

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

RELATÓRIO FINAL  
ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ENGENHARIA DE MATERIAIS

TRABALHO APRESENTADO POR  
Marcelo Silveira Rabello

LOCAL DO ESTÁGIO  
Universidade Federal da Paraíba

ORIENTADOR  
Rômulo Peitosa Navarro

CAMPINA GRANDE - PB  
DEZEMBRO - 1986



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB



CAMPUS II - BLOCO III - CAIXA POSTAL, 57  
FONE (088) 321 7222 - RAMAIS: 447 e 431  
TELEX (08 ) 2211 CIDADE UNIVERSITÁRIA  
58.100 - Campina Grande - Paraíba

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que o aluno Marcelo Silveira Rabelo, matrícula 8211362-8 realizou estágio supervisionado no período compreendido entre 14 de outubro e 01 de dezembro de 1986 no laboratório de Materiais do DEQ, perfazendo um total de 107 horas e tendo um excelente resultado.

RÔMULO FEITOSA NAVARRO

professor orientador

## AGRADECIMENTOS

. Prof. Rômulo Feitosa Navarro, orientador acadêmico deste estágio.

. Prof<sup>a</sup> Laura Hecker de Carvalho, Chefe do Laboratório de Engenharia de Materiais, por facilitar acesso ao Laboratório.

. Josenildo Maciel Ribeiro, Chefe do Laboratório da CANDE ( Campina Grande Industrial S.A. ) por possibilitar a realização dos testes de impacto.

. Prof. Teóphilo Moura Maciel, por facilitar e orientar os ensaios de dureza no Laboratório de Metalografia.

. Dr. Luciano Rabello e Dr. Fernando Rabello por cederem microscópio e material fotográfico para as análises microscópicas.

E a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	02
ÍNDICE .....	03
1 - INTRODUÇÃO .....	05
2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS .....	07
2.1 - O PLÁSTICO REFORÇADO .....	07
2.2 - AGENTES DE REFORÇO .....	07
2.3 - FIBERGLAS .....	09
2.4 - INCORPORAÇÃO DE CARGAS EM FIBERGLAS .....	12
2.5 - A QUÍMICA DO POLIÉSTER .....	17
3 - MÉTODO UTILIZADO E JUSTIFICATIVAS .....	19
3.1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS CARGAS .....	20
3.2 - CONFECÇÃO DOS MOLDES .....	21
3.3 - PREPARAÇÃO DA MASSA .....	23
3.4 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA .....	26
3.5 - ACABAMENTO DOS CORPOS DE PROVA .....	28
3.6 - ENTALHE DOS CORPOS DE PROVA .....	29
3.7 - O ENSAIO DE CHOQUE .....	30
3.8 - CÁLCULO DA DENSIDADE .....	33
3.9 - O ENSAIO DE DUREZA .....	34
3.10 - ANÁLISES MICROSCÓPICAS DAS AMOSTRAS .....	35

4	-	RESULTADOS OBTIDOS .....	36
4.1	-	QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE I (QR-1) .....	36
4.2	-	QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE II (QR-2) .....	37
4.3	-	QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE III (QR-3) .....	37
5	-	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	39
5.1	-	PARTE I .....	39
5.2	-	PARTE II .....	41
5.3	-	PARTE III .....	43
5.4	-	RELAÇÃO DUREZA-IMPACTO .....	46
6	-	CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	49
7	-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
ANEXO I			
ANEXO II			
ANEXO III			
ANEXO IV			
ANEXO V			

## 1 - INTRODUÇÃO

O uso cada vez crescente de materiais conjugados em substituição aos convencionais tornou-se uma alternativa bastante viável, principalmente no que se refere a um aumento nas propriedades mecânicas dos materiais. Por definição, um material composto, ou simplesmente compósito, é aquele onde predominam duas ou mais fases de naturezas diferentes, existindo interações físicas entre elas.

O presente trabalho trata do sistema poliéster-carga-fibra, com o poliéster (insaturado) funcionando como uma matriz para o suporte dos elementos de reforço. Para encontrar um sistema ideal para estes componentes, dividimos o trabalho em três partes. Na primeira parte utilizamos diversas cargas cerâmicas e fibras como reforço ao poliéster e verificamos a que apresenta melhor resistência ao impacto, sendo mantido constantes as condições do ensaio. De posse dos resultados da parte I, trabalhamos com a carga que ofereceu melhor resistência, variando sua concentração no sistema, obtendo-se assim o teor da carga para um impacto máximo. Na terceira parte estudamos o efeito de concentração da carga em fiberglas (poliéster com fibra de vidro), obtendo-se o teor ótimo de carga em fiberglas com aumento na resistência do material. Como estudo complementar foram realizados ensaios de dureza em todas as amostras.

Nosso trabalho visa, portanto, a obtenção de sistemas poliéster-carga e fiberglas-carga ótimos para a

plicações industriais diretas em pequenas indústrias sujeitos a semelhantes processos de moldagem ( por casting e handlay-up ), dentro dos critérios comparativos estabelecidos no decorrer do presente.

A fase de moldagem foi realizada no Laboratório de Engenharia de Materiais, UFPb . O ensaio de impacto na CANDE, o de dureza no Laboratório de Metalografia, UFPb, e as análises microscópicas no Consultório Oftalmológico de Dr. Luciano Rabello.

O estágio teve a duração de 107 horas , distribuídas entre outubro e dezembro de 1986.



ser suficientemente rígida para prevenir sua forma, evitar distorções e colapso das fibras e transmitir tensão de fibra para fibra. O agente de reforço é escolhido de acordo com o uso a que se destina o produto acabado e análises de custos.

### 2.2.2 - CARGAS MINERAIS

Cargas minerais são utilizadas em conjunto com a resina para melhorar as propriedades mecânicas, que em condições adequadas de concentração e granulometria aumentam consideravelmente a resistência da matriz plástica, embora esta resistência seja muito baixa em comparação, por exemplo, com o poliéster reforçado com fibra de vidro, sendo limitada para determinadas aplicações. Os diversos materiais de enchimento determinam propriedades diferentes, como mostra a TABELA 1.

TABELA 1

ENCHIMENTO	PROPRIEDADE
Carbureto de silício	Dureza elevada, e elevada resistência à abrasão, de difícil usinagem posterior
Quartzo moído	Duro, resistente à abrasão, usinagem difícil
Óxido de titânio	Meio duro, usinagem fácil
Areia de quartzo	Apenas para enchimentos secundários
Giz, caulim, talco	Relativamente macio, usinagem fácil
Pó limalhas e fitas de ferro	Ferromagnético, boa condutibilidade térmica
Microexpandidos	De fácil usinagem com máquinas para usinagem de madeira
Fibras sintéticas de material termoplástico	Elevada resistência à flexão e ao impacto
Grafite, sulfeto de molibdeno	Autolubrificante

Cargas também podem ter desvantagens como limitar o método de fabricação, inibir a cura de certas resinas e diminuir a vida útil das resinas, além de, em alguns casos, prejudicarem as propriedades mecânicas. A resina reforçada com cargas minerais é aplicada como "mármore sintético" em lavatórios, mesas, balções, etc.

## 2.3 - FIBERGLAS

### 2.3.1 - O QUE É FIBERGLAS

Fiberglas é um material de engenharia constituído por dois componentes básicos: matriz plástica e fibras de vidro.

A matriz plástica mais utilizada é o poliéster insaturado, que, a partir de 1940 tornou este sistema o mais utilizado em todo o mundo no desenvolvimento de produtos resistentes, leves, anti-corrosivos e de moldagem relativamente simples.

### 2.3.2 - MOLDAGEM

O material de fiberglas pode ser produzido das mais diversas formas, desde a mais simples, hand-lay up, onde a aplicação se dá manualmente utilizando mantas e/ou tecidos até a mais complexa, sheet molding compound, uma espécie de termoformagem para fiberglas. Outros processos existem, como o spray-up ( aplicação a pistola ) para peças de grandes dimensões e altas produções e moldagem por bobinagem ( filament winding ) para superfícies cilíndricas, além da própria injeção

que possibilita acabamento em ambos os lados mas exige uma precisão dos moldes muito maior.

### 2.3.3 - PROPRIEDADES

Fiberglas apresenta uma elevada relação , resistênci a/peso e boas propriedades mecânicas: resistênci a tração 3200 Kgf/cm<sup>2</sup>, resistênci a compressão 3200 Kgf/cm<sup>2</sup>, resistênci a flexão 4700 Kgf/cm<sup>2</sup>, módulo de elasticidade 180.000 Kgf/cm<sup>2</sup> e tenacidade ao impacto 135 Kgf/cm<sup>2</sup>. Só para se ter uma idéia da importânci a do reforço do vidro, apresentarmos valores típicos da resina sem reforço:

Resistênci a tração: 600 Kgf/cm

Resistênci a compressão: 1250 Kgf/cm

Módulo de elasticidade: 36.000 Kgf/cm

Tenacidade ao impacto: 20 Kgf/cm

Um dos maiores destaques do fiberglas, entretanto, é no que se refere à proteção quanto a agentes químicos. Neste caso, escolhe-se o tipo de poliéster de acordo com o ambiente a que será submetido. As resinas mais resistentes apresentam alto peso molecular ( grupos terminais mais difíceis de serem solubilizados ), grupos ésteres ( usando glicóis ou ácidos de alto peso molecular reduzimos a densidade de ligações ésteres atacáveis no polímero ) e o número de ligações cruzadas alto na cadeia do polímero antes da polimerização ( cura ) é o mais baixo possível após a cura, a fim de evitar duas ligações residuais. Normalmente, até as resinas poliésteres menos resistentes ( ortoftálicas ) resistem de maneira excelente à ação

das intempéries.

Resumindo, é crescente o uso de fiberglas no Brasil, por diversas razões:

- . Larga faixa de resistência química;
- . Economia de custos; ( mais barato do que o aço inox, durabilidade )
- . Baixos custos de instalação e reparos;
- . Resistência, baixo peso, isolamento térmica e elétrica;
- . Tempo rápido de execução,
- . Não necessita pintura ( acabamento superficial com gel-coat );
- . Relação resistência/ peso superior a do aço;
- . Baixo custo de manutenção;
- . Fácil alteração e reparo.

#### 2.3.4 - APLICAÇÕES

Em vista disto, o fiberglas é aplicado em vários campos:

- . CONSTRUÇÃO CIVIL: formas de concreto , telhas, calhas, pisos, painéis.
- . NAVAL: cascos para navegações, docas flutuantes, reservatórios, etc.
- . TRANSPORTES: carcaças de automóveis e caminhões, acessórios para autos e motos, sistema de arrefeci -

mento.

. ELÉTRICAS: em motores, transformadores, geradores e equipamentos eletrônicos.

. MOBILIÁRIO: móveis para piscina, bancos de praça, assentos de ônibus, etc.

. QUÍMICA: tanques, tubulações e dutos.

. MILITARES E AEROESPACIAIS: carcaças de foguetes, hélices, vasos de pressão, barcos de assalto.

. ESPORTES: varas de pescar, arcos e flexas, tacos de golfe, raquetes, esquis, capacetes e equipamentos para piscinas e parques.

Silos e tanques de armazenamento.

Instrumentos e equipamentos médicos.

Artigos decorativos.

## 2.4 - INCORPORAÇÃO DE CARGAS EM FIBERGLASS

### 2.4.1 - OBJETIVOS

Até pouco tempo atrás cargas eram tratadas como substituintes da matriz plástica apenas por razões econômicas. Aos poucos foi-se percebendo seu valor técnico:

. Diminuição da exotermia da cura da resina;

. Redução do encolhimento do material com a cura, resultante da primeira influência;

. Melhorar a resistência a abrasão;

- . Aumentar o módulo de flexão;
- . Obtenção de certas propriedades específicas para cada carga tais como retardamento de chama, coloração, tixotropia, etc.

#### 2.4.2 - LIMITAÇÕES

Em produtos sujeitos a tração o uso de cargas deve ser bastante controlado pois diminui a resistência, e torna a estrutura mais pesada. Em estruturas submetidas ao ataque químico também há restrições pois diminui-se o alongamento à ruptura da resina carregada, o que aumenta a probabilidade do surgimento de trincas superficiais, e além disso pode ocorrer infiltrações na estrutura devido às possíveis porosidades, superficiais provocadas pelo enchimento.

Ao contrário das fibras, que sempre oferecem um aumento na resistência do produto, as cargas ou enchimentos podem ser completamente inertes ( influenciando apenas nos custos ) ou reduzir as propriedades quando não existe uma boa interação superficial entre a resina e as partículas de enchimento. Por esta razão, tem-se desenvolvido agentes de acoplamento, aditivo químico que fornece uma ponte molecular entre a interface de uma carga inorgânica e uma matriz polimérica orgânica, como o agente silano que possibilita a aderência entre a fibra de vidro e o poliéster. Quanto melhor o acoplamento melhor a resistência ao impacto do material, devido à ação plastificante obtida pelo acoplamento.

