

UTILIZAÇÃO DE CARGAS MINERAIS COMO MODIFICADORES DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TERMOPLÁSTICOS

CARVALHO, Geovan dos Santos; POVEDA, Patrícia Negrini Siqueira

geovan.carvalho@hotmail.com ; patricianegrini@usp.br

Centro de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Oswaldo Cruz

Resumo: As cargas são utilizadas na composição de vários termoplásticos. No início, somente para diminuir o custo da produção, porém, foi notado que as cargas modificavam o comportamento esperado do polímero matriz. Devido ao seu valor, facilidade de obtenção e produção, as cargas minerais são as mais utilizadas na indústria. Os plásticos vêm substituindo materiais em diversos segmentos, e para algumas aplicações, é necessário a modificação de suas propriedades. Nesse trabalho foram reunidas informações sobre as características como tamanho, formato, dureza das cargas e sua conexão com o polímero a fim de compreender como elas atuam.

Palavras-chave: Carga; Propriedades; Mecânica; Termoplástico; Composto.

Abstract: The fillers are used in the composition of various thermoplastics. In the beginning, just to decrease the cost of production, however, it was noticed that the fillers modified the expected behavior of the matrix polymer. Due to their value, ease of obtaining and production, mineral fillers are the most used in the industry. Plastics have been replacing materials in several segments, and for some applications, it is necessary to modify their properties. In this work, information about characteristics such as size, shape, hardness of the charges and their connection with the polymer were gathered in order to understand how they work.

Keywords: Filler; Properties; Mechanics; Thermoplastic; Compound.

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros são macromoléculas em que uma (ou mais) parte denominada monômero se repete várias vezes (até centenas de milhares) formando uma longa cadeia. Podem ser de origem natural, como o látex, ou sintéticos, como o polipropileno. (SPELLNG, 2006).

Até o ano de 1918, a maioria das descobertas sobre polímeros haviam sido por acaso, mas partir de 1939, durante a segunda Guerra Mundial, houve um grande interesse no desenvolvimento de polímeros sintéticos. Estes materiais mostraram-se revolucionários por serem capazes de substituir satisfatoriamente metais e cerâmicas. Atualmente os polímeros são utilizados para diversas finalidades que incluem adesivos, tintas, espumas, entre outros, os quais são empregados nos mais diversos segmentos da indústria. Nessas utilizações as matrizes poliméricas, também chamadas de resinas, são misturadas a cargas, aditivos e concentrados de cor para atender as necessidades do mercado (VIEIRA, 2010).

As cargas são materiais sólidos, particulados orgânicos ou inorgânicos, encontrados em várias formas e tamanhos. Geralmente, são naturalmente imiscíveis no meio polimérico tanto no estado sólido, quanto fluido. O tipo de carga mais utilizada na indústria é a de origem mineral

como talco, carbonato de cálcio, mica, wollastonita entre outras. As cargas minerais são o foco desse trabalho (XANTHOS, 2010).

A princípio, as cargas eram utilizadas com o intuito de enchimento, substituindo parte do polímero, diminuindo o custo do produto, entretanto, a influência das cargas nas propriedades dos polímeros fez com que fosse reconhecida sua importância para agregar propriedades importantes ao produto. Ao se misturar com o polímero matriz, a carga pode reagir ou interagir, formando ligações de diversas intensidades que alteram o comportamento do polímero desde seu processamento até as características finais do produto. A carga pode se apresentar em diversas formas físicas como pó, flocos ou fibras, tamanhos, geometrias e purezas, podendo influenciar a matriz polimérica de uma forma ou intensidade diferente (ROTHON, 2012).

Os testes mecânicos mensuram valores de módulo para determinar rigidez e elasticidade, enquanto que resistência a tração e compressão fornecem informações sobre como os polímeros reagem a forças externas. Através destes testes é possível prever a fragilidade, dureza e resistência ao impacto do produto, além de estipular especificações para matéria prima (GANETRI, KOOHESTANI, YILMAZ, 2016).

