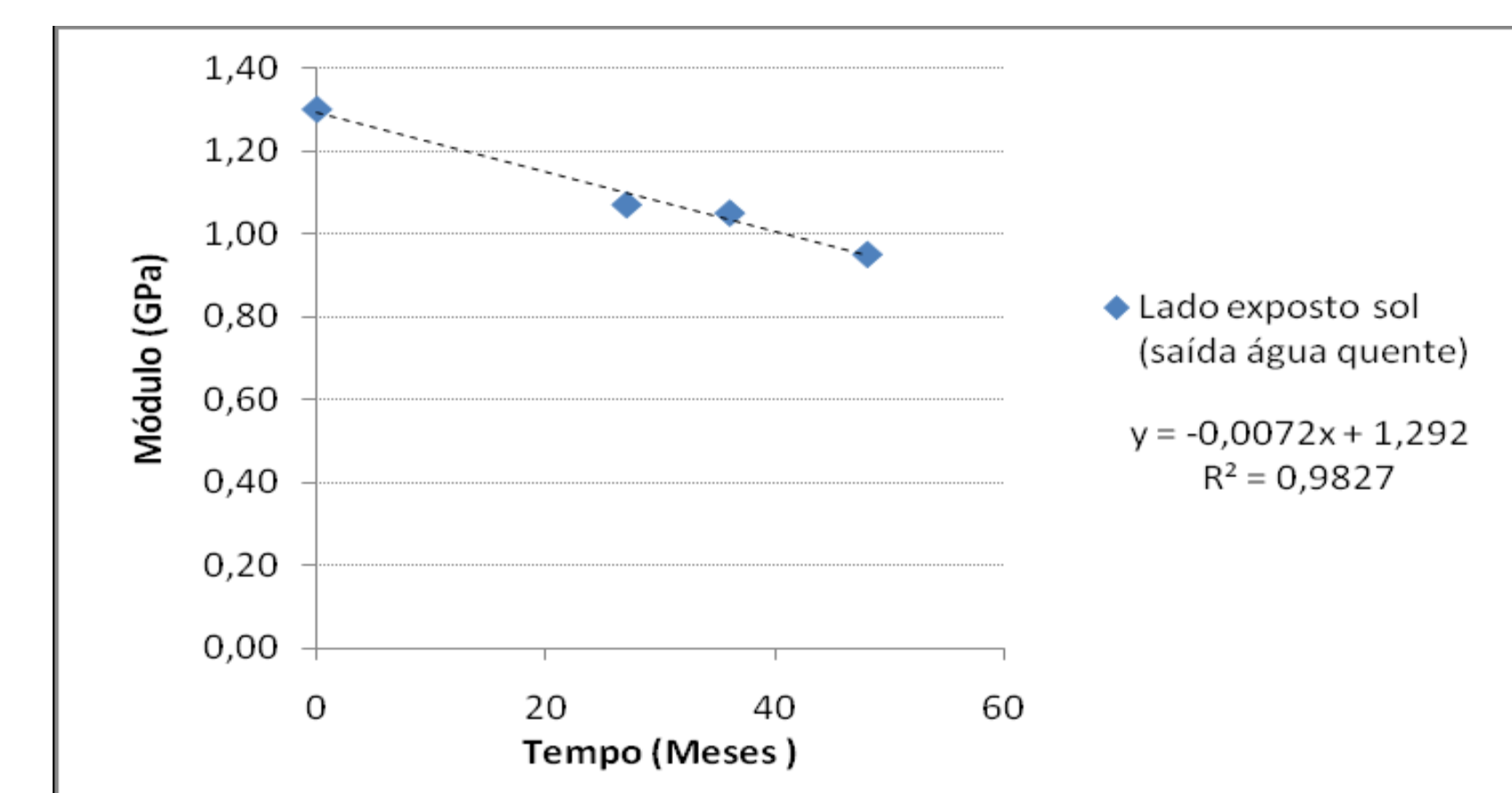


Figura 9. Módulo de Elasticidade (GPa) em função do Tempo de Exposição do CSBC (meses).

CONCLUSÕES

Observou-se que as propriedades mecânicas do PVC das placas dos CSBC apresentaram alterações significativas nas suas propriedades mecânicas após 48 meses, bem como suas características físico-químicas, após os 27 meses de exposição.

Constata-se o início de um processo de fotodegradação do PVC na superfície exposta ao sol. A redução no módulo de elasticidade foi em média 18,7% na parte superior (preta) e 5,1% na parte inferior (branca). Ainda assim, os CSBC continuaram funcionando bem até sua remoção do local de uso, a fim de realizar estes testes. Um outro sistema CSBC permanece em operação (48 meses), sem falhas, devendo ser removido para testes após 60 meses.

AGRADECIMENTOS: Aos colegas da pós-graduação do DTP/FEQ: Brino Ruy Negri, José Parra, Tatiane Pinto, Renato C. Pereira, a Ronaldo Nascimento e Cristina Schuch (Rhodia) e ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASTM D638 - "Standart Test Method for Tensile Properties of Plastics"
- [2] SILVERSTEIN, R. M. et al. - Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley & Sons (1981).