#### 2.4.3 - TIPOS DE CARGAS

O tipo de carga utilizado depende do objetivo a que se quer alcançar. Para usos gerais usa-se o talco, o carbonato de cálcio e o caulim; obtendo-se também certa coloração branca.

. Usa-se mica para se obter brilho superficial, aumentando a impressão de opacidade.

. Para se obter peças brancas e opacas, usa-se preferencialmente bióxido de titânio, seguido de trióxido de antimônio ( também é retardante de chama ), óxido de estanho e óxido de zinco.

. Sílica ou vidro moído é usado para se obter peças translúcidas.

. Para melhorar a condutibilidade elétrica e térmica usa-se pós metálicos ou negro de fumo, este último até uma certa percentagem pois possui ação inibidora na cura da resina ( 2% ).

. Alumina trihidratada além de agir como carga funciona como excelente e barato retardante de chama, obtendo-se laminados resistentes ao fogo como as cargas resinas halogenadas, sem o inconveniente da fumaça. O retardamento de chama é importante em fiberglas pois a resina, por possuir átomos de carbono e hidrogênio, são altamente combustíveis. O agente de retardamento de chama atua suprimindo continuamente, o calor, o combustível e o oxigênio.

. As microesferas ocas, de vidro, possibilita a obtenção de peças rígidas, leves, de fácil lixamento e

podendo ser perfuradas sem trincar.

. Amianto é usado como carga quando se deseja um baixo coeficiente de condutividade térmica.

. Quando se quer compensar a retração , provocada pela cura do poliéster com a expansão da carga em temperatura alta ( da reação de cura ), usa-se quartzo vitrificado alumina calcinada e terras diatomáceas calcinadas.

. Sílicas e silicatos ( caulim, talco, amianto, feldspato ) são inertes em ambientes ácidos e básicos , mas o uso é restrito pelas razões já comentadas.

. Carbonatos resiste a ambientes alcalinos mas não a ambientes ácidos.

. Sílica finamente dividida e amianto , funcionam como agentes tixotrópicos, impedindo o "escorrimento" nas paredes verticais.

. Pigmentos orgânicos ( mais baratos ) , são usados com restrições às radiações ultravioleta.

#### 2.4.4 - INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA

As cargas minerais são aplicadas em granulometria passando pela malha 200 e 325. Sabe-se que quanto menor o tamanho de partícula maior será o aumento da viscosidade, da massa a ser aplicada, dificultando a moldagem. Por outro lado, melhor será o empacotamento, melhorando a resistência. Como seria inviável utilizar um máximo tamanho de partícula prejudicando as propriedades mecânicas, costuma-se fazer uma mistura , com várias granulometrias diferentes, para obtenção de uma vis-



cosidade mínima para um empacotamento máximo. Partículas grandes devem ser evitadas pois efeitos inertes devido a distúrbios da rotação da partícula pelas colisões causam uma extra dissipação de energia e conseqüente aumento na viscosidade ( Bruijin ).

Outro aspecto que influencia na viscosidade do sistema é o índice de absorção de óleo da carga, que quanto maior, maior será a viscosidade do sistema. Este índice em geral aumenta com a diminuição do tamanho das partículas e varia de carga para carga. Existem agentes que diminuem o índice de absorção de óleo das cargas, favorecendo a aplicação.

#### 2.4.5 - FABRICAÇÃO COM CARGA

A importância das cargas no desenvolvimento técnico e econômico de materiais em fiberglas já ficou demasiadamente clara, mas do ponto de vista prático ainda existem alguns inconvenientes, tais como: abrasão da bomba, mangueira e pistola, aumento da viscosidade dificulta o bombeamento; decantação das partículas no fundo do reservatório, exigindo agitação contínua ( spray-up ); roletagem difícil sobre o molde, dificultando a remoção das bolhas de ar ( hand-lay-up ).

Vemos, portanto, uma série de dificuldades e poucas opções. Se por um lado usarmos partículas pequenas diminuí a decantação mas a viscosidade aumenta, dificultando o bombeamento. Partículas minerais maiores diminuem a viscosidade mas, aumenta o desgaste do sistema além da queda na qualidade do produto. Na prática os moldadores preferem partículas mine -

rais finas com agitação intermitente; apesar do inconveniente, do aumento da viscosidade e de custos com agitação.

Para solucionar este tipo de problema, recentemente foi desenvolvida uma pistola pela Johnson que aplica a carga independentemente da resina, podendo ser aplicadas partículas com qualquer granulometria, eliminando também o problema do aumento da viscosidade.

#### 2.4.6 - TEOR DE CARGA

Como em qualquer outro problema de Engenharia de Materiais, o teor de carga ideal para não comprometer a resistência do material deve ser bem estudado tanto no caso de carga em fibreglas como no caso de carga como reforço ao poliéster pois espera-se que a resistência aumente até um certo teor e depois comece a decrescer em virtude de aspectos estruturais da matéria. A carga deixa de ter uma ação plastificante, e passa a provocar um comportamento frágil.

#### 2.5 - A QUÍMICA DO POLIÉSTER

A resina poliéster deve ser formulada para satisfazer o método de moldagem a ser empregado assim como as condições de serviço a que o produto será sujeito. Por exemplo a mesma formulação não pode ser utilizada para temperaturas de cura diferentes. Deve-se saber também se a resina é para a aplicação superficial, com pistola ou um gel coat. Cada diferente método e uso requer um tempo de gel específico, e isto é conseguido variando as quantidades de resina, monômeros, inibidores, catalisadores, aceleradores e cargas.

### 2.5.1 - O QUE É POLIÉSTER

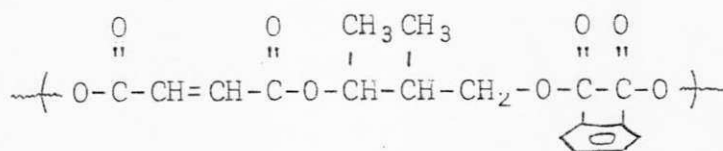
Poliéster é um polímero obtido da reação de álcoois e ácidos polifuncionais. Dependendo do tipo de ácido usado na reação, saturado ou insaturado, Obtêm-se poliésteres saturados ou insaturados, respectivamente. O poliéster saturado é termoplástico e tem aplicações diversas, enquanto o insaturado terá duplas ligações na cadeia ( pontos altamente reativos ) e terá natureza termofixa após as reações de cura. A resina poliéster insaturada é normalmente fornecida em forma líquida diluída com solventes especiais denominados monômeros ( o mais comum é o estireno ) que também servirá de ponte para uma copolimerização com os pontos reativos da cadeia do poliéster.

### 2.5.2 - TIPOS E ESTRUTURA DOS POLIÉSTERES

Os poliésteres insaturados usados em plásticos reforçados são de vários tipos, utilizados de acordo com as características que se deseja conferir ao produto final:

#### 1 - POLIÉSTER ORTOFTÁLICO

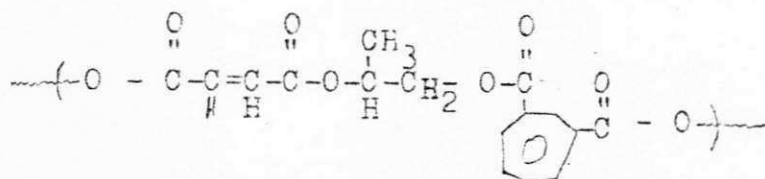
Apresenta a seguinte fórmula estrutural:



É considerada uma resina de uso geral, sem grande resistência a agentes químicos fortes, já que o seu peso molecular é menor e na síntese usa-se excesso de glicol, que tem afinidade pela água.

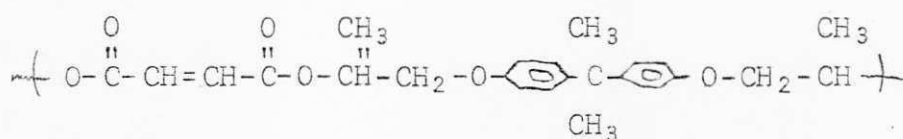
## 2 - POLIÉSTER ISOFTÁLICO

Obtêm-se cadeia mais longa sem a adição excessiva de glicol, com melhoria na resistência ao impacto e resistência química.



## 3 - POLIÉSTER BISFENÓLICO

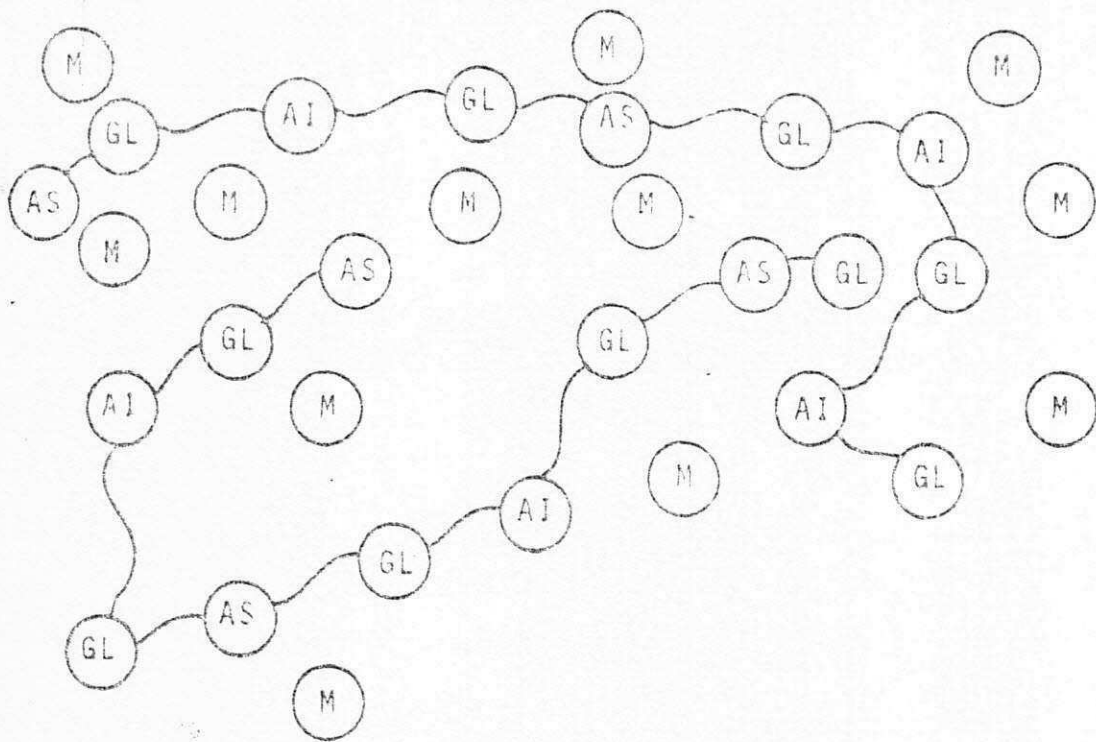
Sua estrutura impede degradação hidrolítica pela ruptura das ligações ésteres:



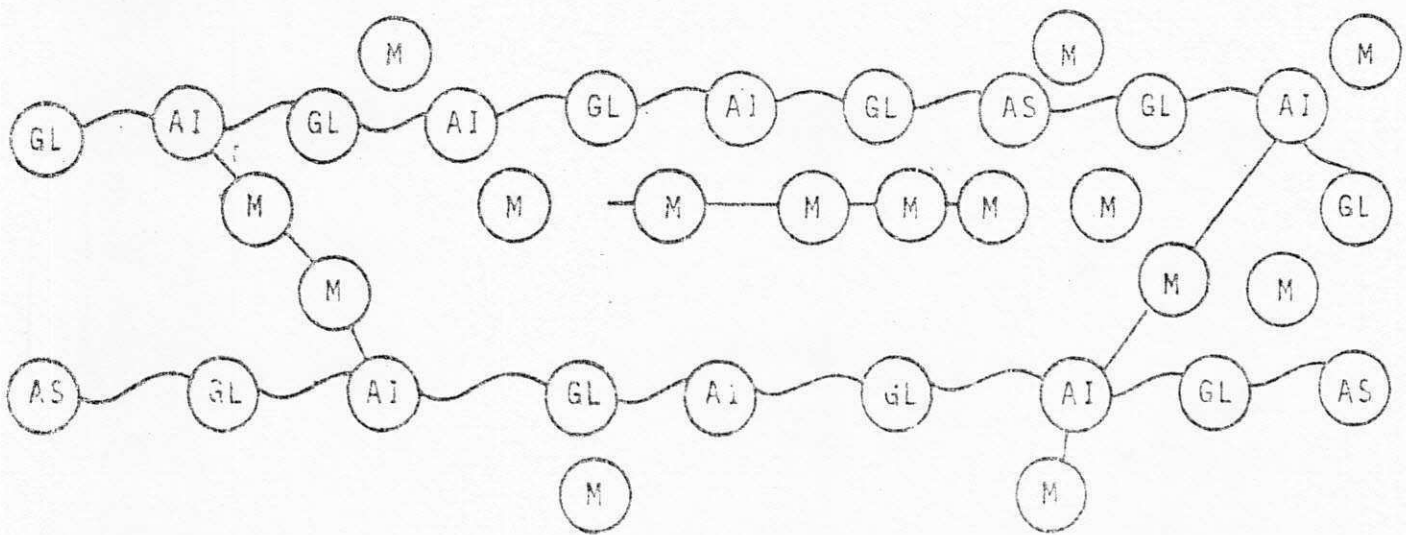
### 2.5.3 - POLIMERIZAÇÃO DA RESINA ( CURA )

É a reação de transformação do estado líquido para o estado sólido mediante uma copolimerização com o monômero de estireno em presença de catalisadores e aceleradores e/ou aquecimento. A reação é exotérmica podendo atingir até, dependendo das quantidades de catalisadores e aceleradores, 180°C. Esta, porém, não é uma reação imediata; existe uma fase de gel. Após o tempo de gel a reação exotérmica é iniciada e, após o resfriamento, tem-se a cura completa, cujo tempo é controlado pelas quantidades de acelerador e catalisador.

O mecanismo é o seguinte: o acelerador age sobre o catalisador ( ou iniciador de cura ) decompondo-o e



Resina Poliêster e Monômero antes da cura.



Resina Poliêster após a cura

- ⊙ GL - glicol
- ⊙ AI - ácido insaturado
- ⊙ AS - ácido saturado

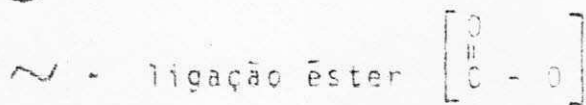


Figura 1: moléculas de poliéster e monômero antes e após a polimerização.

gerando radicais livres. Os radicais livres assim gerados rompem as duplas ligações da cadeia molecular da resina poliéster e do estireno de modo a fazer com que as macromoléculas de poliéster se unam umas às outras, servindo como ponte as moléculas de estireno, através de seus pontos de insaturação. É uma reação irreversível. Geralmente usa-se inibidores para armazenar a resina ( que já vem formulada com certo teor de monômero, de estireno ) que reagem com radicais livres, neutralizando-os e impedindo a gelificação prematura da resina.

A escolha do sistema catalisador-acelerador depende de vários fatores como a composição da resina, o método de aplicação e as propriedades exigidas do produto moldado. Os agentes reativos consistem em peróxidos orgânicos ( catalisadores ) e sais orgânicos de metais, principalmente de cobalto ou amins terciárias ( aceleradores ).

A situação das moléculas de poliéster e monômero antes e após a polimerização são mostradas na figura 1.

### 3 - MÉTODO UTILIZADO E JUSTIFICATIVAS

#### 3.1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DAS CARGAS

##### 3.1.1 - IMPORTÂNCIA

Como já explicitamos na seção anterior, a importância da granulometria da carga nas propriedades do plástico reforçado com fibra de vidro e do poliéster reforçado com cargas minerais exige que se faça uma precisa análise granulométrica.

trica das mesmas a fim de que se possa avaliar outros parâmetros como a natureza das cargas e concentração, minimizando-se os efeitos de diferenças de tamanho de partícula. É também de vital importância esta análise quando se quer avaliar o efeito da granulometria numa determinada propriedade mecânica do material ou de escoamento do composto antes da cura.

### 3.1.2 - MÉTODO

Em nosso estudo fixamos a granulometria com partículas entre 75 e 100  $\mu m$ , variando a carga ( parte I ) e concentração de carga na amostra ( parte II ).

Fixamos um tempo de vibração de 30 a 45 minutos para todas as cargas, com excessão do pó de serra, que não foi sujeito à análise granulométrica por ser de densidade muito baixa, impossibilitando a queda pelas aberturas das peneiras.

### 3.1.3 - APARELHAGEM

- . Peneiras com aberturas diversas ( marca:
- . Vibrador mecânico marca: Endecotts , com capacidade para seis peneiras de 20 cm de diâmetro.

### 3.1.4 - CARGAS ANALISADAS

- . Cal, gesso, talco, caulim, areia lavada, pó de pedra e óxido de zinco.

## 3.2 - CONFECÇÃO DOS MOLDES

### 3.2.1 - ESCOLHA DO PROCESSO

Diante das limitações dos nossos laboratórios, que não dispõem de injetoras ou máquinas de compressão para a confecção de corpos de prova bem compactados e bem acaba-dos foi preciso a utilização do modesto processo de entornamento ( casting ). Isto, se por um lado limitou a compactação, por outro lado é um processo simples, de fácil execução, não re-quer qualquer aparelho extra além do próprio molde, sendo por-tanto, um processo barato.

### 3.2.2 - MÉTODO

Na parte I do trabalho utilizamos placas de vidro fixadas com borracha de silicone sobre uma placa grande, também de vidro. Isto facilitava a desmoldagem, já que as partes do molde eram praticamente independentes. Uma limitação deste sistema foi a não uniformidade das dimensões, já que o cortador de vidro não tem habilidade para fornecer os blocos exatamente nas dimensões solicitadas, que são por demais diminutas em comparação com as que costuma cortar.

Nas partes II e III utilizamos moldes de madeira e vidro, sendo que blocos de vidro separavam os diver-sos corpos de prova e a madeira servindo de "moldura" com entalhe para os blocos de vidro. Borracha de silicone também foi utilizada para a vedação.

### 3.2.3 - MATERIAL UTILIZADO

. Blocos de vidro



- . Placa de vidro
- . Madeira
- . Borracha de silicone
- . Fita durex ( para evitar a aderência da resina à madeira )

### 3.3 - PREPARAÇÃO DA MASSA

#### 3.3.1 - PARTE I

Como nesta primeira parte o objetivo é a obtenção da carga que ofereça a maior resistência ao impacto no reforço da resina poliéster insaturada, mantemos a mesma com posição da massa, qual seja:

- . 100 partes de resina
- . 5 partes de monômero de estireno ( diluente )
- . 1,5 partes de MEKP ( catalisador )
- . 20 partes de carga

Nesta primeira parte também incluímos , duas amostras com reforço fibroso ( fibra de vidro e de sisal ) Nestas utilizamos apenas 5,8 partes de reforço para 100 partes de resina.

Em algumas amostras foi deixado um tempo de descanso da massa ( sem catalisador ) para que houvesse uma maior interação entre a carga e a resina, interação essa supon-

do ser de natureza apenas física. No caso do gesso e da cal pode ter ocorrido alguma interação química visto que a massa, após o descanso, adquiriu viscosidade muito alta, impossibilitando totalmente a aplicação nos moldes ( de pequena abertura ).

O teor de catalisador escolhido baseou-se no fato de que devia-se aplicar a massa com cautela sem que ela gelificasse e ao mesmo tempo curasse em tempo não muito longo.

### 3.3.2 - PARTE II

De posse dos resultados obtidos na parte I ( ver seção posterior ), passamos a trabalhar unicamente com o talco industrial para a determinação da concentração ótima de carga na resina utilizada para a obtenção de máxima resistência ao impacto, mantendo fixa a granulometria. Como comprovamos na parte I, o tempo de descanso da massa aumentou a resistência ao impacto, em relação à massa não descansada. Desta forma, mantivemos este critério.

As amostras tiveram a seguinte composição:

- . 100 partes de resina
- . 5 partes de estireno
- . 1,5 partes de MEKP
- . 11 a 74 partes de carga, conforme a

amostra

Confeccionamos também uma amostra sem

qualquer tipo de carga a fim de verificarmos se a carga age ou não como reforço ( PARTE I ).

### 3.3.3 - PARTE III

Nesta parte pesquisamos o efeito da carga ( talco ) na resistência do feberglas para verificar a possibilidade de utilizar uma certa percentagem de carga sem comprometer a resistência do material ao esforço solicitante. As composições foram as seguintes:

- . 100 partes de resina
- . 5,5 partes de fibra de vidro picada
- . 1,5 partes de MEKP
- . 0 a 32 partes de talco, conforme a a -

mostra

- . 5 partes de estireno

Material utilizado:

- . Resina
  - . Monômero de estireno
  - . Peróxido de metil etil cetona (MEKP)
  - . Cargas já mencionadas
  - . Fibra de vidro picada
  - . Balança Marte com precisão de 2 casas
- decimais
- . Frascos de plástico

- . Pipetas
- . Moldes já mencionados

### 3.4 - MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

#### 3.4.1 - O PROCESSO DE CASTING

É o processo em que um pré-polímero ou melt é vertido para dentro do molde e deixado tomar a forma através de reações químicas ou resfriamento ( no caso dos termoplásticos ) com aplicação de pouco ou nenhuma pressão. Um exemplo bastante comum é a fabricação da vela, cujo método é dos mais antigos ainda em uso. Outro exemplo da praticidade do método é a produção de moldes para termoformagem em resina epóxi.

A moldagem por casting é extremamente útil na confecção de moldes como já foi citado e na obtenção de produtos denominados "mármore sintético", um composto de resina poliéster e carga mineral. Em geral quando um termofixo não pode ser moldado por compressão ou transferência, a moldagem por casting torna-se uma opção simples e econômica, podendo inclusive ser realizada manualmente.

#### 3.4.2 - PREPARAÇÃO DOS MOLDES

O poliéster tende a aderir às superfícies, mesmo bem lisas, por isso o uso de desmoldantes foi obrigatório. Os desmoldantes utilizados foram: cera, poli ( álcool vinílico ) e óleo de silicone epoxidado.

O método de aplicação foi bastante sim -

ples: os corpos de prova foram inicialmente encerados e, sobreposta à camada de cera, aplicamos uma película fina de poli (álcool vinílico) dissolvido na água. Nos moldes referentes às partes II e III aplicamos também óleo de silicone epoxidado, para facilitar ainda mais a desmoldagem sem a quebra dos blocos de madeira.

#### 3.4.3 - ADIÇÃO DO CATALISADOR E MOLDAGEM

À massa já preparada adicionamos certa quantidade (conforme indica a seção 3.3 deste trabalho) de MEKP (peróxido de metil cetil cetona), que age como catalisador, permitindo a cura ou polimerização (endurecimento) do poliéster. Imediatamente vertemos a massa já catalisada para o interior dos moldes até a borda.

Após um certo tempo de cura (de 12 a 24 horas, dependendo do sistema) foi efetuada a desmoldagem, manualmente. Na desmoldagem os moldes, que foram construídos com borracha de silicone para vedação, tiveram todas suas partes separadas para facilitar a saída do produto moldado.

OBS: Moldamos cinco corpos de prova para cada amostra.

#### 3.4.4 - MATERIAL UTILIZADO

- . Moldes
- . Frascos
- . Espátulas
- . Pincéis

- . Buchas
- . Cera desmoldante
- . Poli ( álcool vinílico )
- . Óleo de silicone
- . Massa ( já preparada )
- . MEKP

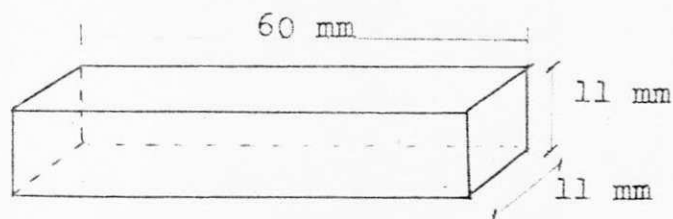
### 3.5 - ACABAMENTO DOS CORPOS DE PROVA

#### 3.5.1 - OBJETIVO

Como em todo ensaio comparativo, é preciso existir dimensões iguais para todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de impacto. Como os moldes não possuíam as mesmas dimensões, foi preciso efetuar um acabamento nos corpos de prova através de lixamento.

#### 3.5.2 - DIMENSÕES REQUERIDAS E MÉTODO

Todos os corpos de prova foram lixados até atingirem as dimensões da figura abaixo. O lixamento foi em uma só direção e bastante cuidadoso, evitando-se diferenças de dimensões.



#### 3.5.3 - MATERIAL UTILIZADO

- . Lixadeira de disco BOSCH

- . Corpos de prova
- . Paquímetro

### 3.6 - ENTALHE DOS CORPOS DE PROVA

#### 3.6.1 - A FUNÇÃO DO ENTALHE

O entalhe concentra as tensões que provoca fratura frágil, minimizando a deformação plástica e direcionando a fratura para a parte da amostra por trás do entalhe. Em outras palavras, o entalhe localiza a ruptura e provoca um estado triaxial de tensões. O entalhe pode ser em forma de V, de uma fechadura ou em forma de U invertido. No caso do ensaio tipo Izod, o entalhe tem sempre a forma de V.