O presente trabalho busca trazer informações sobre as propriedades das cargas e suas interações com os polímeros e correlacioná-los com dados experimentais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

2.1 Morfologia

Em um polímero termoplástico carregado, também chamado de composto, a carga se encontra adsorvida por longas cadeias poliméricas do polímero. O aumento das propriedades dos polímeros pelas cargas está diretamente relacionado com a interface entre polímero e carga, ou seja, a intensidade da força criada na interação entre a superfície da carga e a do polímero irá influenciar de que modo a carga influenciará o mesmo. Fatores relacionados a estrutura da carga como formato, tamanho e grupos funcionais na superfície influenciam a interação entre as faces por modificar a superfície química. (WYPYCH, 2010)

A superfície da carga interage com a superfície da matriz polimérica, sendo assim, a morfologia da carga é um fator crucial que determinará seu desempenho no composto. Em um projeto, deve-se discutir sobre a morfologia das partículas das cargas, mas elas se apresentam em uma ampla variedade de tamanho e geometria. Todos os aspectos relacionados abaixo têm impacto no tamanho da superfície de contato entre polímero e carga (JANCAR, J., 1999).

O tamanho da partícula é a principal propriedade da carga que influencia em todos os aspectos do seu uso. A maioria das cargas usadas em polímeros termoplásticos variam do tamanho de 10-10000nm, oriundas de processo de extração, moagem e separação (partículas de poucos nanômetros só podem ser produzidas em escala industrial por métodos sintéticos). A determinação do tamanho da partícula é dificultada pela variedade de formas e distribuição de tamanhos. Para determinar o tamanho, distribuição e formas da partícula são utilizados vários métodos de detecção (WYPYCH, 2010).

Cargas geralmente não tem um tamanho único de partícula, de fato, o que realmente acontece é uma faixa de tamanhos. Essa faixa de tamanhos corresponde a distribuição de tamanhos, identificando os tamanhos mínimos e máximos e a proporção deles em um lote. Dois lotes diferentes da mesma carga podem ter tamanhos médios iguais e distribuição de tamanhos. Por isso, a distribuição de tamanho é um aspecto a ser considerado. Apesar de cada distribuição ter seu uso, utilizar um faixa de tamanho inadequado pode não ter o efeito desejado (JANCAR, J., 1999).

Na indústria de termoplástico, o formato da partícula é também um fator importante pois tem impacto na rigidez e na temperatura de distorção do composto, assim como no seu

processamento e propriedades. Cada tipo de formato agrega propriedades ao composto. Partículas esféricas promovem uma uniforme distribuição de estresse e diminuem a viscosidade. Planas e cúbicas oferecem um reforço mecânico bom. Partículas dentriticas têm superfície de interação ampla. Flocos tem facilidade de orientação e aumentam a barreira contra líquidos e gases. As Partículas irregulares não agregam uma propriedade em especial, porém são mais fáceis e baratas de se produzir. Apesar de cada tipo de formato agregar propriedade, um tipo de formato específico não é algo que se possa obter de qualquer carga, pois o formato da partícula depende da estrutura do cristal da carga. O processo de moagem faz uma “lapidação” do mineral, por isso o formato da partícula deriva da estrutura do cristal de formação da carga. Quando o processo de moagem atende ao padrão típico do mineral em questão, é possível estimar a superfície da partícula mineral a partir da estrutura de seus cristais. A dolomita de estrutura trigonal pode ser clivada em três direção para formar uma estrutura de formato rômboico (WYPYCH, 2010).

A rugosidade na superfície da partícula não é vista como um defeito na superfície, pelo contrário, tem influência benéfica nas forças adesivas entre matriz e carga. Assim como a rugosidade, a porosidade também melhora a interação uma vez que as cadeias poliméricas entram nos poros da carga durante a mistura e intensificam a ligação (WYPYCH, 2010).

