

4.4.2 Ensaio de impacto

Foram realizados nos corpos de prova prismáticos com base no método A da norma ASTM D 256-03 (método Izod), na temperatura de 28°C, em um equipamento de impacto por pêndulo conforme Figura 22. A carga nesse ensaio dinâmico foi aplicada através de esforços por choque, com impacto provocado pela queda do pêndulo de uma altura determinada, sobre o corpo de prova em posição vertical.



FIGURA 22 – Ensaio de impacto (Máquina Zwick)

Os corpos de prova prismáticos (125mm x 12mm x 6,2mm) foram previamente preparados com a usinagem de um entalhe (Figura 23), a uma distância de 4 cm de uma das extremidades, em forma de V com uma profundidade de 2,5 mm.



FIGURA 23 – Corpo de prova com entalhe após ensaio impacto

O resultado deste ensaio mede a energia absorvida para fraturar o corpo de prova, ou seja, a energia absorvida (em J/m) em função do impacto provocado pelo pêndulo de 2,75 J, no caso do ensaio realizado. A temperatura ambiente foi de 23°C. Foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Máquina Zwick, Wnom 50J, tipo B511.300
- Entalhadeira TMI, modelo TMI-22-05 (Figura 24)
- 48 corpos de prova (tipo “prismático”), seis de cada formulação de 1 a 8



FIGURA 24 – Entalhadeira TMI

4.4.3 Ensaio de dureza

Foram realizados os ensaios em um equipamento durômetro a uma temperatura de 23°C, com base na norma ISO 2039-1 que determina a dureza do material por compressão de esfera, ou seja, consiste na impressão de uma marca feita na superfície de um corpo de prova de determinado material pela aplicação de pressão de um penetrador com ponta esférica. O método utiliza-se da carga exercida (no ensaio realizado correspondeu a 358N) e da área da impressão (em mm²) feita pela esfera (diâmetro de 5mm), como indicador da medida de dureza. A pressão, como medida da dureza, é lida diretamente na escala da máquina de ensaio (em N/mm²), após a retirada da carga total. Uma das vantagens desse método, em relação a outros é que, pelo pequeno tamanho da impressão causada, os corpos de prova podem ser testados sem dano, podendo ser, posteriormente, utilizados para outros tipos de ensaios. Por isso, os ensaios foram realizados nos mesmos corpos de prova (tipo “prismáticos”) utilizados nos ensaios de impacto. Os seguintes materiais e equipamentos foram utilizados:

- Durometro Emcotest modelo M3A000 (Figura 25)
- 48 corpos de prova (tipo “prismáticos”) sendo 6 de cada formulação de 1 a 8



FIGURA 25– Ensaio de dureza (Durometro Emcotest)

5. CARACTERIZAÇÃO E COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS

5.1 Características físicas e composição química dos compósitos

Para a definição dos aspectos físicos e químicos dos compósitos foram feitas caracterizações físicas (dimensões, massas específicas e distribuição das fibras) e adotadas as composições químicas dos seus materiais componentes.

Caracterização física

A medição da variação dimensional (Tabela 6), feita em duas amostras (cada uma com 48 corpos de prova por tipo), contendo todas as oito formulações (seis corpos de prova por cada uma), expressa valores médios das variações das dimensões dos corpos de prova em relação às dimensões das cavidades do molde, com os seguintes resultados:

a- tipo “gravatinha” com dimensões no molde de 170 mm x 100 mm x 40 mm – observou-se contração nos comprimentos, destacando-se o sisal que provocou o menor valor (metade do valor medido nos PVC’s), pequenas expansões na largura (sendo a maior no PVC reciclado), sem qualquer variação nas espessuras. A contração observada na maior dimensão é indicativa do encolhimento que ocorre nas fibras quando submetidas a elevadas temperaturas. Segundo informação do fornecedor, o nylon 6 apresenta um encolhimento de 10% quando permanece por 2 min a uma temperatura de 175°C.

b- tipo “prismático” com dimensões no molde de 125mm x 12mm x 6,2 mm – houve expansão nos comprimentos (em valores insignificantes para todos), na largura (com pequenas e idênticas variações em todos) e na espessura, com pequeno e igual valor em todos.

Pelas menores dimensões desse tipo de corpo de prova, não se constatou o efeito de encolhimento das fibras provocado por elevadas temperaturas durante o processo de produção.

Estes resultados permitem concluir que nas temperaturas a que estiveram submetidos os compósitos, a matriz (PVC) tende a expandir-se enquanto as fibras contribuem com encolhimento. Como as frações volumétricas da matriz (PVC) são superiores às das fibras verifica-se, ao final, uma expansão do compósito em relação ao volume do molde.

TABELA 6 - Variação dimensional (média dos corpos de prova em relação ao molde)

Tipo	Dimensão	Molde (mm)	PVC Original (%)	PVC Reciclado (%)	Compósito c/ nylon 6 (%)	Compósito c/ sisal (%)
Tração ("gravatinha")	Comprimento	170	- 0,34	- 0,32	- 0,29	- 0,17
	Largura	100	+ 1,50	+ 2,00	+ 1,72	+ 1,66
	Espessura	40	0	0	0	0
Impacto ("prismático")	Comprimento	125	+ 0,05	+ 0,10	+ 0,02	+ 0,16
	Largura	12	+ 1,46	+ 1,35	+ 1,56	+ 1,67
	Espessura	6,2	+ 1,6	+ 1,6	+ 1,6	+1,6
	Volume	9,3 cm ³	+ 2,94	+ 3,09	+ 3,16	+ 3,48

As massas específicas foram obtidas com uma amostra de corpos de prova do tipo "prismático" contendo todas as formulações. Foram medidas as dimensões de cada corpo de prova para cálculo do volume e feita a pesagem na balança analítica. Os resultados obtidos (Tabela 7) mostram que o nylon 6 e o sisal determinaram diferentes tendências de massa específica dos compósitos; ou seja, um maior teor de fibra com o nylon 6 diminui a massa específica, enquanto que com o sisal há um aumento. Isto significando que, em relação à massa específica do PVC, a da fibra de sisal é superior (o compósito com 20% de fibra é equivalente) e a da fibra de nylon 6 é bastante inferior, confirmando, portanto, valores informados pelos fornecedores.

TABELA 7 – Massa específica dos corpos de prova

Formulação	1	2	3	4	5	6	7	8
	PVC r	PVC	Nylon 5%	Nylon 10%	Nylon 20%	Sisal 5%	Sisal 10%	Sisal 20%
Massa específica (kg/m ³)	1.364	1.365	1.348	1.341	1.304	1.359	1.363	1.368

Por fim, vale registrar que, embora os compósitos produzidos sejam considerados como contendo fibras curtas, descontínuas e aleatoriamente orientadas, uma inspeção visual das superfícies onde ocorreu a ruptura nos ensaios de tração, permite constatar uma tendência de “alinhamento” das fibras na direção longitudinal dos corpos de prova, certamente provocada pelo fluxo da injeção no molde.

Composição química

A composição química dos corpos de prova, determinada pelos seus materiais componentes, foi baseada na literatura e nas informações dos fornecedores dos materiais. Assim, as formulações pesquisadas têm as seguintes composições:

a) PVC original – constituído de:

- resina de PVC
- dióxido de titânio
- carbonato de cálcio
- estabilizante térmico e lubrificante
- modificador acrílico

b) PVC reciclado – com composição química idêntica à do PVC original;

c) PVC reciclado + sisal – constituído de:

- PVC reciclado (b)
- Sisal (celulose, lignina e hemi-celulose)

d) PVC reciclado + nylon 6 – constituído de:

- PVC reciclado (b)
- Nylon 6
- Revestimento do fio de nylon 6 (latex, resorcinol e formaldeído)

5.2 Resultados dos Ensaios

Os ensaios de tração direta foram realizados no laboratório de Materiais da Escola Politécnica da UFBA. Os demais (impacto e dureza) foram realizados em laboratórios de empresas industriais que cooperaram com esta pesquisa, disponibilizando seus equipamentos.

A Tabela 8 apresenta todos os resultados obtidos nos ensaios mecânicos referentes às oito formulações de PVC original (PVC), PVC reciclado (PVCr) e compósitos desse último, que possibilitam as análises apresentadas a seguir: do desempenho do PVC reciclado; do grau de influência do tipo de fibra; dos teores de fibra e dos compósitos em relação ao PVC reciclado.

Todos os ensaios foram realizados conforme procedimentos descritos no capítulo anterior na determinação das propriedades mecânicas estudadas: resistência à tração, módulo de elasticidade, resistência ao impacto e dureza. Os valores obtidos em cada um dos seis corpos de prova, por formulação, encontram-se detalhados na Tabela 9 (Anexo II), e na Tabela 10 (Anexo III) são apresentados os respectivos valores de desvio padrão e coeficientes de variação.