Evidentemente, nas partes I e II deste trabalho o entalhe não é obrigatório por se tratar de materiais frágeis que se romperiam facilmente apenas com energia de impacto causada pela queda do Pêndulo.

#### 3.6.2 - MÉTODO

Encaixamos o corpo de prova na máquina de entalhar e fizemos um entalhe com um milímetro de profundidade, aproximadamente na metade do corpo de prova ( 30 mm ). Como precisávamos de critérios uniformes para poderem ser comparativos, efetuamos o entalhe em todos os corpos de prova.

#### 3.6.3 - MATERIAL UTILIZADO

- . Máquina de entalhar ( marca CEAST -  
ref. 6525/000 )

## . Corpos de prova

### 3.7 - O ENSAIO DE CHOQUE

#### 3.7.1 - O QUE É

Por sua simplicidade e rapidez é um dos ensaios mais empregados para analisar a fratura frágil dos materiais. Um pêndulo com certa energia potencial cai e choca-se com o corpo de prova, atingindo após o choque uma certa altura. A energia absorvida é lida diretamente na máquina em função da diferença de altura. Os resultados são fornecidos em termos de energia absorvida por unidade de área de seção transversal. Quanto menor a energia absorvida, mais frágil será o comportamento do material àquela sollicitação dinâmica. O resultado é apenas uma medida da energia absorvida e não fornece dados seguros sobre o comportamento ao choque em geral, que só poderia ser feito se pudesse ensaiar a própria peça acabada.

#### 3.7.2 - SIGNIFICADO

O excesso de energia do pêndulo indica a energia para quebrar amostras padrões de tamanho específico, sob condições fixas de entalhe e velocidade pendular.

A energia para a quebra é a energia requerida para: (1) iniciar a fratura; (2) propagação da fratura; (3) ruptura do corpo de prova; (4) envergar a amostra; (5) produzir vibração no pêndulo; (6) produzir vibração na base da máquina; (7) deformar plasticamente a amostra.



Para materiais frágeis a energia para quebra é quase totalmente referida aos itens (1) e (3) do parágrafo anterior.

### 3.7.3 - LIMITAÇÕES

Além de não fornecer dados seguros sobre o comportamento ao choque em geral, o ensaio de impacto tem o inconveniente de seus valores só serem válidos para comparar materiais nas mesmas condições de ensaio, quais sejam: dimensões dos corpos de prova, temperatura, mesma máquina, mesma profundidade de entalhe, etc.

### 3.7.4 - O PORQUÊ DESTE ENSAIO

A resistência ao impacto é uma das principais propriedades do fibreglas que o torna um material diferente do convencional, conforme mostra a tabela 2. A necessidade de manter as mesmas características técnicas de resistência de um determinado material é uma preocupação constante na Engenharia. Assim, avaliar o comportamento do fibreglas quando alterado com a adição de cargas torna-se imprescindível quando não se quer comprometer o desempenho do produto.

Em relação ao poliéster reforçado com cargas minerais o ensaio de choque é importante como uma avaliação da resistência do reforçado sujeito à variações de carga ( PARTE I ) e de concentração de carga ( PARTE II ). Como o ensaio de impacto é uma maneira de avaliar a tendência do material se comportar de maneira frágil, verificamos a validade deste ensaio para se obter a melhor carga-concentração como refor-

TABELA 2.

MATERIAL	EXPESSURA ( mm )	PESO (g/m <sup>2</sup> )	ENERGIA DE IMPACTO ( Kg X m )			
			0.42	0.84	1.26	2.1
Aço 14	1,3	9770	nenhum estrago	pequena marca	marca considerável	amassado
Alumínio 14	2,0	5420	pequena marca	amassamento e dobra do painel	amassamento e dobra do painel	muito amassado
Painel de cimento amianto	6,3	10700	fratura	quebra em pedaços	quebra em pedaços	quebra em pedaços
Compensado	4	2030	nenhum estrago	fratura em todas as camadas	quebra em pedaços	quebra em pedaços
Compensado	6	3050	nenhum estrago	última camada fratura	fratura em todas as camadas	destruída
Fiberglas (2 mantas 450 g/m <sup>2</sup> )	2	2750	nenhum estrago	nenhum estrago	pequenas rachaduras	pequenas rachaduras
Fiberglas (2 mantas 600 g/m <sup>2</sup> )	3,6	4900	pequenas rachaduras	rachaduras	rachaduras	rachaduras generalizadas

FONTE: Alba S.A. Indústrias Químicas

ço para o poliéster e como enchimento para o fiberglas. O resultado do ensaio pode ser usado como um controle de qualidade do produtor desses materiais.

#### 3.7.5 - MÉTODO

Engastamos o corpo de prova entalhado na máquina de impacto em posição vertical e soltamos o pêndulo com escala de 0 a 40 Kg cm. Lemos diretamente na escala da máquina a energia absorvida pelo corpo de prova. Repetimos este procedimento para todas as amostras.

#### 3.7.6 - MATERIAL UTILIZADO

- . Máquina de impacto Izod ( marca CEAST ref. 6101/IC )
- . Corpos de prova entalhados

### 3.8 - CÁLCULO DA DENSIDADE

#### 3.8.1 - IMPORTÂNCIA

Saber a densidade do material é um fato extremamente importante na elaboração de projetos de Engenharia devido às propriedades de resistência/peso que, se não forem bem dimensionados, podem comprometer a resistência dos materiais.

#### 3.8.2 - MÉTODO

Calculamos o volume do corpo pelo produto das três dimensões e pesamos o corpo de prova. A densidade é a

relação entre a massa da amostra dividida pelo seu volume.

### 3.9 - O ENSAIO DE DUREZA

#### 3.9.1 - CONCEITO DE DUREZA

A dureza de um material polimérico, que pode ser definida como uma resistência local à deformação, é uma propriedade complexa relacionada com propriedades mecânicas como módulo de elasticidade, resistência a tração, elasticidade e plasticidade. Relaciona-se também com resistência ao risco e ao desgaste. A relação com as propriedades mecânicas usualmente não é muito simples e direta, mas há uma tendência a altos módulos de elasticidade e resistência se relacionarem com altos graus de dureza, dentro de classes de materiais.

Há estreita dependência com o comportamento viscoelástico do material.

#### 3.9.2 - ENSAIO DE DUREZA ROCKELL

O ensaio baseia-se na profundidade de penetração de uma ponta, subtraída da recuperação elástica devida à retirada de uma carga maior e da profundidade causada pela aplicação de uma carga menor ( pré-carga ). A pré-carga é aplicada para fixar bem o corpo de prova no penetrador, que pode ser cônico ou esférico.

A profundidade da impressão é dada diretamente no mostrador da máquina, em forma de um número de dureza, Após voltar a carga ao valor menor. A leitura é feita em esca-

la, de acordo com as dimensões do penetrador e valor da carga aplicada.

### 3.10 - ANÁLISES MICROSCÓPICAS DAS AMOSTRAS

#### 3.10.1 - OBJETIVOS

Para uma melhor visualização das fases existentes, as amostras foram submetidas à análise microscópica com um aumento de 16x. Foi possível também a visualização ampliada das marcas dos ensaios de dureza e fratura ao impacto. Foi possível tirar fotografias e os resultados estão no ANEXO V deste trabalho.

#### 3.10.2 - MATERIAL UTILIZADO

- . Microscópio oftalmológico com abertura de fenda e corte ótico.
- . Câmara Fotográfica Minolta com adaptador para microscópio.
- . Tripé para apoio da câmara.
- . Corpos de prova.

## 4 - RESULTADOS OBTIDOS

## 4.1 - QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE I (QR-1)

AMOSTRA COD.	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	RESIST. IMPACTO (Kg.cm/cm <sup>2</sup> )	RESIST/ PESO (Kg.cm/gcm <sup>2</sup> )	DUREZA RL'
0	8,71	1,20	1,180	0,131	37
A1	9,51	1,31	1,275	0,134	45
A2	9,44	1,30	1,138	0,120	35
B1	9,00	1,24	0,642	0,071	23
C1	9,36	1,29	0,982	0,105	47
D1	9,58	1,32	0,807	0,084	48
E1	9,87	1,35	0,984	0,100	46
F1	9,66	1,33	1,063	0,110	52
G1	7,77	1,07	8,077	1,039	50
H1	-	-	-	-	-
I1	7,99	1,10	12,430	1,556	45
J1	9,87	1,36	0,589	0,060	22
J2	9,94	1,37	0,692	0,070	27

## 4.2 - QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE II (QR-2)

AMOSTRA COD.	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	RESIST. IMPACTO (Kg.cm/cm <sup>2</sup> )	RESIST/ PESO (Kg.cm/gcm <sup>2</sup> )	DUREZA RL'
0	8,35	1,15	1,110	0,133	37
A3	8,78	1,21	1,096	0,125	39
A4	9,73	1,34	1,251	0,129	40
A5	9,80	1,35	1,214	0,124	31
A6	10,38	1,43	1,158	0,111	25
A7	10,67	1,47	0,997	0,093	19
A8	10,24	1,41	1,191	0,116	28

4.3 - QUADRO DE RESULTADOS REFERENTES À PARTE III  
(QR-3)

AMOSTRA COD.	MASSA (g)	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	RESIST. IMPACTO (Kg.cm/cm <sup>2</sup> )	RESIST/ PESO (Kg.cm/gcm <sup>2</sup> )	DUREZA RL'
G	8,37	1,15	7,400	0,884	49
G2	8,43	1,16	7,823	0,928	51
G3	8,56	1,18	7,936	0,928	50
G4	8,65	1,19	7,229	0,836	42
G5	8,79	1,21	6,460	0,735	36
G6	8,95	1,233	5,787	0,646	29

## OBSERVAÇÕES

1 - As composições de todas as amostras utilizadas estão no anexo II.

2 - Todos os resultados aqui apresenta-

dos referem-se a valores médios aritméticos obtidos através do ensaio dos cinco corpos de prova moldados ( para cada amostra ) com desvio padrão na ordem de 10%.

3 - A amostra H1 não foi ensaiada pois sua cura não ocorreu já que a carga ( pó-de-serra ) absorveu catalisador ou/e acelerador, impossibilitando o endurecimento.

4 - No ensaio de dureza foi usado como penetrador uma esfera de aço de 5 mm de diâmetro e uma carga aplicada de 60 Kgf. Estas condições não se enquadram em nenhuma escala Rockell padronizada, ficando mais aproximada da escala Rockell L cujo penetrador é uma esfera de 6,35 mm de diâmetro , razão pela qual adotamos o símbolo RL'.

5 - No ensaio de dureza todas as amostras foram ensaiadas nas mesmas condições. Os números de dureza obtidos ( RL' ) servem apenas como critério comparativo entre as amostras do presente trabalho pois esta escala não é padronizada.

6 - A parte I do trabalho foi ensaiada, quanto ao impacto a uma temperatura de 35 °C e as partes II e III a 26 °C.

7 - O teste de impacto foi baseado no ASTM D256.



## 5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1 - PARTE I

Analisando (QR-1) em conjunto com (CA-1), verificamos a existência de cargas reforçantes para certa concentração, que foi mantida constante para todas as amostras. Da mesma forma verificamos a existência de cargas que aumentam ou diminuem a dureza do poliéster, atuando como modificadores de dureza. Outra importante propriedade analisada é a de resistência/peso, que se relaciona com a densidade da carga e consequentemente com a densidade da amostra.

Vimos que o talco foi a carga que apresentou melhor compatibilidade com o poliéster insaturado por resultar em maior resistência ao impacto em comparação com as demais cargas, apresentando também boa propriedade de resistência/peso e alta dureza (mas não a maior). A resistência do material com talco diminuiu quando não deixamos o tempo de descanso para maior interação física. Efeito oposto ocorreu com o óxido de zinco, que apresenta natureza diferente da do talco. Junto com o material com cal (Bl), o material com óxido de zinco apresentou os mais baixos níveis de resistência ao impacto, resistência/peso e dureza, não se recomendando estas cargas na confecção de produtos onde se precise das citadas propriedades. Foi impossível deixar o tempo de descanso para Bl, pois houve endurecimento da massa.

A carga que mais se aproximou do talco em termos de resistência foi o gesso, que também apresentou maior

dureza dentre todos os materiais ensaiados, sendo recomendado em aplicações onde se requer dureza, dependendo, é claro, das análises de custo e do não comprometimento da peça em solicitações de impacto ou outras propriedades mecânicas. Ficando logo abaixo do gesso a areia ( C1 ), pó de pedra ( D1 ) e caulim ( E1 ), com semelhantes propriedades de resistência/peso e dureza.

Outra análise que pode ser feita é em termos das amostras G1 ( reforço da fibra de vidro ) e I1 ( reforço com fibra de sisal ). Como era de se esperar, amostras com reforços fibrosos possuem melhores propriedades mecânicas, já que as fibras distribuem as solicitações uniformemente ao material, não atuando como concentrações de tensões como ocorre com os reforços esféricos e tendo a matriz plástica como suporte . Verificamos que a fibra de sisal resultou em uma maior resistência ao impacto, mas estudos realizados verificaram que o uso é inviável pois o produto não tem boa durabilidade, pois há pouca interação física entre a resina e o sisal. Acreditamos que o processo de casting não é apropriado para a confecção de produtos em fiberglas, pois torna-se difícil a retirada das bolhas existentes, principalmente em corpos de pequenas dimensões que utilizamos. A existência de bolhas fragiliza sensivelmente a peça.

Confirmamos a existência de carga que inibe a cura da resina pela amostra H1. Não foi possível ensaiar esta amostra por que esta absorveu componentes químicos essenciais para o endurecimento do polímero como catalisadores e

aceleradores.

Como o objetivo desta primeira parte é a verificação da carga com melhor compatibilidade com a resina, foi escolhido um certo teor arbitrário de carga ( 20 partes para 100 partes de resina ). Concluímos que o talco ( com tempo de descanso com a resina ) apresentou os melhores resultados nas propriedades de impacto e resistência/peso. As demais situaram-se abaixo das propriedades da resina sem carga, mas isto não quer dizer que elas não atuem como cargas reforçantes em certos teores, que pode ser verificado realizando estudos semelhantes ao que foi feito com o talco nas partes II e III deste trabalho. A escolha da carga a ser utilizada envolve também fatores estéticos como cor, brilho e textura.

OBS: Discussões sobre as propriedades de dureza e impacto das amostras ver seção 5.4.

## 5.2 - PARTE II

Com os resultados dos ensaios referentes, a esta parte do trabalho (QR-2) e com as composições das amostras (CA-2), construímos os gráficos I e II ( ANEXO III ).

### 5.2.1 - ANÁLISE DO GRÁFICO I

Como já era esperado, a resistência do material é função do teor de carga. A curva 1 apresenta 3 partes distintas. Na primeira vemos uma diminuição da resistência para baixos teores de carga ( 11 partes ) que pode ser explicada pelo fato de que baixos teores apenas atuam como pontos de con -

centração de tensões, pois não há material suficiente para uma perfeita dispersão das cargas. Com uma maior concentração de carga a resistência aumenta devido a melhor dispersão das partículas até um certo ponto máximo em que não há polímero suficiente ( a concentração mássica de poliéster diminui com o aumento da quantidade de carga ) para o suporte da estrutura , tendo-se início a terceira parte da curva, daí por diante, sempre descendente.

Ao contrário da primeira parte da curva 1 que é descendente, a da curva 2 é ascendente, pois as partículas de talco atuam como uma resistência à deformação plástica , aumentando desta maneira a dureza até o ponto máximo em que não há suporte suficiente de matéria plástica tornando alta a concentração de carga, diminuindo assim as restrições à penetração ( material mais mole ).

#### 5.2.2 - ANÁLISE DO GRÁFICO II

O gráfico II mostra a curva resistência / peso em função do teor de talco na amostra. Observamos que a mesma é sempre descendente, ou seja, essa propriedade diminui , com o aumento do teor de talco. Embora a resistência ao impacto em algumas amostras tenha sido superior à do poliéster sem carga ( amostra 0 ), a resistência/peso foi sempre inferior, devido ao aumento na densidade do material pela adição de cargas ( maior peso ) ser maior do que o aumento no impacto.

#### 5.2.3 - DISCUSSÕES

Em aplicações onde se possa utilizar o

material valorizando sua resistência ao impacto sem comprometer a estrutura ( o material torna-se mais pesado ) é conveniente o uso de cerca de 30 partes de talco como reforço pois a resistência ao impacto aumenta em cerca de 12,5% e ainda diminui os custos do produto acabado, além de modificar outras propriedades do sistema, como foi comentado em "considerações teóricas". Pode-se ainda utilizar mais de 50 partes de talco para 100 partes de resina obtendo-se impacto semelhante da amostra sem talco, mas, fatalmente, com problemas estáticos devido ao elevado peso da peça. Resumindo, a escolha do teor de talco depende das solicitações a que será sujeita o produto acabado em conjunto com as análises de custos, considerando também dureza como um fator dependente do teor de carga.

Como consta na bibliografia, a resistência ao impacto depende da temperatura do ensaio. Isto ficou confirmado pela amostra 0, que na parte I foi ensaiada a 35°C e na parte II a 26°C. Este também é o motivo porque não colocamos os resultados da amostra A1 na curva 1 do gráfico I.

**OBS:** Discussões sobre as propriedades de dureza e impacto ver seção 5.4.

### 5.3 - PARTE III

Com (QR-3) e (CA-3) construímos os gráficos III e IV ( ANEXO IV ).

#### 5.3.1 - ANÁLISE DO GRÁFICO III

A curva 1 tem duas partes distintas: a

parte ascendente em que a carga atua, junto com a fibra de vidro, como um reforço, servindo de ancoramento para as fibras e preenchendo os vazios existentes, e a parte descendente, em que a concentração elevada de carga torna-se prejudicial para a resistência do material, pois há muito talco para o ancoramento, de poucas fibras, tornando o material susceptível à fratura.

A curva 2 mostra que a dureza também aumenta até um certo ponto em que há restrição à plasticidade e, em seguida, passa a decrescer já que não há suporte de material ( matriz plástica e fibras ) para um aumento no teor de talco, facilitando a penetração da esfera de aço.

#### 5.3.2 - ANÁLISE DO GRÁFICO IV

Esta curva mostra um ligeiro aumento na resistênci/peso para pequenos teores de talco, visto que o aumento na resistência ao impacto foi maior do que o aumento na densidade, tornando o material reforçado com fibra de vidro e talco mais resistente do que o fiberglas, para uma mesma massa. Depois de certo teor, por motivos análogos aos comentados acima ( 5.3.1 ), a resistência/peso diminui acentuadamente, tendo em vista uma diminuição na resistência e um aumento na densidade.

#### 5.3.3 - DISCUSSÕES

Os gráficos III e IV confirmam a total viabilidade da utilização de cargas em fiberglas, pois além de diminuir os custos de fabricação, aumentam a resistência ao impacto, a resistência/peso, diminuem a exotermia, diminuição na

retração de cura e, de acordo com o tipo, promovem a coloração. A dureza também aumenta ligeiramente. A resistência ao impacto pode ser aumentada em até 7% para 15 partes de talco ou permanecer inalterada com o adição de 22 partes de talco para 100 partes de resina. A resistência/peso pode ser aumentada em 5% para 10 partes de talco ou permanecer inalterada para 20 partes de talco para cada 100 partes de resina, sempre em termos, mássicos.

Um detalhe que deve ser considerado aqui é todo o estudo da parte III foi realizado mantendo-se 5,5 partes de fibra de vidro como constante para todas as amostras, variando-se apenas o teor de talco. Sendo assim, os resultados quantitativos apresentados nos gráficos III e IV referem-se apenas a esse teor de fibra de vidro e relaciona-se com o processo de moldagem empregado, mas presume-se que o adição de cargas em fiberglas seja benéfico (até certo teor) como refere-se a bibliografia especializada. Na prática, a quantidade de fibra de vidro empregada é bem maior, chegando, em alguns casos a 30%, possibilitando o emprego de uma maior quantidade de cargas.

Novamente, o teor de carga a ser adicionado dependerá das propriedades que se requer do produto final e dos custos máximos exigidos.

**OBS:** Discussões sobre propriedades de dureza e impacto ver seção 5.4.

#### 5.4 - RELAÇÃO DUREZA-IMPACTO

Um ponto de questionamento neste trabalho é a dureza das amostras. Esperava-se que, assim como ocorre nos metais, em alguns termoplásticos e nos materiais cerâmicos, a dureza aumentasse com a diminuição da resistência ao impacto, devido à idéia que se tem de que quanto mais duro mais frágil é o material.

Em (QR-1) vimos que B1 e J1 apresentaram menores impactos e durezas; F1 possui dureza maior, mas não o menor impacto; I1 possui maior impacto mas não menor dureza; G1 possui excelente resistência ao impacto e dureza elevada (próxima de F1).

De posse destes resultados duas conclusões podem ser tiradas: ou a relação impacto x dureza, ao contrário dos outros materiais, é direta para o poliéster reforçado, que é um material conjugado, ou os resultados apresentados, não satisfazem com a realidade. Descarto aqui a segunda alternativa pois foi uma tendência que se mostrou para quase todas as amostras ensaiadas (A3 pode ser explicada por outro fenômeno, ver seção 5.2) e não para um caso isolado. Além disso, consta na referência (9), página 13-7, fenômeno semelhante para a resina epóxi, que também é termofixa, onde o impacto aumenta com o aumento da dureza. Sobre a primeira alternativa, seria duvidosa qualquer conclusão visto o número relativamente pequeno de amostras ensaiadas e de natureza de reforço.

Poderemos fazer algumas suposições:



Do ponto de vista microestrutural, vemos a dureza como a resistência à penetração em material composto de duas ou mais fases: matriz plástica, carga e fibra de vidro. Na amostra sem reforço o penetrador toma contato apenas com uma fase ( polímero ), sendo esta a única responsável pela dificuldade à penetração. Quando se adiciona certos teores de cargas, estas formam camadas de partículas envolvidas pela matriz, diminuindo a plasticidade do material, em outras palavras, dificultando a penetração. Também em certos teores e bem dispersas, as cargas fornecem suporte à matriz, requerendo uma maior energia para o início da fratura, que é a maior parte da energia necessária para romper corpos de prova frágeis. Vamos imaginar agora um corpo com elevado teor de carga. Como a concentração de resina diminui com o teor de carga, chegará um ponto, depois da concentração ótima, em que haverá excesso de carga, não existindo do polímero em quantidade suficiente para envolver todas as partículas. Desta maneira o penetrador não encontrará tanta dificuldade em deslocar as partículas de carga que impedem sua passagem, exprimindo assim um baixo número de dureza. Quando este mesmo material é submetido ao choque, a fratura também será, mais fácil pois a matriz não envolve as partículas satisfatoriamente e distribuindo a tensão em todas as direções, ao contrário, as partículas não estão bem presas na estrutura, se desagregando com mais facilidade.

No material com três fases o raciocínio é análogo ao anterior, com as fibras funcionando como um sustentáculo maior para a estrutura. Neste caso não ocorrerá diminuição

da resistência para baixos teores de carga, que entram para preencher espaços entre as fibras sem concentrar tensões, já que atuam como suporte para as fibras, aumentando a energia necessária para a ruptura e dificultando ainda mais a penetração da esfera de aço. Como a adição de 5,5 partes de fibra de vidro em 100 partes de resina poliéster aumenta a resistência ao impacto desta em mais de 500%, presume-se que só com teores muito elevados de carga tornaria a estrutura menos resistente do que o poliéster sem reforço, embora haja sensível diminuição na propriedade de resistência/peso. Observa-se também que a presença de fibras provoca um aumento muito maior no impacto ( mais de 500% ) do que na dureza ( 32% ). Isto pode ser grosseiramente explicado pelo fato de que ambas as amostras estão envolvidas superficialmente pelo polímero e, como a profundidade de penetração é relativamente pequena, as fibras não influenciam tanto quanto no impacto.

## 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Como já mencionado em seções anteriores, o objetivo deste trabalho é a obtenção de sistemas ótimos baseados em critérios comparativos. Deste ponto de vista, resultados satisfatórios foram obtidos e comentados na seção anterior. Nunca é demais repetir que a escolha do material a ser utilizado dependerá de diversos fatores, tais como o uso a que se destina, propriedades que se quer valorizar, fatores estéticos e econômicos.

Concluimos assim que o talco apresentou a melhor compatibilidade com a resina utilizada implicando em maior resistência ao impacto. Verificamos também a viabilidade de se usar cargas em fibras com grandes vantagens como diminuição da retração de cura, diminuição nos custos e aumento nas propriedades de resistência/peso.

Como tenacidade é a energia absorvida na ruptura de um material e é representada pela área sob a curva tensão x deformação e todas as amostras apresentaram fratura frágil, poderemos fazer uma previsão qualitativa sobre a resistência à tração das amostras. Como resistência ao impacto representa a energia absorvida pelo material submetido ao choque e as amostras não devem apresentar grandes deformações elásticas ou plásticas, concluimos que as com maior resistência ao impacto tendem a apresentar maior resistência à tração, analisando-se do ponto de vista do diagrama tensão x deformação.

Os resultados aqui apresentados são de es

pecial aplicação em indústrias nordestinas de pequeno porte que utilizam processos simples como casting e hand-lay-up e que tenham disponibilidade de cargas minerais.