Mesmo na forma de pó seco, muitas cargas minerais apresentam ligações químicas entre si de natureza fortes e fraca, que dão origem a agregados e aglomerados, respectivamente. A maioria das estruturas de carga minerais são compostas de partículas primárias unitárias, mas em alguns casos elas apresentam a pré-forma de agregados que tem ligações fortes que não se quebram totalmente no processamento do termoplástico, somente liberam partículas menores que ajudam no reforço. Os exemplos mais conhecidos são os agregados de negro de fumo e algumas cargas com base em sílica. Os agregados de sílica formam uma rede de partículas (que são as menores partículas não divisíveis pelo processamento) devido as interações químicas e físico-químicas. Agregados podem ser mensurados pelo número de partículas primárias constituintes, tamanho das partículas primárias e/ou pelo arranjo geométrico dele. Por ter o seu tipo de formato diferente do formato da partícula primária, ocorrem casos onde o agregado tem propriedades especiais diferentes às das partículas primárias da carga (WYPYCH, 2010) (JANCAR, J., 1999).

Os aglomerados são estruturas grandes constituídas por muitas partículas primárias que ocorrem principalmente durante a produção e armazenamento. As forças atrativas de Van der Waals são as principais causas da aglomeração das partículas, ocorrendo quando essas forças atrativas são maiores que o total das forças ambientais (gravidade, inércia, etc.). O índice de aglomeração e a intensidade da força para quebrá-los varia de acordo com as cargas, sua superfície, grupos funcionais e estrutura. A área de superfície de contato dos aglomerados é menor que as partículas primárias soltas, fazendo que ocorra a diminuição da interface com a matriz polimérica e, em muitos casos, a diminuição das propriedades. Apesar de no processamento do polímero as formas aglomeradas serem mais facilmente divididas que os agregados, em muitos casos são utilizados tratamentos físicos e químicos para diminuir as forças atrativas a fim de diminuir a incidência de aglomerados (WYPYCH, 2010).

2.2 Características inerentes ao reforço mecânico

Existem diversas características comuns que as cargas têm como densidade, dureza, condutividade térmica, entre outras que ao ser adicionadas aos compostos agregam propriedades. Entretanto, abaixo estão relacionadas característica que influenciam nas propriedades mecânicas dos compostos (XANTHOS, 2010).

Diversas durezas podem ser vistas em cargas, sendo as cargas minerais mais usadas as macias de dureza entre 1-3(escala MOHS), porém há cargas de dureza de 1-9. Cargas de sílica

tem dureza entre 6-7. Mesmo uma carga macia pode aumentar ou diminuir a rigidez dependendo do tamanho da partícula e seu nível de interação com a matriz polimérica. O grafite, de natureza macia, na poliamida 66 aumenta a dureza quando em partículas pequenas (6 μm) e não tem muito efeito quando em partículas mais grosseiras (16 μm), por outro lado, no polipropileno a dureza é aumentada com partículas de 6, 16 e até 48 μm , e acontece o oposto com o poliestireno. Cargas rígidas são popularmente utilizadas quando alta resistência a abrasão são necessárias. A tendência geral é de que a dureza do composto aumente conforme a concentração da carga aumenta, a propriedade aumenta conforme os espaços entre as cadeias são preenchidos pela carga (ROTHON, 2002).

A razão de aspecto de uma carga é dada pela divisão do seu comprimento por seu diâmetro. As cargas minerais comumente utilizadas na indústria têm razão de aspecto abaixo de 10. Partículas minerais alongadas tem razão de aspecto entre 10 e 70. O talco de formato lamelar tem razão de aspecto entre 5 e 20. Um mesmo volume de carga tem diferentes razões de aspecto se seus formatos e tamanhos são diferentes. Razão de aspecto alta agrega reforço mecânico e módulo de flexão. Pode haver algumas mudanças na razão de aspecto de algumas partículas devido à quebra durante o processamento do polímero (ROTHON, 2002) (WYPYCH, 2010).

Outro fator utilizado como critério ao avaliar a escolha da carga é a área de superfície específica, onde é avaliado a área (em metros²) obtida por 1 grama da carga. Esse fator está relacionado com a área de contato para interação das partículas. Sendo que considerando a mesma massa de duas amostras de uma carga de mesma densidade e forma, aquela que apresentar uma área de superfície específica maior é a que tem uma distribuição com partículas menores. A área específica de cargas varia de $0.1\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ até mais de $100\text{m}^2.\text{g}^{-1}$. As áreas maiores de superfície específicas são de cargas com partículas muito pequenas, formadas por agregados e minerais de porosidade alta. O método de mensuração da área de superfície específica avalia toda a superfície exposta inclusive os poros e parte do volume livre dos agregados. O tratamento ao qual a carga é submetida tem influência na área de superfície específica (JANCAR, J., 1999).

2.3 Interação entre polímeros e carga

Os grupos funcionais na superfície da carga interagem com os grupos na superfície do polímero criando uma interação entre as faces, chamada interface. Quanto maior a afinidade na interface, maior a intensidade do reforço. Em termoplásticos carregados as cargas são adsorvidas pela matriz polimérica. Para um reforço adequado, grande parte da superfície da carga deve ter contato com o polímero. Para que isso ocorra, deve-se ter uma afinidade entre os componentes fazendo com que interajam majoritariamente de maneira atrativa e não repulsiva. Ao se conseguir isso, tem-se uma força de adesão da carga ao polímero. Diversas interações ocorrem entre a matriz polimérica e a carga devido as suas mais diversas estruturas e formas (XANTHOS, 2010) (JANCAR, J., 1999).

A interface entre duas superfícies é devida as forças atrativas criadas entre as ligações primárias e secundárias. As ligações primárias são ligações fortes que formadas nas reações químicas, podem ser iônicas (força entre $60-80\text{ kJ.mol}^{-1}$), covalentes ($600-1200\text{ KJ.mol}^{-1}$) e metálicas. As ligações secundárias ocorrem entre as moléculas, são as forças de Van der Waals (dipolo-dipolo, dipolo induzido e dispersão de London) que tem força de atração menor, entre $20-40\text{ kJ.mol}^{-1}$). Pontes de hidrogênio também são ligações secundárias, entretanto, tem força menor que as ligações covalentes e maior que as de Van der Waals. Além das forças atrativas, existem também as forças repulsivas dos campos de elétrons, por isso a distância e força resultante da interface é resultante do equilíbrio entre as forças atrativa e repulsivas. A espessura da interface é deduzida ou calculada indiretamente, por meio de alguns métodos de determinação. A espessura da interface entre o polipropileno e o óxido de silício é de 0,0041 microns e com o grafite é de aproximadamente 0,001 microns (JANCAR, J., 1999).

Muitos dos reforços oriundos das cargas podem ser correlacionados à força de adesão polímero/carga criada devido as forças de ligações citadas acima. A extensão da adesão pode ser afetada pelos parâmetros de adsorção e molhabilidade. A molhabilidade é diretamente influenciada pelo ângulo de contato e as energias superficiais das partes. Qualquer líquido/fluído com tensão superficial menor que o sólido irá molhá-lo efetivamente. Cargas inorgânicas não revestidas tem tensão superficial maior que 200 mJ.m⁻² enquanto poliolefinas estão abaixo de 50 mJ.m⁻² (XANTHOS, 2010).

Segundo Xanthos, “Polaridade é definida como a razão entre o componente polar da tensão superficial e a tensão superficial total” (2010, pag. 20). A maioria das cargas minerais é de natureza polar, o que a torna pouco compatível com a maioria dos polímeros que são de natureza apolar. Quando as polaridades das moléculas são diferentes as forças de repulsão são maiores que as atrativas. Por esse motivo a modificação da superfície se faz extremamente necessária para alterar a polaridade da superfície (mudando a superfície de apolar para polar e vice-versa) ou melhorá-la (aumentando, reduzindo ou alterando os grupos funcionais). Os tratamentos de superfície podem ser físicos (tratamentos térmicos ou com microondas), químicos (tratamentos com ácidos e silanos) ou de revestimento (a carga é revestida por uma camada de polímero ou de moléculas de baixo peso molecular). Para se obter uma propriedade específica deve-se utilizar na maioria das vezes um tratamento específico a fim de adicionar ou modificar os grupos funcionais adequados para a interação desejada (JANCAR, J., 1999) (WYPYCH, 2010).

Diversos métodos são usados para modificar a superfície da carga, mas eles podem ser divididos em dois grupos. O primeiro almeja o aumento dos grupos funcionais na superfície da carga e o segundo tem o objetivo de reagir com os grupos funcionais já existentes a fim de modificá-los. Após ser modificada por um método, a carga se torna reativa a outros grupos funcionais ou muda seu caráter de hidrofóbica para hidrofílica. Muitas das matrizes poliméricas não interagem com a superfície da carga devido a polaridade da molécula, entretanto, se a carga for revestida com uma camada moderada de ácido graxo a interação começa a ocorrer, pois a matriz interage com a carga através das cadeias do ácido graxo (WYPYCH, 2010).

Para que o tratamento seja feito, deve-se ter grupos funcionais disponíveis na carga. Quando a carga não tem, como é o exemplo do carbonato de cálcio e o sulfato de bário (de natureza inerte), elas são revestidas e/ou passam por uma série de processos químicos e físicos a fim de criar grupos reativos (WYPYCH, 2010).

Silanos, titanatos e zirconatos atuam como agentes de acoplamento fazendo uma ponte entre os dois componentes. Silanos tem um importante papel na modificação de superfícies de cargas minerais, sendo utilizado na modificação da Mica, Wollastonita, Caulim, entre outras. Na figura 1 é mostrada a reação do silano monomérico e a carga. Primeiro, há uma interação de ponte de hidrogênio entre o silano e os grupos funcionais na superfície da carga, depois, ao se retirar a água, é formada uma ligação covalente entre eles (JANCAR, J., 1999).

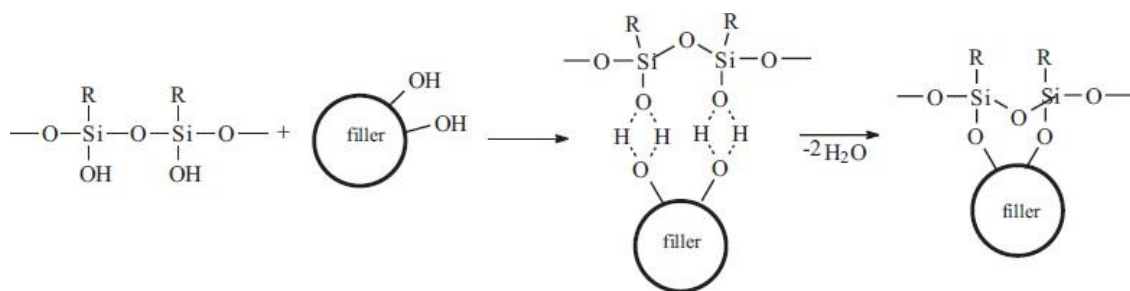


Figura 1: Mecanismo de revestimento de carga com silano. Fonte: JANCAR, J., 1999

Estudos feitos para determinar o peso molecular do silano na superfície da carga (após ela ter sido lavada com tetrahidrofurano) comprovaram que as estruturas com peso molecular maior são obtidas quando o slurry da carga tem pH neutro. Entretanto, é necessário um pH entre 4-5 para estabilizar a forma monomérica. As ligações covalentes formadas no segundo processo da figura 1 podem ser quebradas alterando o equilíbrio da reação ao se adicionar água, tornando o processo de acoplamento reversível (WYPYCH, 2010).

O tratamento de superfície não é o único fator que aumenta o reforço potencial da carga, o tamanho das partículas também acarreta um aumento na oferta de grupos funcionais. Um mesmo volume de carga pode ter mais grupos funcionais disponíveis se houver mais partículas soltas, pois cada partícula tem uma área de superfície. Foi relatado em vários estudos que uma má distribuição no tamanho das partículas diminui sua área de superfície e, por conseguinte, a intensidade das propriedades (JANCAR, J., 1999).

O cuidado com o meio onde a carga se encontra é muito importante. O pH do meio deve receber atenção, pois em um pH abaixo de 7 ocorrerá a desprotonação dos grupos hidroxilas e outros grupos funcionais ativos na superfície da carga. O caulim quando está em um pH ácido ocorre a desprotonação do grupo hidróxi causando a perda de sítios reativos. Parte dos grupos funcionais são hidrofílicos e isso causa um aumento no fator de absorvância de água, e isso pode ser um aspecto que reduz as propriedades do produto. Ainda assim, a umidade na carga pode ser um parâmetro importante agindo como controlador da concentração de grupos funcionais. Por exemplo, o ácido silícico hidratado tem mais grupos funcionais que sua versão anidra (WYPYCH, 2010).

As interações entre carga e polímero afetam também a cristalinidade do polímero, sobre isso JANCAR, J. dizem:

“A estrutura dos polímeros cristalinos pode ser significativamente modificada pela introdução de cargas. Todos os aspectos da estrutura mudam no preenchimento, no tamanho de cristalitos e esferulitos, bem como na cristalinidade, são alterados como um efeito da nucleação (JANCAR, J., 1999, pág. 113).

O aumento da cristalinidade faz com que a rigidez do composto aumente.

2.4 A carga nos testes mecânicos de polímeros carregados

As propriedades mecânicas são as principais características solicitadas na maioria dos projetos termoplásticos. São exercidas forças externas sobre o objeto e é avaliado seu comportamento. Os principais testes avaliam o módulo (caracterizando a rigidez e elasticidade do material), resistência à compressão, a tração e ao impacto (XANTHOS, 2010) (WYPYCH, 2010).

O modo como a carga modificará as propriedades dos polímeros depende das características próprias dela como tamanho, forma, dureza etc.; e seu tipo e intensidade de interação com o polímero matriz. É aconselhável selecionar bem a carga em relação ao polímero matriz e reforço desejado (XANTHOS, 2010).

Ao ser exercido um estresse sobre o composto, a matriz polimérica transfere o estresse para a carga. A maneira que esse estresse é distribuído ao longo da carga depende do formato e tamanho da carga, e, conseqüentemente, sua razão de aspecto. Em cargas com formato esférico (razão de aspecto de 1) a distribuição de tensão é uniforme, em formato de flocos ou lamelares o estresse é transferido a partir do centro da carga, seu ponto de tensão máximo, e reduz até as extremidades. Cargas rígidas podem quebrar no processamento, diminuindo sua razão de aspecto (XANTHOS, 2010).

Para cargas não esféricas, como lamelares e fibrosas, o alinhamento da carga dentro do composto torna-se um fator importante, pois afeta o modo como a tensão é distribuída ao longo do composto. Por exemplo, em um sistema carregado com cargas floculares com boa adesão, a

maior resistência é obtida quando a tensão é aplicada paralela à superfície da carga (XANTHOS, 2010).

O módulo de elasticidade de compostos carregados com cargas lamelares ou flocos é influenciado pela concentração da carga, orientação e sua razão de aspecto. Compostos carregados com cargas particuladas (de razão de aspecto próxima a 1) tem seu módulo afetado primeiramente pela razão entre o módulo das duas faces e a fração da carga, mas também pela geometria, faixa de tamanho e grau de aglomeração. É esperado que o módulo de elasticidade de cargas particuladas seja menor do que em lamelares, ou seja que serão menos rígidas. A princípio algumas teorias sugeriram que o módulo elástico dependia somente do módulo relativo da carga e polímero, seus volumes fracionais e geometrias. Entretanto, experimentos realizados provaram que o tamanho da partícula e sua distribuição surtiam efeito. