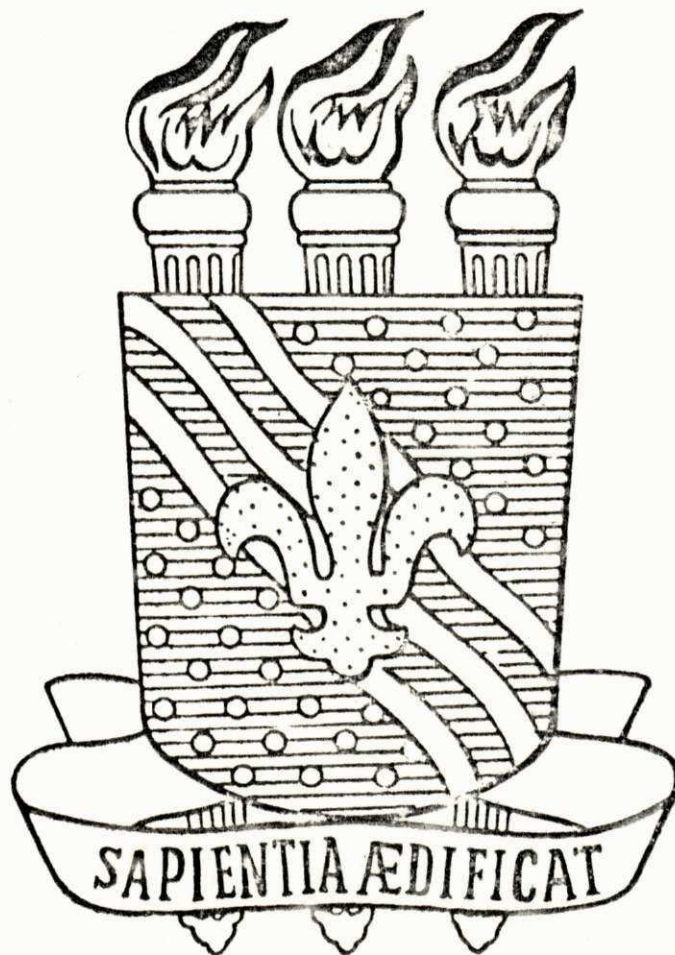


Universidade Federal da Paraíba
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA



ESTÁGIO INTEGRADO

CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

PROFESSOR ORIENTADOR : Profª Drª LAURA HECKER DE CARVALHO

ALUNO : LENILDE MÉRGLIA RIBEIRO LIMA

MATRÍCULA : 851.1148-0

AV. APRIGIO VELOSO, 882 - BODOCONGO 58.100 - CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
FONE (083)321-7222 - RAMAL 430/431 - CXP 10057

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

RELATÓRIO FINAL
ESTÁGIO INTEGRADO

TRABALHO APRESENTADO POR:

LENILDE MÉRICA RIBEIRO LIMA

MATRÍCULA : 851.1148-0

LOCAL DO ESTÁGIO : LABORATÓRIO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFPB - CAMPUS II

ORIENTADOR : Dr^a LAURA HECKER DE CARVALHO

NOME DO TRABALHO : BALANÇO DE PROPRIEDADES EM COMPÓSITOS
DE POLI(OLEFINAS) / ATAPULGITA

CAMPINA GRANDE, JANEIRO DE 1991



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

ESTÁGIO INTEGRADO - JULGADO EM 30 / 01 / 191

NOTA: 9,5 (nove vírgula cinco)

EXAMINADORES

[Signature]

Pro Bandeira.

Laura de Almeida Cavallio


CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

JANEIRO DE 1991

DECLARAÇÃO

Declaro, para os devidos fins, que a aluna LENILDE MÉRGIA RIBEIRO LIMA, de inscrição 851.1148-0, cumpriu estágio no Laboratório de Engenharia de Materiais, no Campus II da Universidade Federal da Paraíba, durante o período de 05 de Fevereiro de 1990 a 25 de Janeiro de 1991, totalizando uma carga horária de 720 horas.

Campina Grande, 25 de Janeiro de 1991.



Dr^a LAURA HECKER DE CARVALHO

(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a meus pais e à minha irmã, por estarem sempre presentes nos momentos mais difíceis.

À Profª Drª LAURA HECKER DE CARVALHO, pela oportunidade que me foi dada e, sobretudo, pelo apoio e orientação, fatores estes indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

À Profª Drª ÉLIDA EDUARDA FAMÁ, coordenadora de estágio e à Profª MSC MARIA DO SOCORRO DE LACERDA, vice-coordenadora de estágio, sempre disposta a ajudar com suas palavras de otimismo.

Ao Prof. MSC MARCELO SILVEIRA RABELLO, pela colaboração e co-orientação.

Aos colegas e amigos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi analisar a influência da atapulgita — uma argila de natureza fibrosa —, como carga reforçante ao polietileno de alta densidade (PEAD), que é um polímero termoplástico linear.

Estudou-se a influência de diferentes temperaturas e tempos de processamento sobre as propriedades mecânicas do compósito de PEAD/atapulgita a diferentes composições (0, 10, 20, 30 e 40% de teor de carga).

Os resultados obtidos indicam que a atapulgita pode ser classificada como carga reforçante ao PEAD; visto que as propriedades mecânicas do compósito (resistência tênsil, dureza e módulo de elasticidade) sofreram um aumento com a adição da carga.

ABSTRACT

The objective of the present work was to analyse the influence of atapulgite — a fibrous clay —, as a reinforcing filler for high density polyethylene (HDPE), which is a linear thermoplastic polymer.

The influence of varying processing temperatures and times on the mechanical properties of the HDPE/atapulgite composites as a function of composition (0, 10, 20, 30 and 40% w/w filler content) were investigated.

The results obtained show that atapulgite may be classified as a reinforcing filler to HDPE since the composite's mechanical properties (tensile strength, hardness and elastic modulus) increased with filler content.

ÍNDICE :

1. INTRODUÇÃO	1
2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	4
2.1. PROPRIEDADES	6
2.2. COMPÓSITOS	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. MATERIAIS	13
3.2. MÉTODOS	13
3.2.1. MOLDAGEM	14
3.2.2. ENSAIOS.....	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	17
5. CONCLUSÕES	26
6. BIBLIOGRAFIA	27
7. APÊNDICE.....	29
TABELA 1	30
TABELA 2	31
TABELA 3	32
TABELA 4	33
TABELA 5	34
TABELA 6	35

1. INTRODUÇÃO

Desde o início deste século que materiais plásticos reforçados com outros materiais, que geralmente possuem natureza fibrosa, vêm sendo utilizados. Como exemplo, pode-se citar a FÓRMICA, que consiste basicamente de papel kraft impregnado por resina fenólica. (BLASS, 1988).

