

**TABELA 8** – Propriedades físicas e mecânicas das formulações

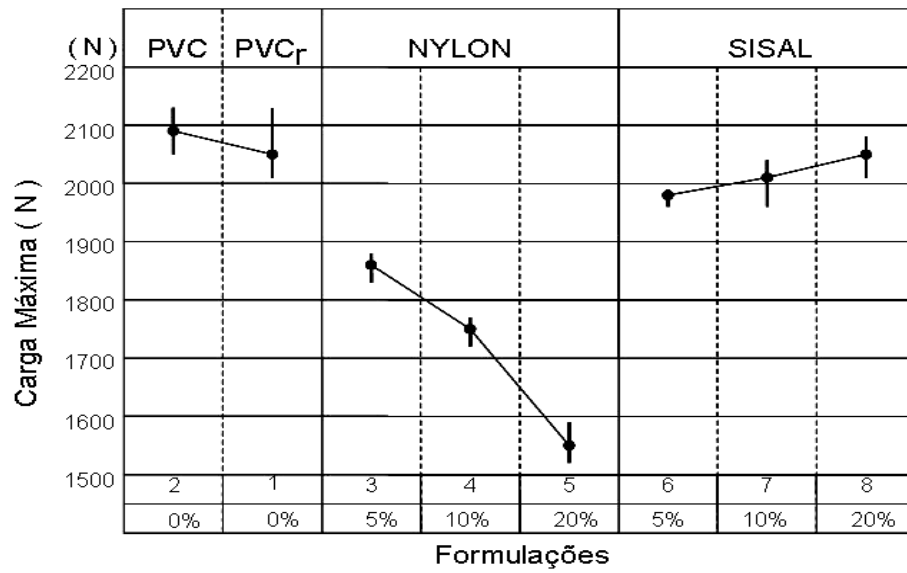
Materiais	Teor fibra (%)	Alongamento na ruptura (%)	Carga max. (Tração) (N)	Tensão na Carga máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Impacto (J/m)	Dureza (N/mm <sup>2</sup> )
PVC	0	30,07	2.098	50,07	2,92	47,78	75,98
PVCr	0	31,09	2.064	50,19	2,03	47,15	73,93
PVCr + Nylon	5	6,76	1.861	46,52	1,40	40,65	69,48
	10	5,23	1.740	43,49	1,72	43,48	58,04
	20	4,30	1.551	38,77	1,81	55,93	47,29
PVCr + Sisal	5	4,86	1.995	49,87	2,19	44,90	50,72
	10	4,23	2.015	50,36	2,39	58,58	48,23
	20	3,48	2.057	51,42	2,93	90,01	55,71

### 5.2.1 Tração

Os valores obtidos no ensaio de tração (Tabela 9 no Anexo II) para carga máxima, alongamento e módulo de elasticidade, nos seis corpos de prova por cada formulação, têm coeficientes de variação estatisticamente aceitáveis dentro de uma amostra (Tabela 10 no Anexo III). Portanto, são resultados que validam todos os corpos de prova utilizados para a análise de desempenho quanto à tração.

Os diagramas de carga x deformação dos corpos de prova por formulações encontram-se na Figura 26 (Anexo IV).