Temos consciência das nossas limitações, devido não à nossa falta de vontade e disposição ao trabalho, mas às deficiências nos nossos Laboratórios que não dispõem de equipamentos essenciais para a Engenharia de Materiais como intoras, prensas e equipamentos para ensaios mecânicos apropriados e inexistência de bibliografia relacionada com o assunto.

Como existe um vasto campo de pesquisa nesta área, apresentamos aqui algumas sugestões para estudos posteriores, para complementar e estender o conhecimento em poliéster reforçado com fibras e cargas minerais.

1 - Estudo de tratamentos superficiais, a serem aplicados à fibra de sisal, material barato e da região para melhorar a compatibilidade com a resina.

2 - Repetição das partes II e III deste trabalho com as demais cargas utilizadas e outras não utilizadas, para verificar seus valores reforçantes.

3 - Realização de um maior número de ensaios de dureza e impacto para desvendar e explicar a relação entre estas propriedades.

4 - Realização de ensaios complementares como resistência à tração, à compressão, à flexão, à abrasão e viscosidade da massa.

5 - Moldagem dos corpos de prova através de outros processos como injeção, prensagem ou, extrusão.

6 - Verificar teores máximos de carga variando-se a quantidade de fibra de vidro no fiberglas.

7 - Comparações com outros materiais em termos de propriedades mecânicas.

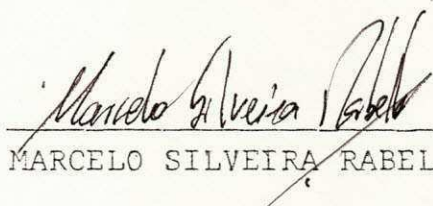
8 - Condutibilidade térmica.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALPOLIT - RESINA POLIÉSTER INSATURADA. Informativo Técnico da Hoechst.
- 2 - 1979 Annual Book of ASTM Standars, Part 35, American Society for Testing Materials, New York , 1979.
- 3 - "CARGAS PARA FIBERGLAS". Informativo Técnico da Ocfibras LTDA.
- 4 - CARVALHO FILHO, A. "QUÍMICA DO POLIÉSTER". Informativo Técnico da Ocfibras LTDA.
- 5 - DUBOIS, J. HARRY & JOHN, FREDERICK W. "PLASTICS" . Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.
- 6 - "ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY". Vols 7 e 12, John Wiley & Sons, Inc., New York 1967.
- 7 - HAN, C. D.; SANDFORD, C. & YOO, H. J. "EFFECTS OF TITANATE COUPLING AGENTS ON THE RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FILLED POLYOLEFINS" . Polymer Engineering and Science, 1978, Vol. 08, nº 11.
- 8 - HSIEH, H. P. "DISPERSION VISCOSITY OF ALUMINUM TRIHYDROXIDE OF VARIOUS PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS IN AN UNSATURATED POLYESTER RESIN". Polymer Engineering and Science, 1978, Vol. 18 nº 12.

- 9 - LEE, HENRY & NEVILLE, KRIS. "HANDBOOK OF EPOXY RESINS", McGraw-Hill, Inc. New York, 1967.
- 10 - PATTON, W. J. "PLASTICS TECHNOLOGY: THEORY, DESIGN AND MANUFACTURE". Reston Publishing Company, Inc., Reston, 1976.
- 11 - "PLÁSTICOS REFORÇADOS COM FIBRA DE VIDRO NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS RESISTENTES, À CORROSÃO". Informativo Técnica da Alba S.A., Indústrias Químicas.
- 12 - REY, L. "COMO REDIGIR TRABALHOS CIENTÍFICOS". Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1972.
- 13 - RODRIGUES, F. "PRINCIPLES OF POLYMER SYSTEMS". McGraw-Hill Book Company, New York, 1970.
- 14 - SOUZA, S. A. de. "ENSAIOS MECÂNICOS DE MATERIAIS METÁLICOS". Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1974.
- 15 - VAN VLACK, L. H. "PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA DOS MATERIAIS". Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1970.

ESTAGIÁRIO:

  
MARCELO SILVEIRA RABELLO

ORIENTADOR:

  
RÔMULO FEITOSA NAVARRO

ANEXO I - ESPECIFICAÇÕES DA RESINA

POLIÉSTER 5061 - R=15

Tipo de poliéster: semi-rígido, alta reatividade, pré-acelerado ( não precisa octoato ou naftenato de cobalto ).

- . Viscosidade ( 25°C ): X-Y Gardner ou 1400 - 1500 CPs.
- . Índice de acidez: 25 máximo.
- . Cor APHA: 100 máximo.
- . Densidade: 1,16 g/cm<sup>3</sup>.
- . Pot-life ( tempo de gelificação ): à 100°C, 100 g da resina e 0,91 ml de MEKP apresenta um pot-life, entre 11 e 15 minutos.
- . Estabilidade a 25°C: 6 meses.



ANEXO II - COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS

1 - COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS REFERENTES À PARTE I (CA-1)

AMOSTRA COD.	CARGA	PARTES RESINA	PARTES ESTIRENO	PARTES CARGA	PARTES MEKP	TEMPO DE DESCANSO	COR
A1	talco	100	5,35	20	1,5	1 dia	bege
A2	talco	100	4,99	20	1,45	-	bege
B1	cal	100	5,12	20	1,3	-	branco pálido
C1	areia	100	4,86	20	1,5	1 dia	marrom
D1	pó de pedra	100	4,89	20	1,5	1 dia	preto
E1	caulim	100	4,99	20	1,5	1 dia	amarelo queimado
F1	gesso	100	5,04	20	1,65	-	branco
G1	F. vidro	100	4,92	5,8	1,9	-	
H1	pó serra	100	4,96	19,83	1,63	-	verme.
I1	f. sisal	100	4,7	5,8	1,2	-	
J1	ZnO	100	5,38	20	1,31	1 dia	branco alvo
J2	ZnO	100	4,63	19,3	1,34	-	branco alvo
O	-	100	6,28	-	1,44	-	transp.

2 - COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS REFERENTES À PARTE II (CA-2)

AMOSTRA COD.	PARTES RESINA	PARTES ESTIRENO	PARTES TALCO	PARTES MEKP	TEMPO DE DESCANSO
0	100	5,00	-	1,32	-
A3	100	4,97	10,97	1,37	1 dia
A4	100	4,96	30,03	1,37	1 dia
A5	100	5,10	45,18	1,55	1 dia
A6	100	4,99	60,14	2,20	1 dia
A7	100	5,18	74,44	1,98	1 dia
A8	100	5,03	50,92	2,13	1 dia

3 - COMPOSIÇÃO DAS AMOSTRAS REFERENTES À PARTE III (CA-3)

AMOSTRA COD.	PARTES RESINA	PARTES ESTIRENO	PARTES TALCO	PARTES F. VIDRO	PARTES MEKP	TEMPO DE DESCANSO
G	100	5,36	-	5,49	1,45	-
G2	100	4,79	10,72	5,50	1,49	19 hrs
G3	100	5,16	14,99	5,51	1,42	20 hrs
G4	100	5,11	20,06	5,51	1,55	18 hrs
G5	100	5,32	24,59	5,50	1,37	21 hrs
G6	100	5,01	31,66	5,51	1,30	21 hrs

OBS: O tempo de descanso de (CA-3) refere-se apenas à mistura talco-resina-estireno.

ANEXO III

GRÁFICO I

Curva 1: resistência ao impacto x partes de talco (•)

Curva 2: dureza x partes de talco (x)

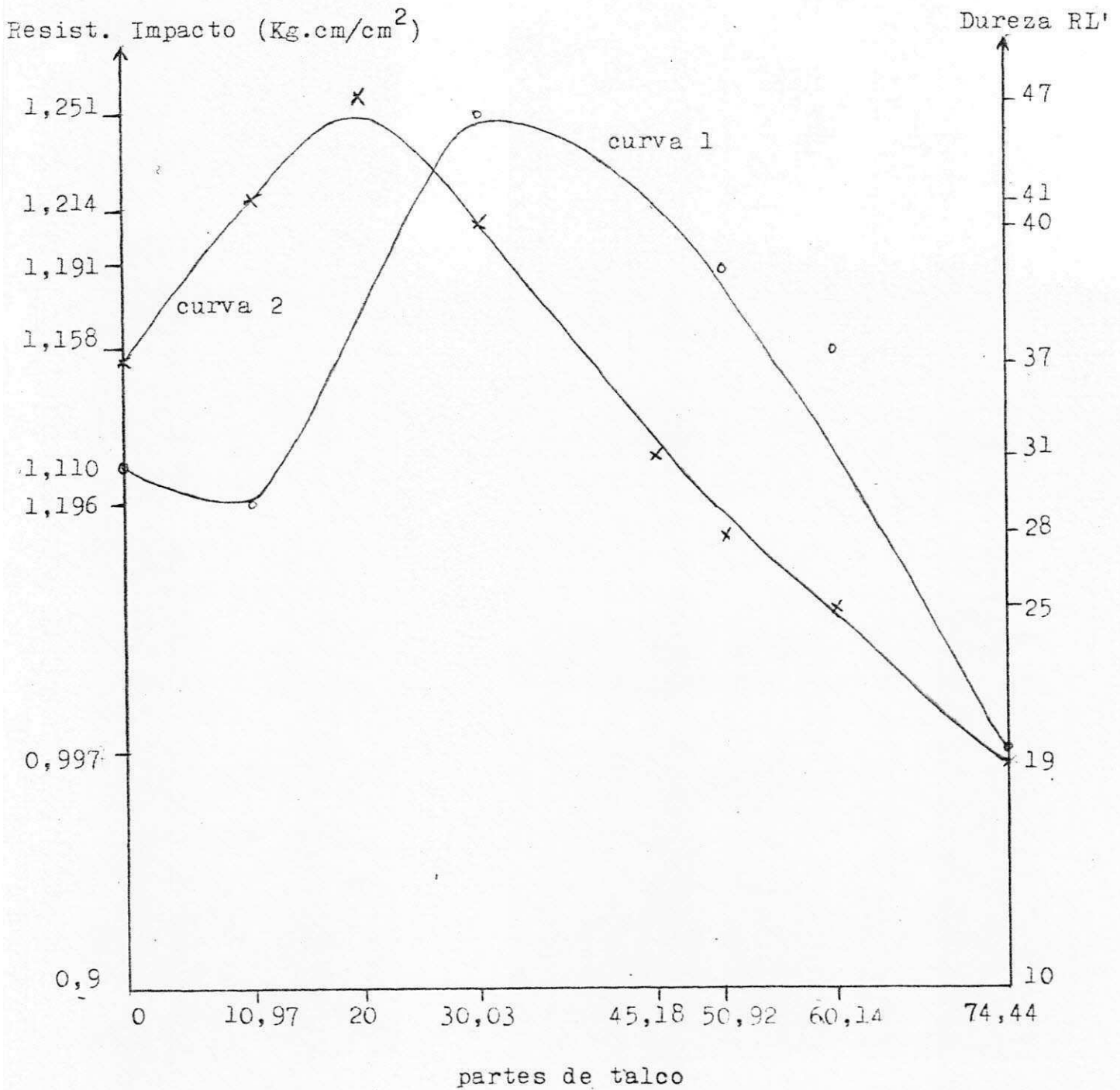
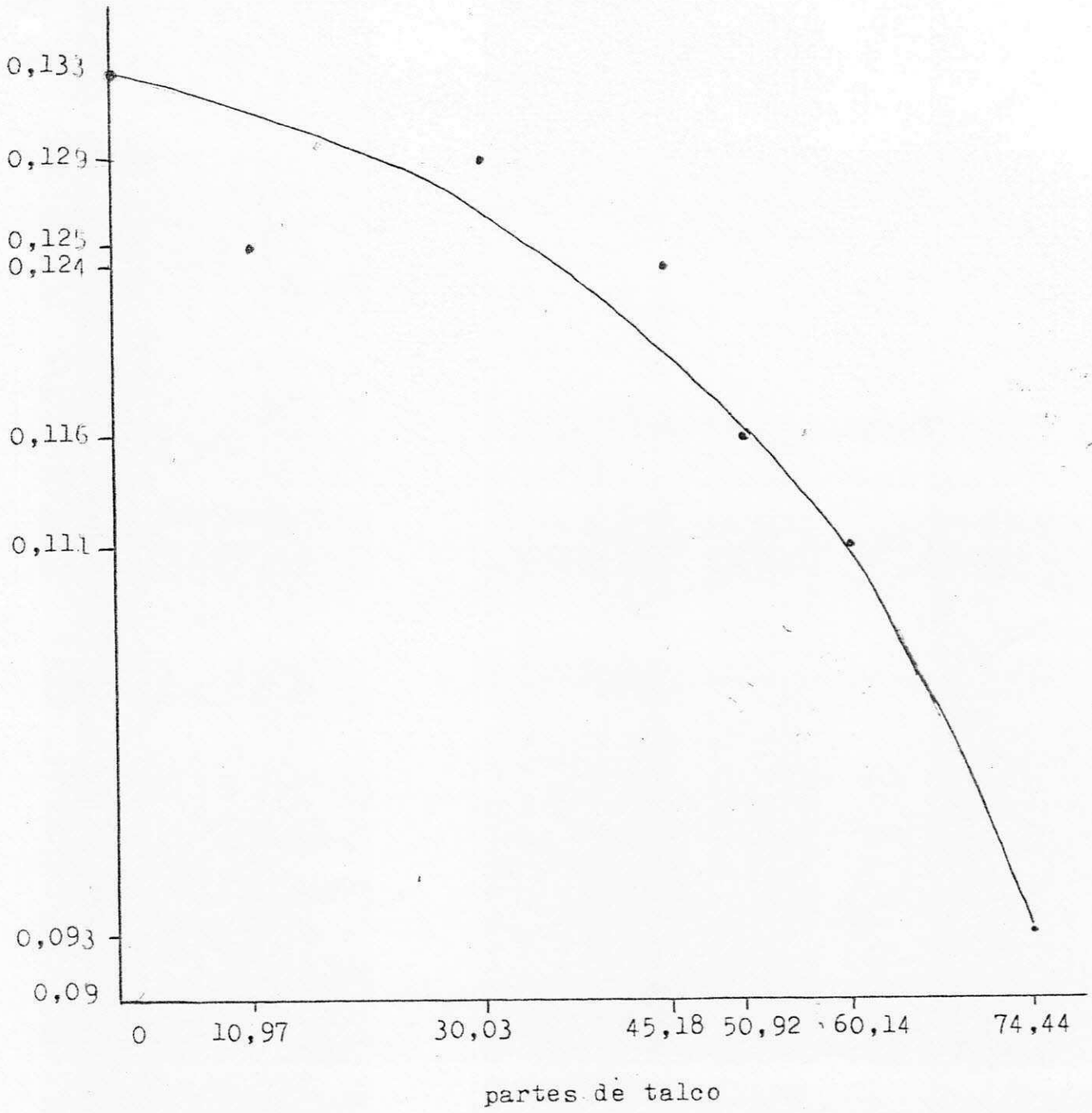


GRÁFICO II

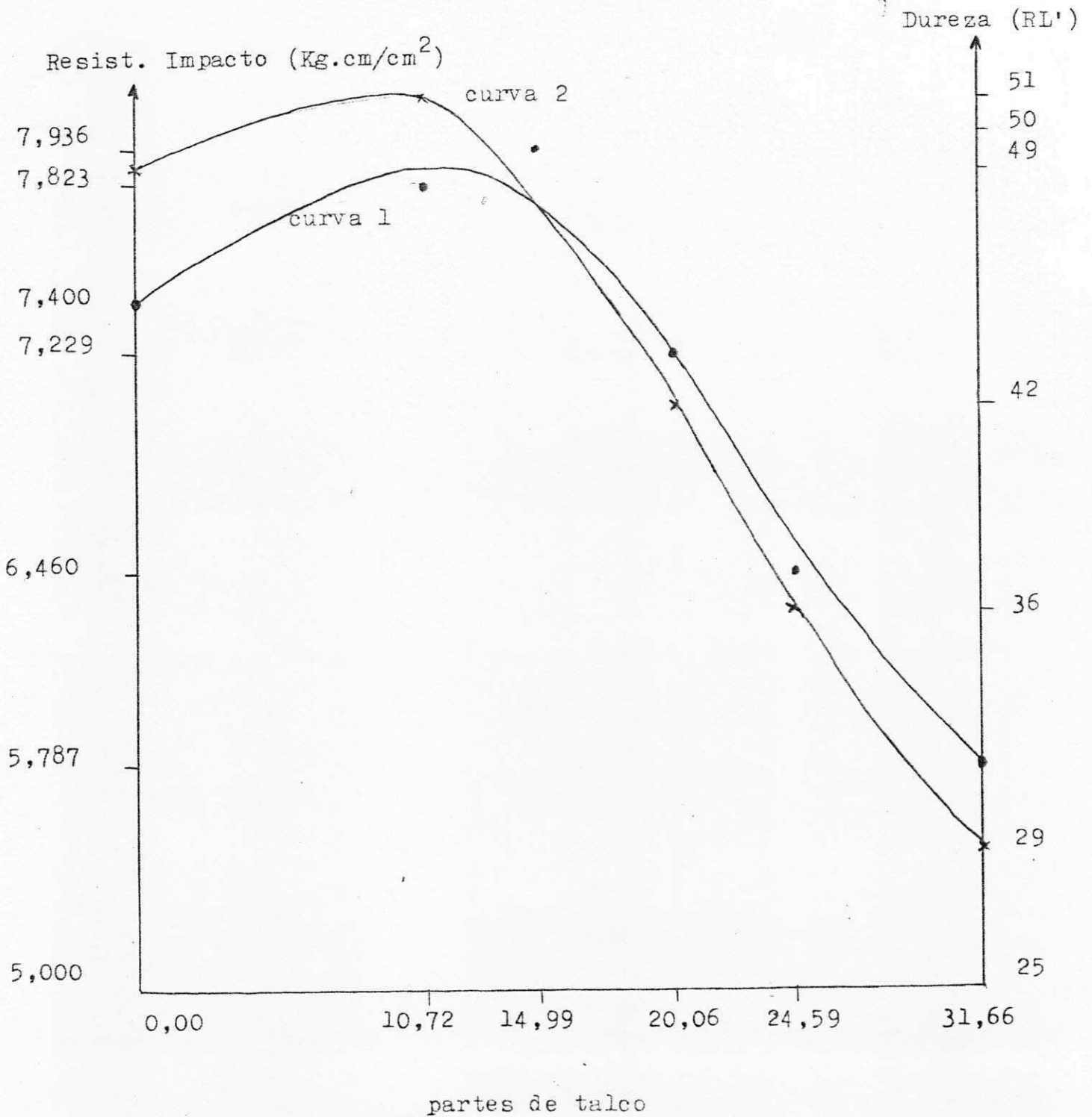
Resistência/peso ( $\text{Kg.cm/cm}^2 \cdot \text{g}$ )



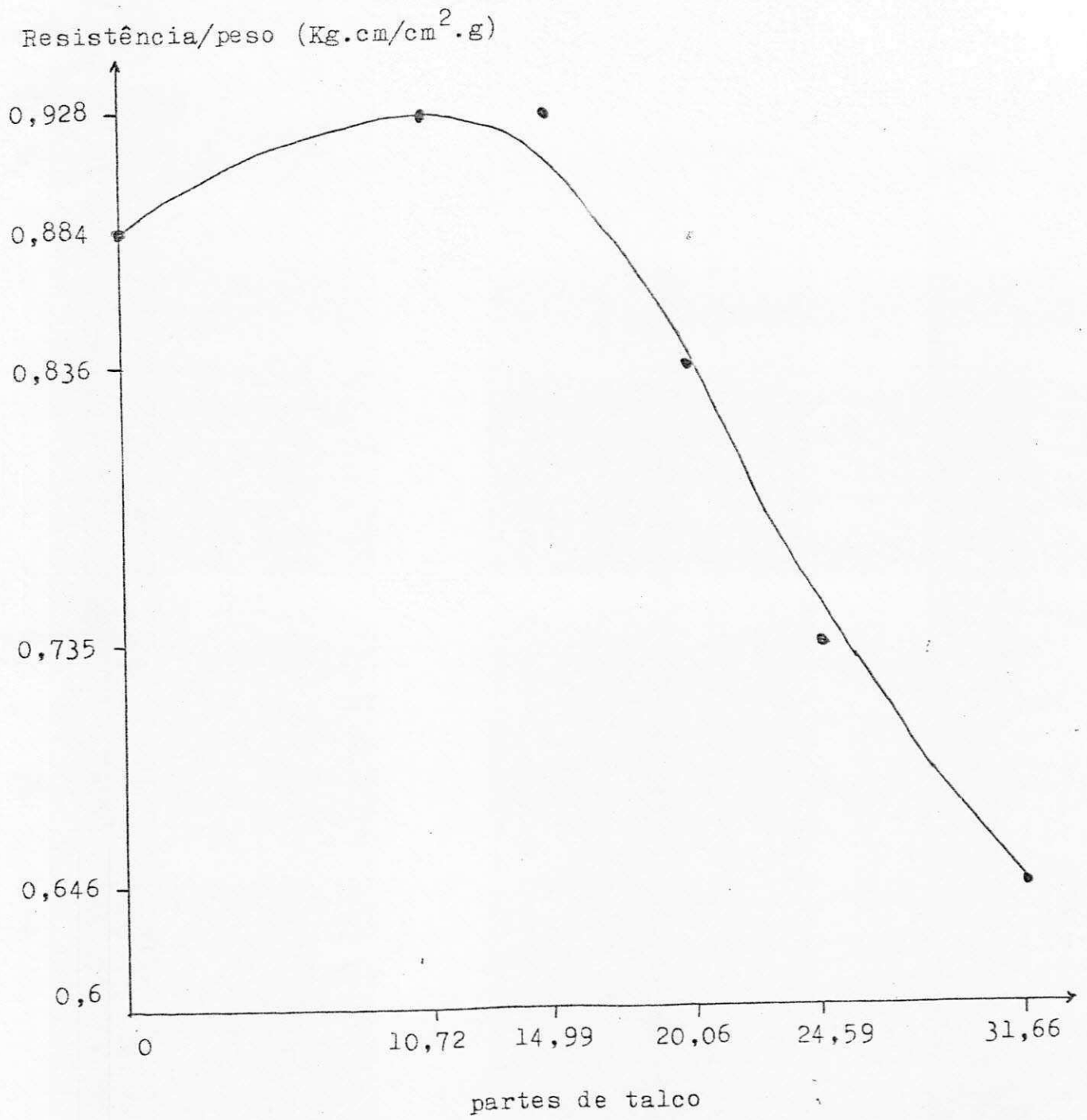
ANEXO IV

GRÁFICO III

Curva 1: resistência ao impacto x partes de talco em fiberglas (.)  
Curva 2: dureza x partes de talco (x)



ANEXO IV  
GRÁFICO IV



ANEXO V

FOTOGRAFIAS

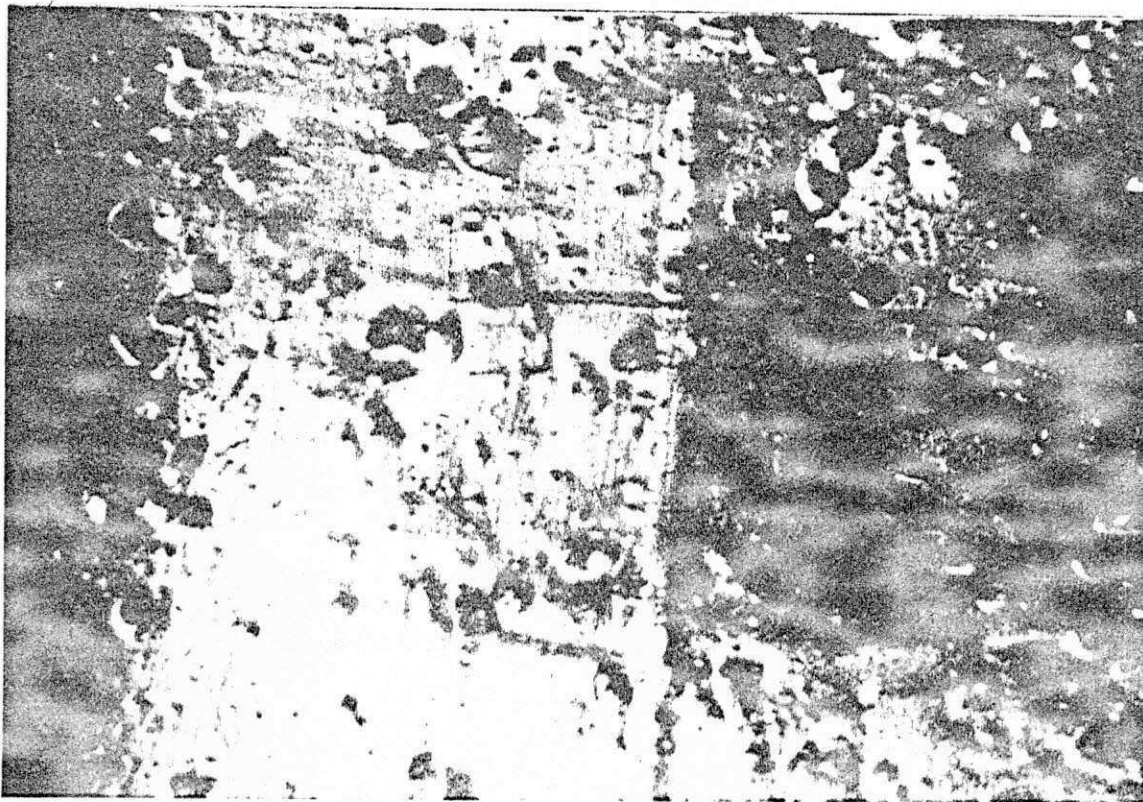


Fig.2: visão ampliada (x16) da amostra C (areia em poliéster)



Fig. 3: fibras de vidro dispostas aleatoriamente em poliéster (x16).

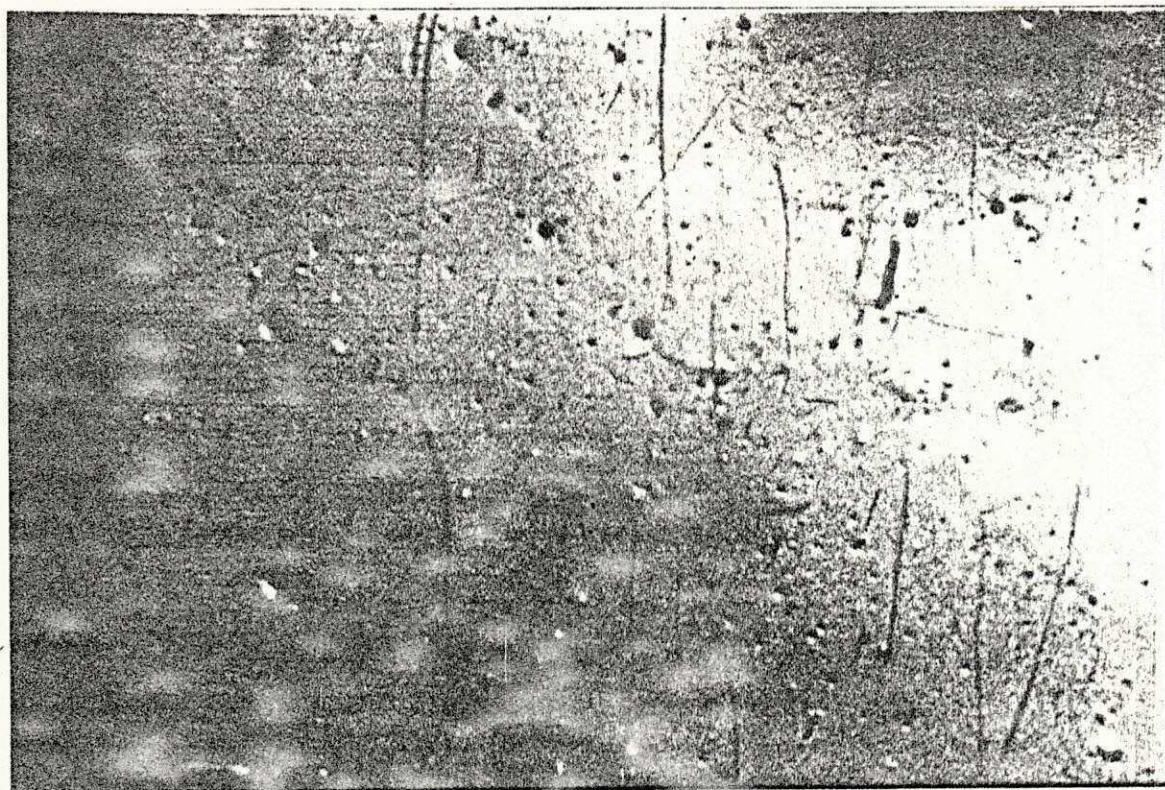


Fig. 4: poliéster termofixo sem reforço (x16). Lado esquerdo representa ponto de fratura ao impacto e os traços representam arranhões na superfície da amostra.

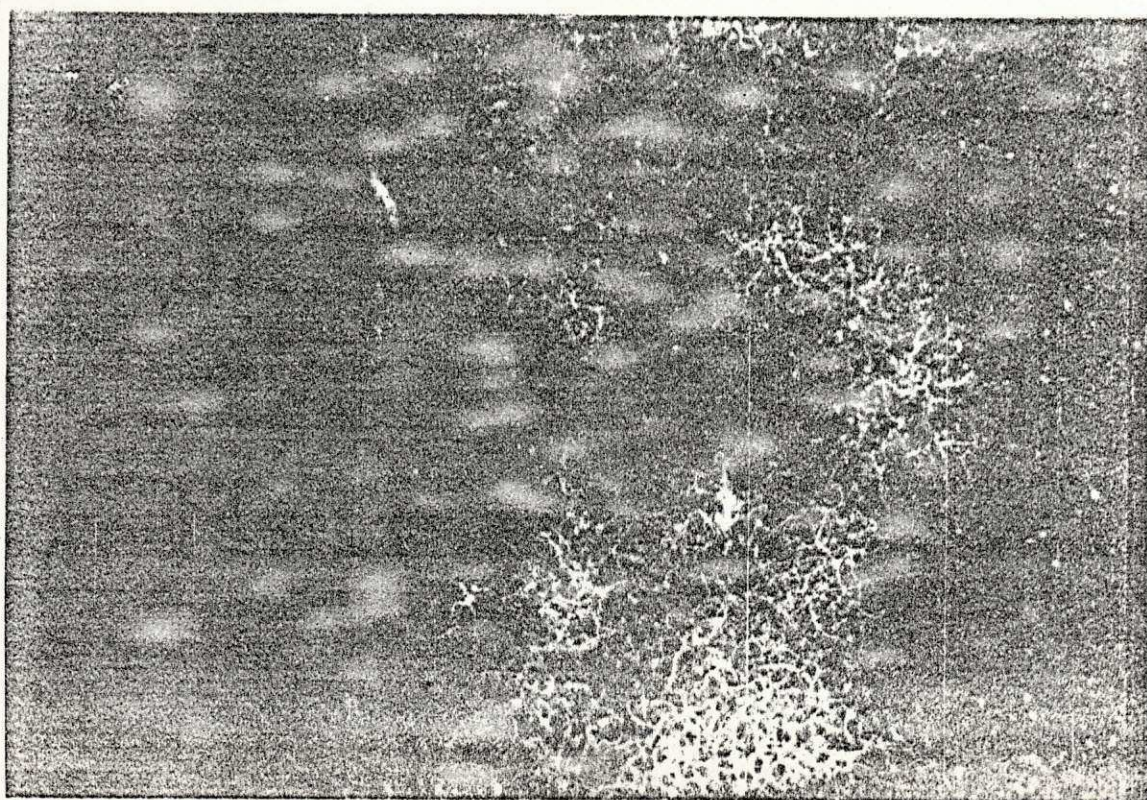


Fig. 5: poliéster com gesso ampliado 16x, com fratura na esquerda



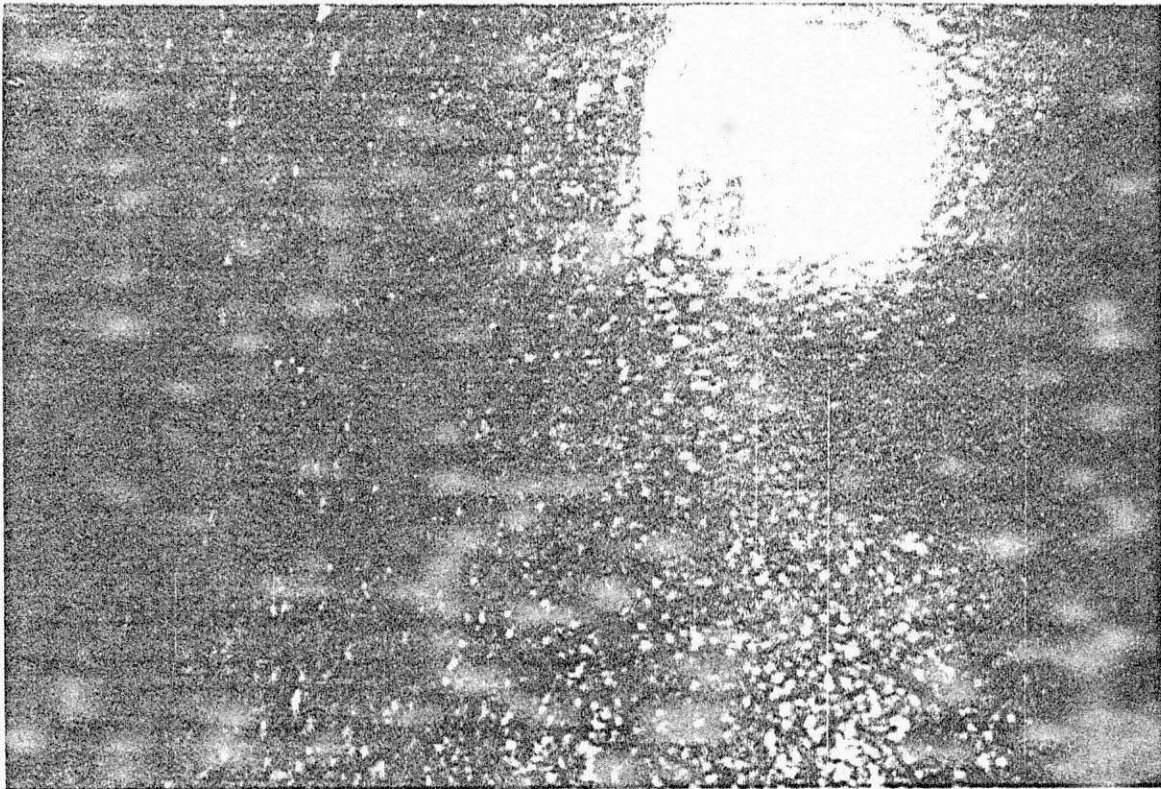


Fig. 6: amostra A7 (75 partes de talco em 100 partes de resina) com marca da perfuração da dureza (canto superior direito). x16.

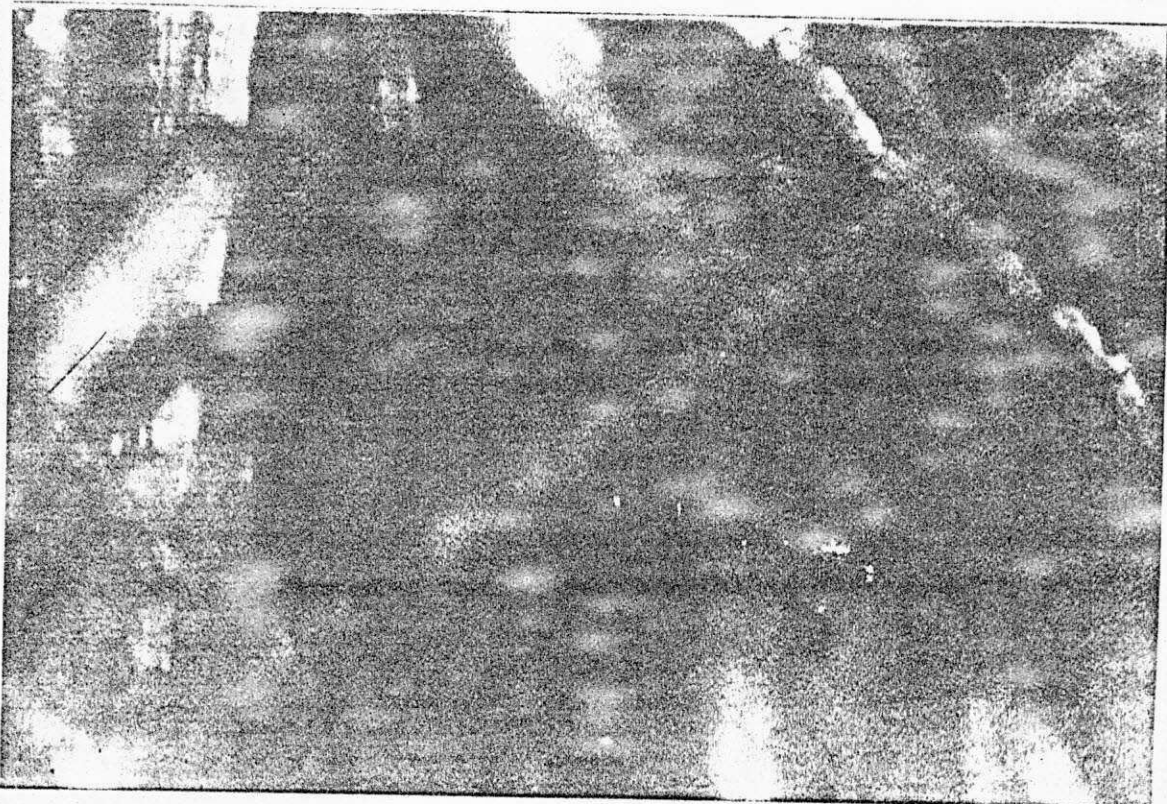


Fig. 7: Fibras de sisal envolvidas por poliéster (x16)