Um compósito é definido como uma combinação de dois ou mais materiais, cada qual permanecendo com suas características individuais, em uma estrutura bifásica: a fase contínua, ou matriz, e a fase dispersa, em forma de cilindros, esferas ou plaquetas, embebida na matriz. Se a fase dispersante é um polímero, tem-se os compósitos poliméricos.

Se a carga adicionada ao polímero provoca um aumento na resistência do material em relação à resistência da matriz pura, ou seja, se a carga possuir a função de reforço, o material resultante é conhecido como plástico reforçado e, se o material resultante possuir boa relação resistência/peso, resistência térmica e química, o mesmo é conhecido como compósito avançado (RABELLO, 1990).

Apesar das fibras possuírem boa resistência, elas não podem ser utilizadas isoladamente, pois precisam de um meio para segurá-las. Por isso, as fibras são embebidas em uma matriz contínua e rígida, para que a forma possa ser mantida, para prevenir distorções e colapso das fibras e para

permitir uma maior distribuição de tensões de fibra para fibra. Portanto, a matriz é responsável pela resistência ao impacto e pela resistência aos agentes químicos, resistência ao fissuramento sob tensões ambientais, facilidade de usinagem e estabilidade dimensional. Por outro lado, as cargas são responsáveis pela melhoria das propriedades físicas, baixa absorção de umidade, boa molhabilidade e baixo custo, entre outras. No entanto, as cargas podem exercer um efeito negativo sobre o compósito pois, como elas aumentam a viscosidade do material fundido, haverá dificuldade no processamento do material, além de um decréscimo na resistência ao impacto (RABELLO, 1990).

Um fator importantíssimo para que a carga atue positivamente no compósito é a boa adesão entre a carga e o polímero, pois, assim, haverá uma maior transferência de tensões da matriz polimérica para a carga, fazendo com que ocorra um aumento na resistência mecânica do material.

Quando não existe boa adesão entre as fases, esta pode ser melhorada através da utilização de agentes de acoplamento do tipo silano, o qual funcionará como ponte de ligação entre a carga e a matriz polimérica (RABELLO, 1990).

O objetivo deste trabalho é estudar a utilização da atapulgita como carga em compósitos, cuja matriz polimérica é polietileno de alta densidade (PEAD). A análise da eficiência da atapulgita como carga reforçante foi feita levando-se em consideração a melhoria das propriedades mecânicas do material, com a adição da carga. Os resultados obtidos através

dos ensaios realizados com os corpos de prova do compósito de PEAD/atapulgita foram comparados com os resultados obtidos para o polímero puro.

2. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Um polímero é uma grande molécula formada pela repetição de pequenas unidades químicas simples, denominadas MEROS. Em alguns casos, a repetição é linear; em outros casos, as cadeias são ramificadas ou interconectadas, formando retículos tridimensionais. O material que inicia a formação do polímero é o MONÔMERO e a unidade repetitiva é usualmente equivalente ou quase equivalente a ele (BILLMEYER, 1978).

Os processos de polimerização foram divididos por Flory e Carothers em dois grupos conhecidos como polimerização de condensação e de adição, ou ainda, polimerização de reação por etapas e de reação em cadeia. A polimerização de condensação ou de reação por etapas é análoga à condensação nos compostos de baixo peso molecular. A condensação ocorre entre duas moléculas polifuncionais que produzem uma molécula polifuncional maior, com a possível eliminação de uma molécula pequena como a água. A polimerização de adição implica em reações em cadeia, nas quais o portador da cadeia pode ser um íon ou uma substância com um elétron desemparelhado chamado radical livre. Este radical é formado pela decomposição de um material relativamente instável chamado iniciante (BILLMEYER, 1978).

De acordo com seu comportamento à moldagem, os polímeros podem ser classificados em: termoplásticos e termoestáveis. Uma característica dos termoplásticos é a de que, ao completar-se a reação de polimerização, os mesmos são formados por moléculas constituídas de cadeias predominantemente lineares, eventualmente apresentando ramificações, mas sujeitas apenas a interações secundárias entre moléculas adjacentes. Quando um termoplástico é aquecido até uma temperatura abaixo de sua temperatura de degradação, estas interações são ainda mais enfraquecidas, tornando possível a movimentação das moléculas e, portanto, a deformação do polímero. O resfriamento restabelece as forças de ligação intermoleculares. Um novo aquecimento plastifica novamente o material, permitindo, outra vez, a deformação e a moldagem. Os termoestáveis apresentam um comportamento absolutamente diferente dos termoplásticos, com relação ao aquecimento. A polimerização dos termoestáveis se completa quando as moléculas do polímero reagem entre si ou com um agente de cura, estabelecendo ligações cruzadas que produzem moléculas tridimensionais, que são altamente estáveis. A reação ocorrida é conhecida como CURA e é característica dos materiais termoestáveis. Uma vez ocorrida a cura, o material endurece e não pode mais ser remoldado (BLASS, 1988).

Os polímeros podem possuir estrutura amorfa, cristalina ou cristalina e orientada. Acima da temperatura de amolecimento, todas as resinas apresentam estrutura amorfa, com suas moléculas enoveladas de forma caótica. Contudo, com o

resfriamento, alguns polímeros tendem a se dispor em regiões cristalinas (CRISTALITOS) aleatoriamente ordenadas, separadas por regiões amorfas. Os cristalitos tendem a melhorar a resistência do material e, se forem orientados, a melhoria será mais acentuada (BLASS, 1988).

Contudo, nenhum polímero chega a ser completamente cristalino. Por isso, é definido o grau de cristalinidade, que representa o volume (em percentual) do material que se apresenta sob a forma cristalina (BLASS, 1988).

Quando a cristalização é nucleada numa resina rapidamente resfriada, desenvolvem-se regiões esféricas contendo material cristalino (ESFERULITOS), que crescem radialmente em direção à região amorfa adjacente, alcançando dimensões, que podem ser da ordem de vários micrômetros de diâmetro. Um controle do teor de esferulitos permite um controle das propriedades mecânicas e óticas do material, já que as regiões cristalinas são mais densas e apresentam maior rigidez e resistência mecânica e térmica, enquanto que as regiões amorfas conferem elasticidade, maciez e, eventualmente, transparência (BLASS, 1988).