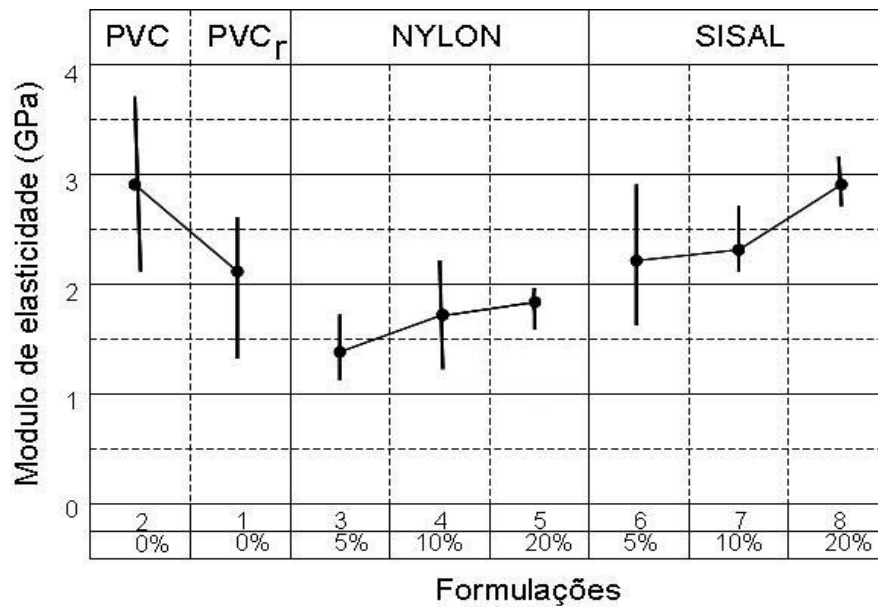
Na Figura 27 estão representados os valores máximo, mínimo e médio para as cargas máximas obtidas no ensaio de tração direta das oito formulações.



**FIGURA 27** – Valores máximos, mínimos e médios das cargas máximas nas 8 formulações

A análise comparativa dos valores das cargas máximas no ensaio de tração indica os seguintes resultados: (i) idêntico desempenho do PVC original e do PVC reciclado; (ii) dentre as fibras uma melhor influência do sisal em relação ao nylon 6; (iii) quanto ao teor de fibra verificam-se resultados opostos entre o nylon 6 e o sisal, enquanto neste, o aumento do teor da fibra determinou incremento da resistência, no nylon 6 ocorreu perda, inclusive, com maior intensidade; (iv) em relação ao PVC reciclado, apenas o compósito com 20% de sisal equipara-se ao seu valor, tendo as demais formulações de compósitos, notadamente com o nylon 6, apresentado resultados bastante inferiores.

Dos resultados obtidos no ensaio de tração, a Tabela 8 mostra além das cargas máximas, os valores médios da tensão na carga máxima, o alongamento percentual na ruptura e o módulo de elasticidade e, quanto a esse último (Figura 28), observa-se que tanto o nylon 6 quanto o sisal, com o aumento de teor, conferiram aos compósitos crescente rigidez, destacando-se o sisal com melhores resultados.

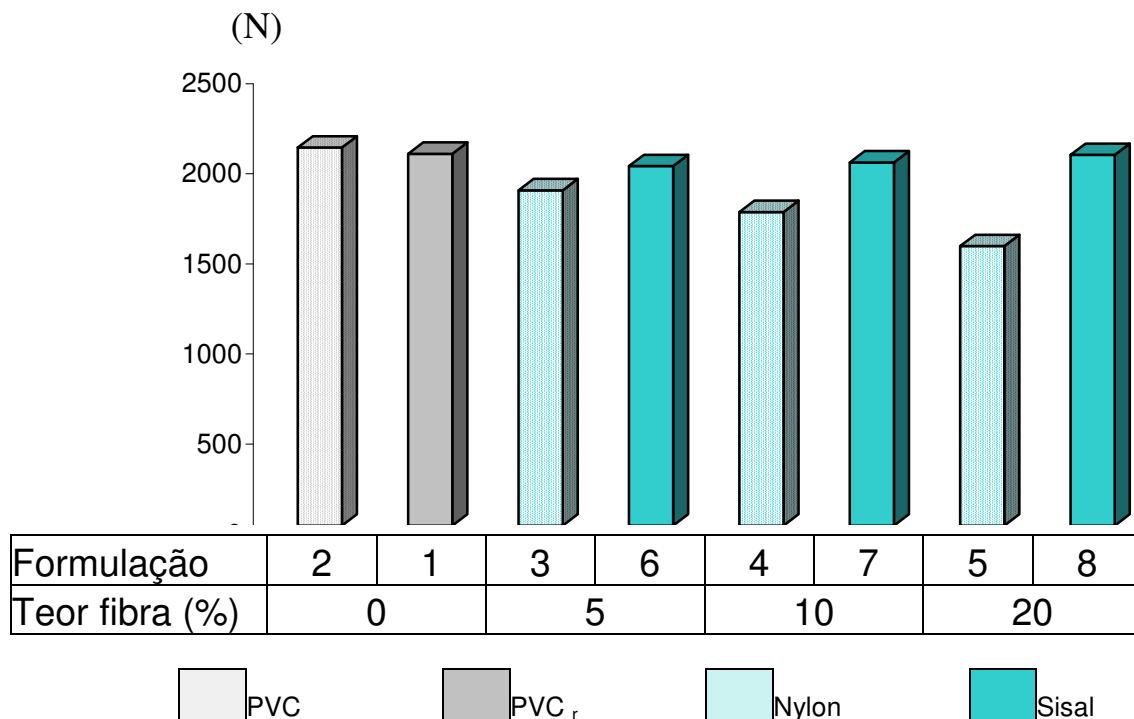


**FIGURA 28** – Módulo de elasticidade: valores máximo, médio e mínimo por formulação

Nos ensaios de tração, de um modo geral, constata-se que a fibra de sisal proporcionou melhores desempenhos nos compósitos que a fibra de nylon 6. Na análise da influência das fibras nos compósitos, para o nylon 6, alguns fatores podem ter concorrido para que a transmissão das tensões da matriz para a fase dispersa não ocorresse com maior eficiência: o tamanho das fibras, maior flexibilidade e condições de revestimento de sua superfície de contato. O nylon 6 ficou com tamanho médio, após corte manual, bastante inferior ao do sisal, resultando em um coeficiente de forma de 32,8 contra 87,5 do sisal. Combinado com o tamanho menor, e possivelmente inferior ao do seu comprimento crítico, o fato de ser mais flexível e não ter a rigidez do sisal agravou sua performance como reforço. O nylon 6, sendo resíduo industrial sob a forma de tecido, recebeu revestimento com produto químico na finalização do seu processamento. Tal revestimento, constituído por um composto contendo látex, resorcinol e formaldeído, representando 3% de seu volume, tem a função de facilitar a aderência do tecido com a borracha (na fabricação de pneus). Porém, esse tipo de revestimento na fibra pode ter, no compósito de PVC, provocado efeito contrário àquele que ocorre na interação do nylon 6 com a borracha.

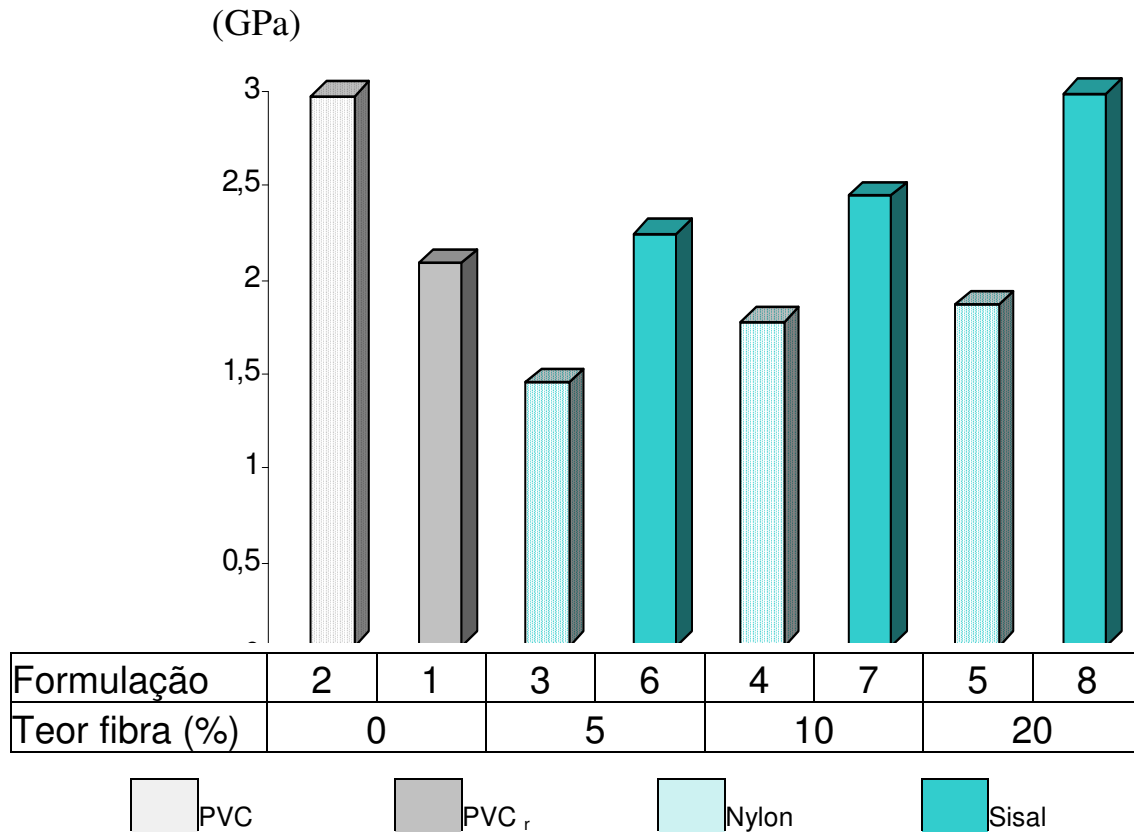
A fibra de sisal utilizada nos compósitos não sofreu nenhum tipo de tratamento que alterasse as suas características físicas naturais. Segundo Martins *et al.* (2004, p.329), em pesquisa com compósitos de sisal e PVC que investigou efeitos de diferentes sistemas de plastificação do PVC, “fibras de sisal não tratadas e usadas como reforço em matriz de PVC resultam em compósitos com melhores propriedades mecânicas”.

As Figuras 29 e 30 mostram a comparação das fibras pelos idênticos percentuais em volume nos compósitos, quanto às cargas máximas e aos módulos de elasticidade. Os resultados obtidos com o nylon 6, diminuindo a resistência da tração com o aumento de sua quantidade no compósito, assemelham-se aos de outras pesquisas realizadas com outros tipos de compósitos. Caraschi e Leão (2002) trabalhando com polipropileno reforçado com fibras vegetais, relatam situação idêntica quando a adesão matriz-fibra não é suficiente.



**FIGURA 29** – Valores médios das cargas máximas (N): comparativo dos compósitos por teor de fibras

Quanto ao sisal, o aumento de teor da fibra melhorou a resistência à tração do compósito, confirmando resultados obtidos em pesquisas similares (KOKTA *et al. apud* CARASCHI; LEÃO, 2002). As Figuras 29 e 30 também mostram que o compósito com 20% (em volume) de teor de sisal tem desempenho semelhante ao PVC original.



**FIGURA 30** – Módulo de Elasticidade (GPa): comparativo dos compósitos por teor de fibras

Os diferentes alongamentos observados (Tabela 8 e Figura 31) nas formulações, com e sem reforço, além dos valores dos módulos de elasticidade, permitem afirmar que tanto as fibras de nylon 6 quanto as de sisal atuaram nos compósitos.

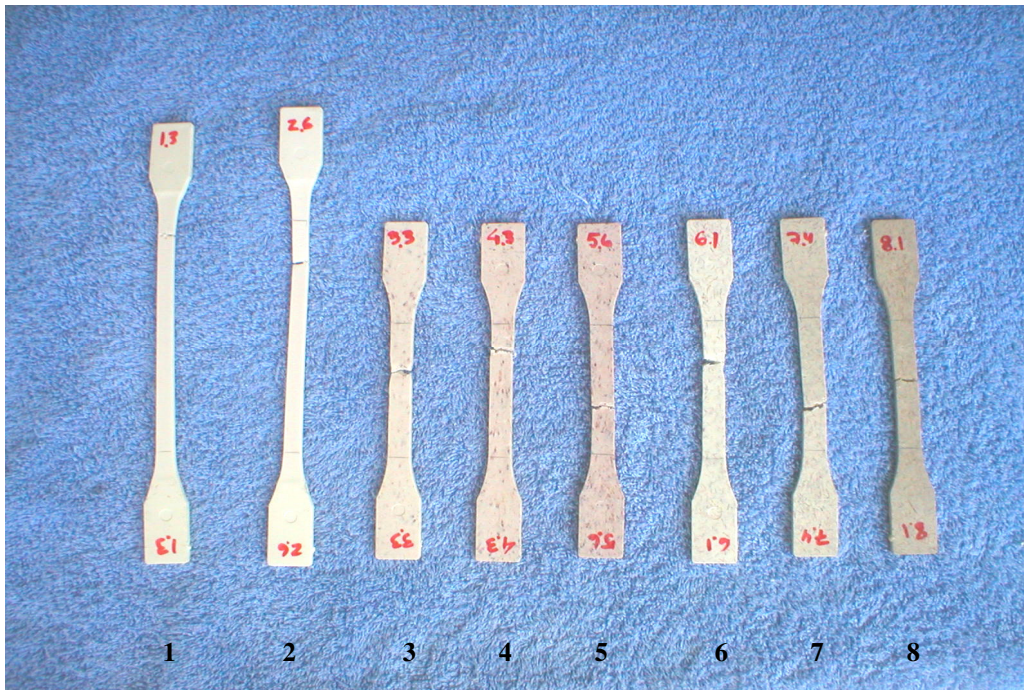
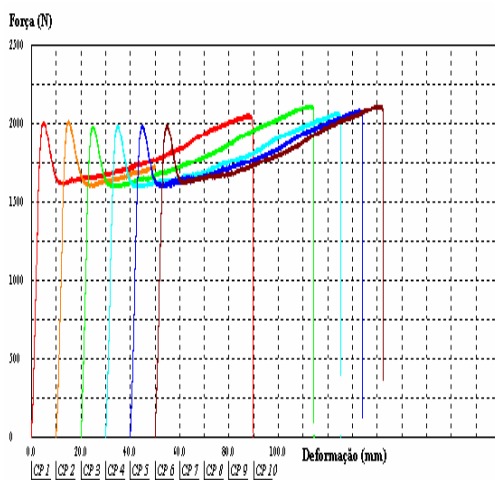


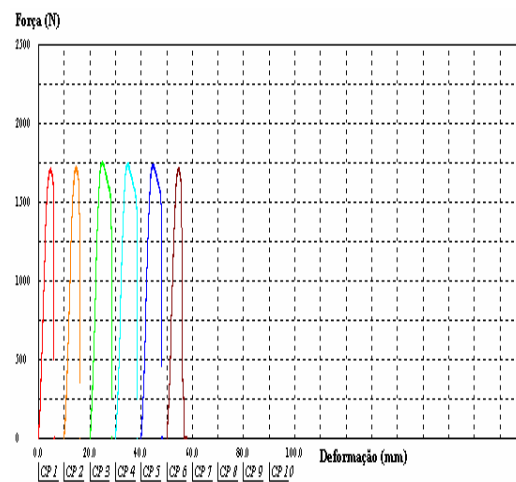
FIGURA 31 – Formulações de 1 a 8: corpos de prova rompidos no ensaio de tração

### - Modo de ruptura

Na Figura 32 encontram-se os diagramas típicos de carga x deformação das formulações de PVC, sem fibras e com fibras.



(a)

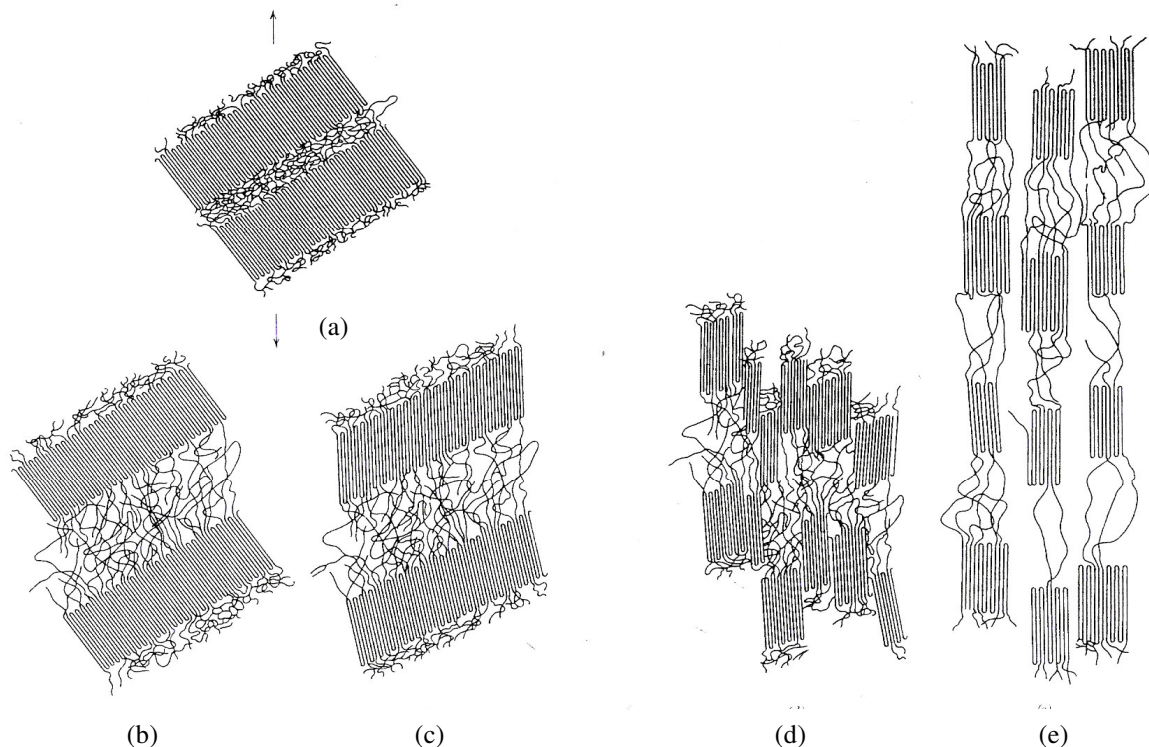


(b)

FIGURA 32 – Diagramas típicos carga x deformação do ensaio de tração: (a) PVC sem fibras; (b) PVC com fibras.

Os diagramas típicos e a diferença das deformações provocadas na ruptura dos corpos de prova (Figura 31), evidenciam os diferentes modos de ruptura que ocorreram entre as formulações, que contêm somente PVC (1 e 2) e as de compósitos (3 a 8).

A grande diferença nos alongamentos percentuais, entre formulações sem e com fibras, pode ser compreendida a partir dos estágios por que passa um polímero semicristalino quando submetido a uma força de tração (Figura 33). Na medida em que a carga atua ocorre um estiramento, na direção da carga aplicada, das suas cadeias moleculares, primeiro nas zonas amorfas e a seguir nas lamelas, até a ruptura.



**FIGURA 33** – Estágios na deformação de um polímero semicristalino. (a) Duas lamelas com cadeias dobradas adjacentes e o material amorfo interlamelar antes da deformação. (b) Alongamento das cadeias de ligação amorfas durante o primeiro estágio de deformação. (c) Inclinação das dobras da cadeia lamelar durante o segundo estágio. (d) separação de segmentos de blocos cristalinos durante o terceiro estágio. (e) Orientação dos segmentos de bloco e cadeias de ligação com o eixo de tração no estágio final da deformação.

**Fonte:** Schultz, J., (1974 *apud* Callister, 2002, p. 331).