2.1. PROPRIEDADES

As propriedades dos polímeros são influenciadas, principalmente, pelos seguintes fatores:

- a) forças de ligação intermoleculares;
- b) forças de ligação intramoleculares;
- c) peso molecular;
- d) grau de cristalinidade;
- e) presença de aditivos;
- f) temperatura.

A energia de ligação intramolecular é dada pela força de energia covalente entre os átomos, enquanto que a energia de interação intermolecular depende da afinidade entre os grupos de cadeias adjacentes, dada pela densidade de energia coesiva. Grupos polares aumentam a força de ligação intermolecular e grupos aromáticos na cadeia principal originam fortes interações intramoleculares.

Alto peso molecular é a principal característica dos polímeros. Um fator muito importante, também, é a distribuição do peso molecular, que irá afetar as propriedades dos polímeros. A dependência do peso molecular é menor para polímeros cristalinos do que para amorfos, pois os cristalitos ajudam a manter as moléculas presas umas às outras, enquanto que nos amorfos, é preciso alto peso molecular para formar os emaranhados que agem como reticulações físicas. A resistência mecânica é menor para distribuições de peso molecular mais largas, porque as pequenas cadeias diminuem a resistência, devido à alta concentração de extremidades de cadeias.

A determinação do grau de cristalinidade de polímeros é importante, pois suas propriedades são estreitamente dependentes deste fator. Com o aumento da cristalinidade, aumenta-se a rigidez, resistência tênsil, dureza, inércia química e fratura frágil.

A presença de aditivos altera algumas propriedades dos polímeros, e é por esta razão que são adicionados, ou seja, para suprir algumas propriedades deficientes dos polímeros.

O movimento térmico afeta a cristalização de duas maneiras. Por um lado, aumenta o movimento dos átomos favorecendo a cristalização, mas, por outro lado, pode destruir cristalitos já formados. Portanto, para cristalizar um polímero, é preciso resfriá-lo a uma temperatura em que as cadeias sejam flexíveis. Quando se resfria um polímero bruscamente até abaixo da temperatura de transição vítrea (T_g)¹, a mobilidade molecular é reduzida e, conseqüentemente, a cristalização é impedida. Portanto, existe uma faixa de temperatura que fornece a flexibilidade ótima (RABELLO, 1989).

2.2. COMPÓSITOS

Um compósito pode ser definido como um material que é constituído de uma combinação física de dois ou mais materiais para produzir um sistema multifásico com propriedades diferentes das dos seus constituintes. Um compósito polimérico possui como fase dispersante, a matriz polimérica e como fase dispersa, a carga ou reforço (RICHARDSON, 1977).

Os principais fatores que influenciam as propriedades dos compósitos são:

- a) propriedades dos componentes individuais e composição;
- b) razão de aspecto e porosidade da carga;

1. T_g - Temperatura na qual cessará o movimento segmental e, a partir daí, ocorrerá apenas movimento de átomos isolados.

- c) grau de interação entre as fases — características da interface/mesofase;
- d) grau de homogeneização.

Cargas não reforçantes aumentam o módulo de elasticidade, temperatura de amolecimento, viscosidade, dureza e temperatura de transição vítrea, enquanto diminuem resistência mecânica, à abrasão e coeficiente de expansão térmica. Enquanto que, cargas reforçantes apresentam, além das melhorias que as cargas não reforçantes provocam, maior resistência tênsil e, às vezes, melhoria na resistência ao impacto.

A área de contato entre o polímero e a carga, denominada interface, é de suma importância para as propriedades mecânicas do compósito, pois através dela há a transferência de tensões da matriz para a carga, acarretando aumento na resistência tênsil do material. Logo, é necessário que se tenha boa adesão entre as fases, para que se obtenha boas propriedades mecânicas. A mesofase é uma fase polimérica, que possui conformações diferentes do polímero base, situada entre as partículas de carga e a matriz. Na mesofase, existem imperfeições que podem iniciar falhas. Como a adesão é um fator de primordial importância, pode-se melhorá-la através do uso de agentes de acoplamento na superfície da carga, que funcionam como uma ligação cruzada entre a carga e a matriz polimérica.

A razão de aspecto é a relação entre a maior e a menor dimensão das partículas. O reforço é mais efi

caz quando a razão de aspecto é elevada, pois a transferência de tensões é mais eficiente.

Cargas porosas efetuam uma adsorção mais eficiente e há uma maior difusão das macromoléculas na estrutura da carga. Sendo assim, há uma melhoria na resistência do compósito.

Boas propriedades mecânicas são decorrentes da boa dispersão das partículas de carga na matriz. Se há má dispersão, a tendência é que as partículas de carga se aglomerem e, com isso, sejam gerados pontos concentradores de tensões, que reduzem a resistência mecânica do material (RABELLO, 1990).

Um dos polímeros que tem maior campo de aplicação é o polietileno. O polietileno pode ser obtido sob três formas: polietileno de alta densidade, polietileno de média densidade e polietileno de baixa densidade. O polietileno de alta densidade é linear e pode ser obtido através de reações via radical livre ou através da utilização de um catalisador óxido-metálico suportado. O PEAD é altamente cristalino e possui uma densidade entre 0,95 e 0,97 (BILLMEYER, 1978).

As principais propriedades do PEAD são:

- a) maior rigidez, se comparado com o polietileno de baixa densidade (PEBD);
- b) ponto de fusão mais elevado do que o do PEBD;
- c) maior resistência à tração;
- d) dureza mais elevada do que a do PEBD;
- e) boa resistência química, entre outras.

Dentre as principais aplicações do PEAD, destacam-se:

- a) produção de recipientes plásticos;
- b) produção de lâminas e películas;
- c) isolamento de cabos e condutores;
- d) fabricação de tubos.

O polietileno também tem sido utilizado ultimamente sob a forma de compósito, associado a cargas geralmente fibrosas, para uma melhoria de suas propriedades mecânicas e uma possível redução de custos de produção.

Neste trabalho, foi utilizada como carga, em reforço ao PEAD, a atapulgita, que é um argilomineral fibroso, encontrado na TERRA FULER de Quincy, Flórida, Atapulgus, Georgia, nos EUA e Montmorillon, na França. A atapulgita utilizada para o desenvolvimento deste trabalho é da região, fornecida pela empresa União Brasileira de Mineração, situada no município de Campina Grande - Pb. A atapulgita é um silicato de magnésio hidratado, onde o magnésio em grande parte é substituído por alumínio; estruturalmente, apresenta cadeias de óxido de silício em disposição similar à dos anfibólios (ALMEIDA, 1986), (FRÓES DE ABREU, 1973).

A fórmula mais aproximada de cada célula unitária cristalina é: $R_5Si_8O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$, onde "R" é o cátion Mg^{2+} , que pode ser parcialmente substituído por

Al^{3+} , Fe^{2+} e Fe^{3+} . As principais propriedades da atapulgita são:

- a) alta superfície específica;
- b) alta sorção;
- c) poder descorante;
- d) manutenção das propriedades tixotrópicas na presença de eletrólitos.

Devido a estas propriedades, a atapulgita possui diferentes usos industriais, dentre eles:

- a) descorante de óleos vegetais, animais e minerais;
- b) refino e processamento químico de derivados de petróleo;
- c) agente condicionante de fertilizantes e resinas;
- d) indústrias de: tintas, farmacêutica, adesivos e colas, defensivos agrícolas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Neste trabalho, foram utilizados os seguintes materiais:

- a) a argila Atapulgita, utilizada como carga. A argila foi fornecida pela empresa UBM (União Brasileira de Mineração), situada no município de Campina Grande, Paraíba, e era proveniente de Nova Guadalupe, Piauí;
- b) o polietileno de alta densidade, que funcionou como o meio dispersante (matriz polimérica). O PEAD foi fornecido pela empresa POLIALDEN, de Camaçari, Bahia, com o código ET010, apresentando um índice de fluidez de 1g/10 min.

3.2. MÉTODOS

A atapulgita utilizada foi, a princípio, classificada em peneira USS nº 80 (abertura de 0,18 mm) e colocada em estufa para secar por, no mínimo, 72 horas a 110°C.

O polímero a ser utilizado foi moído em moinho de facas e, então, a carga foi adicionada. A mistura passou por um tamboreamento de 45 minutos, com o objetivo de se obter uma maior homogeneidade da mesma.

A seguir, a mistura polímero+carga passou por um moinho de rolos, onde foi feita a mistura a quente. Foram utilizadas três temperaturas para cada composição, levando-se em consideração que utilizou-se cinco composições diferen-

tes (10%, 20%, 30%, 40% e, ainda, 0% de atapulgita, ou seja, o polímero puro). As temperaturas utilizadas foram: 160°C, 180°C e 200°C. Nesta etapa do método, variou-se também o tempo de mistura para cada composição e temperatura. Foram utilizados quatro tempos de mistura: 3, 6, 10 e 15 minutos.

Dando prosseguimento ao método, foram feitas placas de cerca de 0,2 mm de espessura com a mistura, após a mesma ter sido submetida ao moinho de rolos. Estas placas foram obtidas em prensa hidráulica, aquecida a 150°C. A carga aplicada foi de 6 toneladas, durante 4 minutos. Após a prensagem, as placas foram submetidas ao moinho de facas até alcançarem a dimensão de cerca de 3mm. A seguir, prosseguiu-se com a moldagem dos corpos de prova.

3.2.1. MOLDAGEM

A moldagem foi feita através do método de compressão, com prensa hidráulica aquecida a 150°C. O material triturado, retirado do moinho de facas, foi colocado sobre o molde vazado, de forma tal que pudesse preencher as cavidades do molde, que já tinham o formato do corpo de prova. Os moldes eram isolados por placas finas de alumínio, recobertas com um desmoldante à base de silicone.

Deixou-se o molde sofrer um pré-aquecimento de 5 minutos, a 150°C e, após este período de tempo, fez-se a compressão durante 5 minutos, aplicando uma pressão de 12 toneladas. A seguir, o molde foi retirado e resfriado ao ar, até alcançar a temperatura ambiente.

3.2.2. ENSAIOS

Foram realizados os seguintes ensaios:

- a) Ensaio de tração;
- b) Ensaio de dureza;
- c) Ensaio de flexibilidade.

a) ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração foi realizado em máquina Kratos, modelo K-500, com célula de carga de 200 kg. Foram utilizados corpos de prova padronizados (em forma de gravata).

A temperatura de realização do ensaio foi de $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Utilizou-se uma taxa de deformação de 50mm/minuto. Este ensaio foi utilizado para que se fizesse a avaliação da resistência à tração dos compósitos de PEAD/atapulgita. Os resultados apresentados nas tabelas do apêndice foram obtidos através da média aritmética de, no mínimo, cinco valores aproximados.

b) ENSAIO DE DUREZA

O ensaio de dureza realizou-se utilizando um durômetro Shore Wulstest MP-20 (escala D). A leitura no durômetro foi feita após um tempo de aplicação da carga de 4 segundos, utilizando corpos de prova em forma de gravata. O valor final da dureza foi obtido através da média aritmética de cinco determinações com valores aproximados. Os valores da dureza estão representados nas tabelas no apêndice.

c) ENSAIO DE FLEXIBILIDADE

O ensaio de flexibilidade foi realizado utilizando-se um equipamento adaptado no próprio laboratório de Materiais. O ensaio seguiu a descrição feita por Fawlkner, sendo realizado sobre três pontos, sob carga de 313,8g e tempo de 5 segundos, à temperatura ambiente.

Com este ensaio, foi avaliado o módulo de elasticidade dos compósitos de PEAD/atapulgita, através da seguinte equação:

$$E = \frac{F L^3}{4DC^3 \Delta Y}$$

Onde:

F = força aplicada (em kgf)

C = largura do corpo de prova

D = espessura do corpo de prova

L = largura média do suporte onde é colocada a amostra

ΔY = deflexão vertical

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade (E) do compósito de PEAD/ata-pulgita estão representados na figura 1:

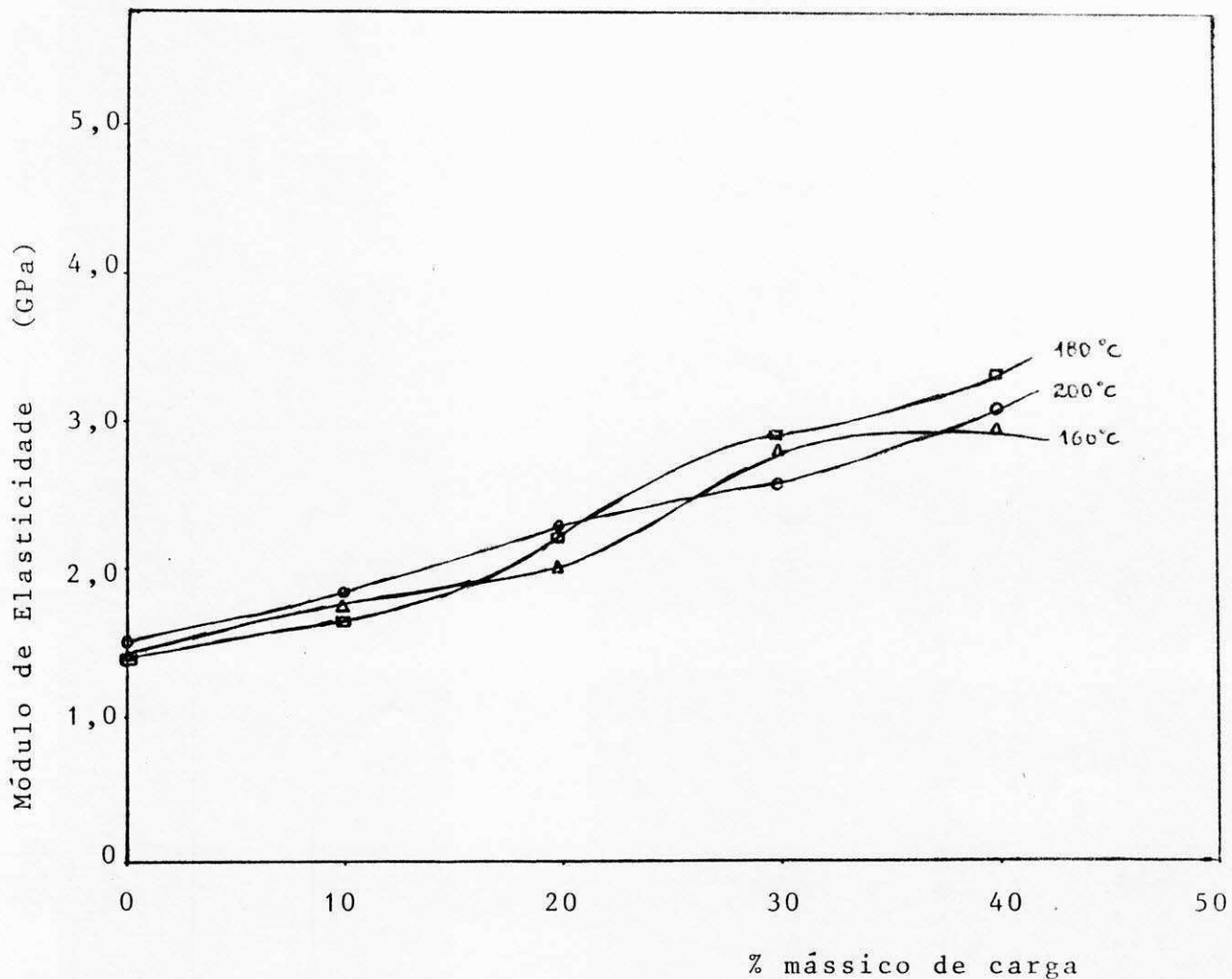


Figura 1 - Módulo de elasticidade de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, a diversas temperaturas, com tempo de mistura de 10 minutos.

A figura 1 representa a curva do módulo de elasticidade versus a composição da carga no compósito. Analisando a figura, observa-se que o polietileno de alta densidade teve seu módulo de elasticidade aumentado com a incorporação da atapulgita, nas várias temperaturas de processamento a que foi submetida a mistura. O aumento do módulo de elasticidade com a adição da carga pode ser explicado pelo fato de que a atapulgita é uma carga inorgânica rígida e, por isso, quando adicionada ao PEAD confere maior resistência à deformação ao compósito, aumentando assim, o módulo de elasticidade do material.

Não se pode afirmar como a temperatura afeta o valor do módulo de elasticidade destes compósitos, pois, como pode ser observado na figura 1, o valor do módulo de elasticidade não apresentou uma dependência definida com relação à temperatura de processamento. A avaliação desta dependência foi, também, limitada pela falta de equipamentos mais modernos e precisos, que pudessem fornecer dados exatos a respeito do material obtido e das condições de processamento do material.

Portanto, sabe-se apenas que a atapulgita provoca um ligeiro aumento no módulo de elasticidade do PEAD, e que a temperatura de processamento exerce alguma influência sobre o módulo, embora não possamos afirmar que tipo de influência.

A Figura 2 representa a dependência da resistência à tração dos compósitos de PEAD/atapulgita com relação à composição de carga presente, observada a três diferentes temperaturas:

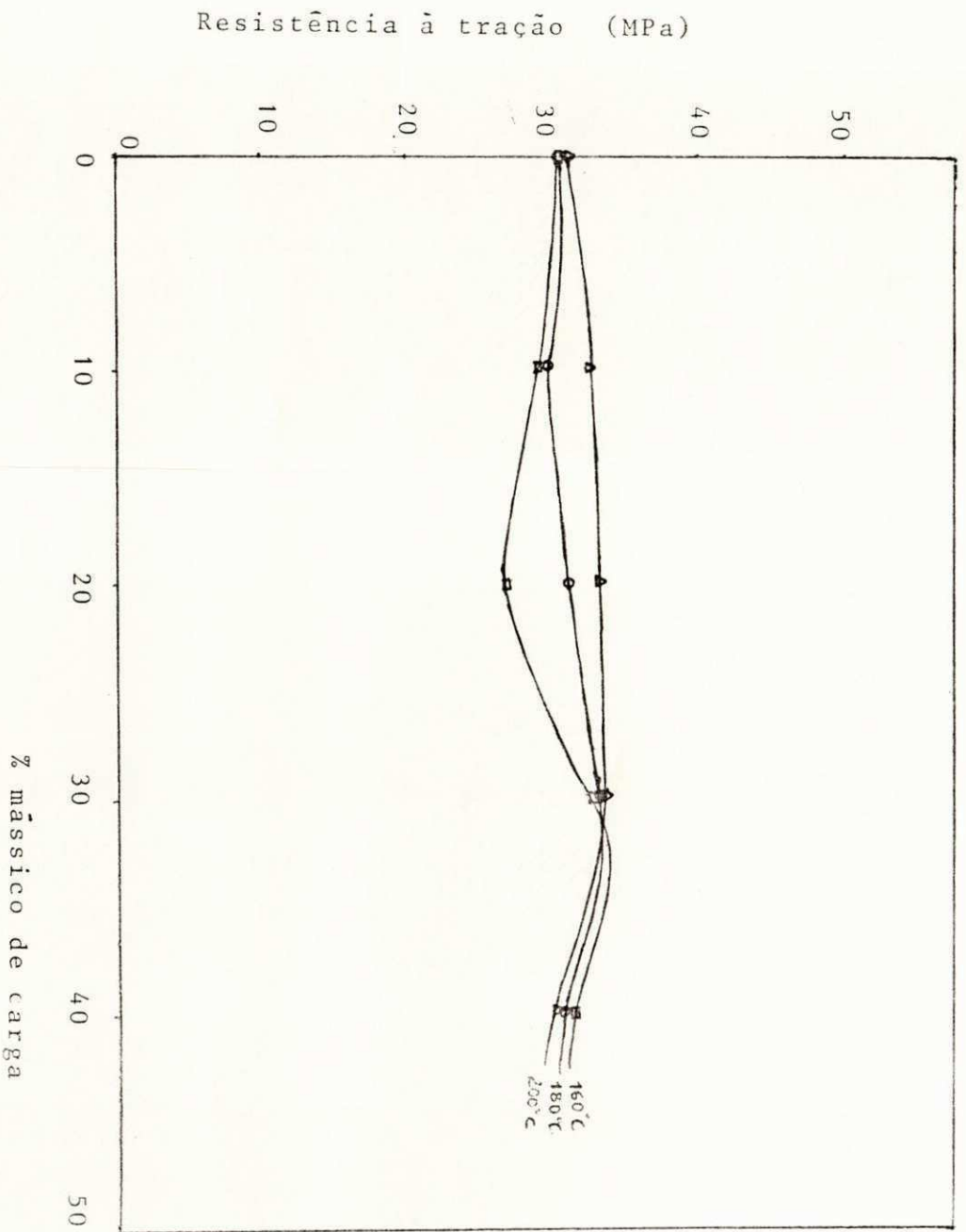


Figura 2 - Resistência tênsil de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, a diversas temperaturas, com tempo de mistura de 10 minutos.

Analisando a figura 2, observa-se que o aumento na resistência tênsil do compósito ocorreu, para as três temperaturas estudadas, no intervalo de composição entre 20% e 30%. A partir de 30%, o valor da resistência tênsil sofreu uma queda, tanto a 160°C, como a 180°C, como também a 200°C. Uma explicação para o comportamento das três curvas da figura 2 é que, até 20% de carga, a composição não era suficiente para que houvesse uma dispersão homogênea da carga na matriz e, assim, ocorresse um aumento na resistência à tração do compósito. Esta composição pode ter sido alcançada no intervalo entre 20% e 30% de carga, quando houve um leve aumento na resistência tênsil do compósito. A queda no valor da resistência ocorrida após 30% de carga, para as três temperaturas, pode ser atribuída ao fato de que, com o aumento da concentração de carga, haverá maior dificuldade de dispersão da atapulgita na matriz de PEAD, fazendo com que haja a tendência à formação de aglomerados de partículas, que são pontos concentradores de tensões, que contribuem para a fragilização do material e conseqüente queda no valor da resistência tênsil.

Observando a figura 2, percebe-se que as curvas que representam o valor da resistência, com relação à temperatura de processamento, não apresentam uma certa uniformidade, no que diz respeito à posição em que cada curva se encontra com relação às demais curvas; portanto, não se pode afirmar ao certo como a temperatura de mistura irá afetar a resistência tênsil.

Trabalhou-se, também, com misturas de PEAD/atapulgita processados à temperatura fixa de 180°C, variando-se o tempo de processamento. Os resultados obtidos para esta série de corpos de prova estão representados nas figuras 3 e 4:

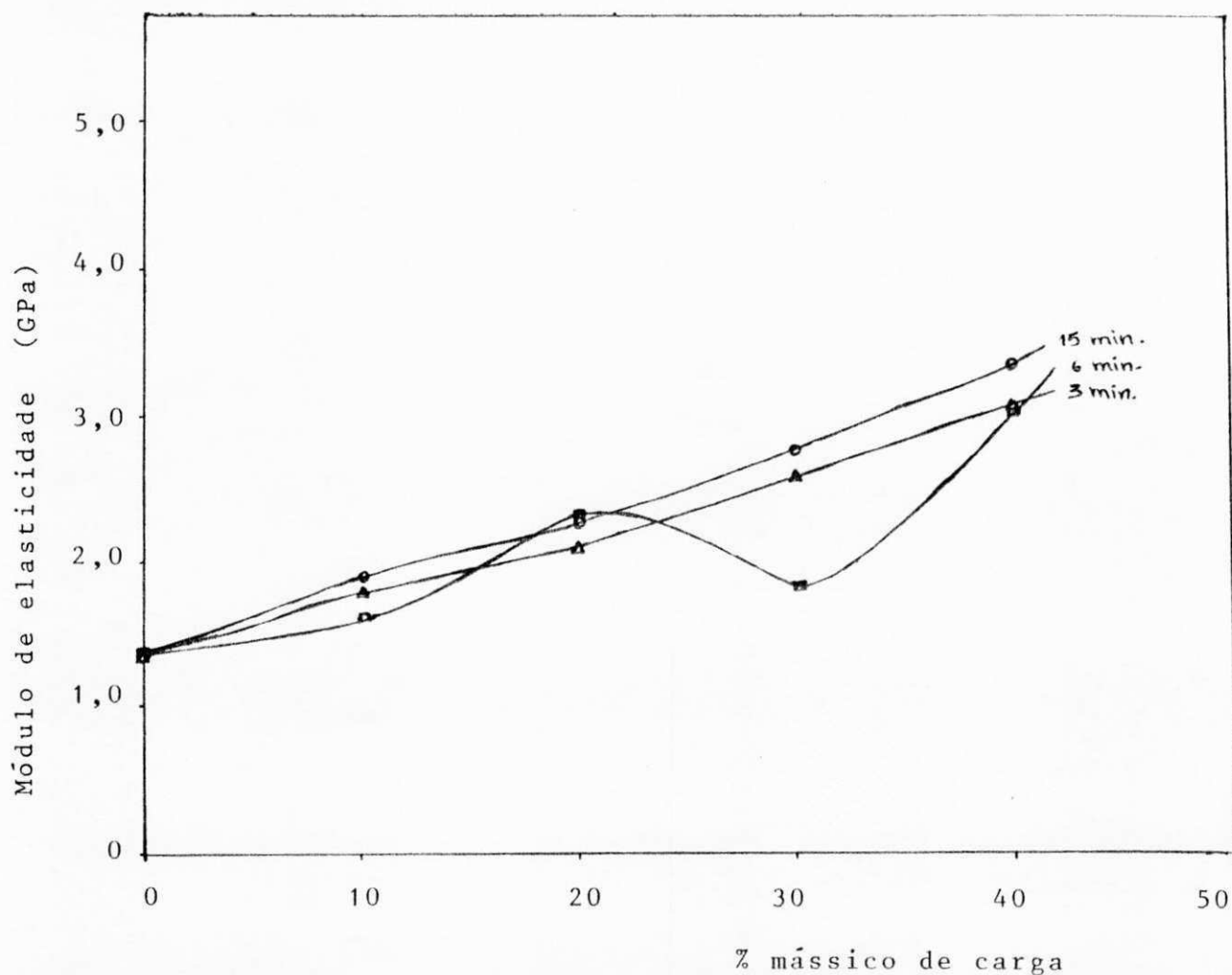


Figura 3 - Módulo de elasticidade de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, a 180°C e diferentes tempos de processamento.

Observando-se a figura 3, nota-se que o módulo de elasticidade não apresenta dependência definida no que diz respeito à variação do tempo de processamento, a uma mesma temperatura. Percebe-se que, com a adição da atapulgita, há um ligeiro aumento no valor do módulo de elasticidade. Um aumento no tempo de processamento de um compósito polimérico pode causar duas situações simultâneas e distintas: a primeira seria uma melhor homogeneização da mistura, facilitando uma melhor dispersão da carga na matriz, aumentando o módulo de elasticidade do compósito. Esta pode ter sido uma das causas para o aumento do valor do módulo em alguns intervalos das curvas da figura 3; a segunda seria a degradação do compósito, acarretada pela quebra das ligações intramoleculares do material, fazendo com que haja um decréscimo no módulo de elasticidade do compósito. Por outro lado, estas ligações podem se recompor, se o tempo de processamento for maior e, então, o valor do módulo de elasticidade poderá voltar a crescer.

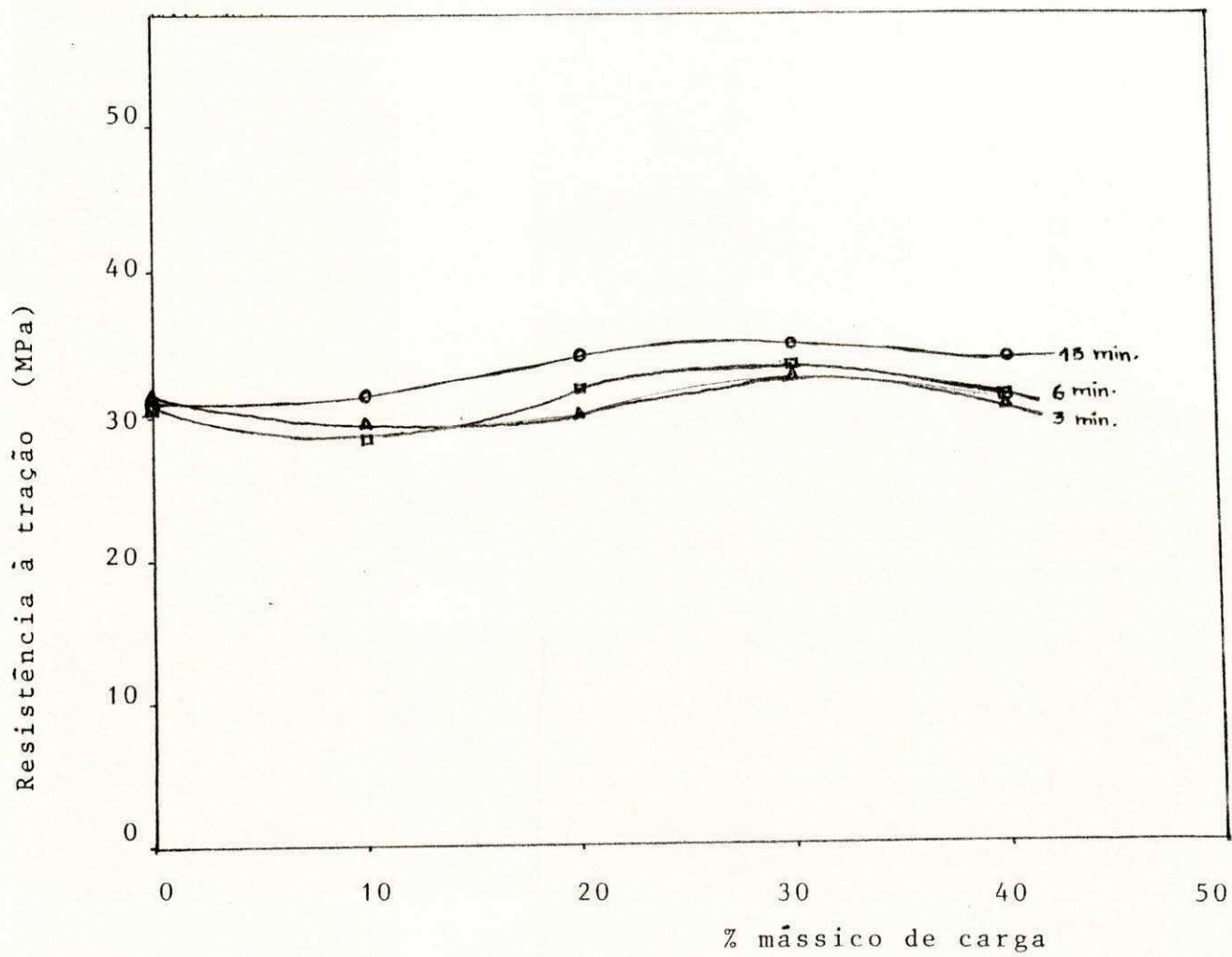


Figura 4 - Resistência tênsil de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, a 180°C e diferentes tempos de processamento.

A figura 4 representa a dependência da resistência tênsil com a composição de carga presente no compósito, a diferentes tempos de processamento. Inicialmente, percebe-se que, para os três tempos estudados, há uma pequena queda no valor da resistência. Isto pode ser explicado pela pequena concentração de carga presente que, por ser insuficiente, não se dispersou na matriz, formando aglomerados de partículas, que acarretam o decréscimo na propriedade. A partir de 10% de carga houve, então, um aumento no valor da resistência (para as três temperaturas), seguindo-se de uma queda no seu valor a partir da concentração de 30%. O aumento no valor da resistência pode ser atribuído a uma melhor dispersão da carga, tornando o material mais homogêneo e, conseqüentemente, mais resistente à tração. A queda do valor da resistência a partir de 30% de carga, pode ser atribuída a dois fatores: o primeiro, é a degradação do compósito, com a quebra das ligações, tornando o material pouco resistente; o segundo, é o aumento da concentração da carga que, como é rígida, poderá se sobrepor às propriedades do polímero que forma a matriz — que será cada vez em menor quantidade no compósito —, fazendo com que o material fique pouco resistente e, portanto, diminuindo o valor da resistência tênsil do material.

Quanto à dureza, o que se pode afirmar é que esta propriedade não demonstrou grande sensibilidade ao aumento do teor de carga no compósito. Houve um aumento com a adição da carga com relação à dureza do polímero puro, mas, a variação do teor de carga não provocou praticamente quase nenhuma mudança na dureza do compósito.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- I -A atapulgita pode ser utilizada como carga reforçante ao polietileno de alta densidade, pois, com a adição desta argila, obteve-se um aumento nas propriedades de resistência tênsil e módulo de elasticidade do material, comparando-se com o polímero puro;
- II -Um aumento no teor de atapulgita, na maioria dos casos analisados, causou um leve aumento nas propriedades estudadas;
- III-A temperatura e o tempo de processamento do compósito exercem influência sobre as suas propriedades mecânicas, embora esta influência não tenha sido bem definida, devido ao erro experimental envolvido nas medições.

6. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Salvador L. M. & LUZ, Adão B. ESTUDOS TECNOLÓGICOS PARA APROVEITAMENTO DA ATAPULGITA DE GUADALUPE - PIAUÍ Trabalho realizado no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Rio de Janeiro. 1986.
- BLASS, Arno. PROCESSAMENTO DE POLÍMEROS. Capítulos 1 e 5.2ª Edição. Editora da UFSC. Florianópolis. 1988.
- BILLMEYER, Fred W., Jr. CIENCIA DE LOS POLÍMEROS. Capítulos 1 e 13. 2ª Edição. Editorial Reverté, S. A. Espanha. 1978.
- FRÓES DE ABREU, Sylvio. RECURSOS MINERAIS DO BRASIL. Volume I. Capítulo 7. Editora Edgard Blucher. São Paulo. 1973
- RABELLO, Marcelo S. COMPORTAMENTO FÍSICO DE COMPÓSITOS POLIPROPILENO/ATAPULGITA. UM ESTUDO COMPARATIVO. Tese de Mestrado: UFPb. Campina Grande, Paraíba. 1989.
- * Apostila ADITIVAÇÃO DE POLÍMEROS. Capítulo 11. UFPb. 1990.
- * Apostila ESTRUTURA SUPERMOLECULAR DE POLÍMEROS. Capítulos 4 e 7. UFPb. 1989.

- RICHARDSON, M. O. W. POLYMER ENGINEERING COMPOSITES. Chapter
1. Applied Science Publishers Ltd. London. 1977.

7. APÊNDICE :

TABELAS DOS RESULTADOS

TABELA 1 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 160°C e tempo de processamento de 10 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNSIL (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	30,9	44,1	1,35
10	28,6	65,2	1,68
20	26,8	64,2	1,95
30	32,7	67,0	2,78
40	31,4	69,4	2,90

TABELA 2 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 180°C e tempo de processamento de 10 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNซิล (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	30,7	43,0	1,34
10	29,2	56,7	1,57
20	31,8	56,6	2,15
30	33,0	56,2	2,83
40	30,4	56,5	3,26

TABELA 3 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 200°C e tempo de processamento de 10 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNซิล (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	31,4	37,5	1,45
10	32,9	63,6	1,78
20	33,3	60,7	2,21
30	33,3	61,6	2,56
40	30,2	58,0	3,02

TABELA 4 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 180°C e tempo de processamento de 3 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNซิล (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	31,4	—	1,23
10	29,6	60,6	1,71
20	29,9	63,3	2,03
30	32,1	61,3	2,59
40	30,0	63,3	3,05

TABELA 5 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 180°C e tempo de processamento de 6 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNซิล (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	30,9	—	1,28
10	28,6	58,8	1,56
20	31,9	59,0	2,32
30	33,0	60,4	1,53
40	30,7	61,7	3,00

TABELA 6 - Propriedades de compósitos de polietileno de alta densidade com atapulgita, à temperatura de processamento de 180°C e tempo de processamento de 15 minutos.

TEOR (% mássico)	RESISTÊNCIA TÊNซิล (MPa)	DUREZA (Shore D)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (GPa)
0	31,3	—	1,23
10	31,8	59,0	1,83
20	34,1	63,3	2,23
30	34,5	65,5	2,73
40	33,9	68,6	3,38

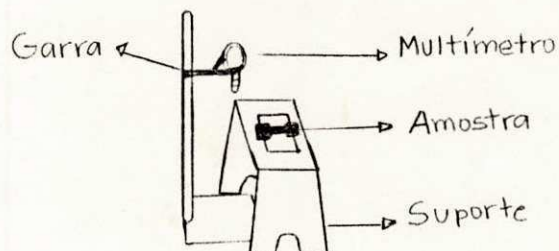
ERRATA

FOLHA 2 - Acrescentar ao parágrafo 3, linha 5: ... (módulo de elasticidade, dureza e resistência tênsil) ...

FOLHA 11 - Acrescentar ao parágrafo 3: ... No Brasil, existem registros sobre ocorrência de atapulgita nos seguintes municípios: São Paulo, Marília e Rubião Júnior, situados no estado de São Paulo, e em Ponte Alta, no estado de Minas Gerais; mas, no momento, as argilas e as respectivas jazidas do estado de São Paulo não apresentam valor comercial. Tem-se registro de que a jazida de Ponte Alta já está esgotada...

FOLHA 13 - Acrescentar ao parágrafo 1: ... Equipamentos utilizados: moinho de rolos, moinho de facas, prensa hidráulica, balança analítica e moinho de bolas...

FOLHA 16 - Acrescentar, ao final da página, a seguinte ilustração:



Representação do ensaio de flexibilidade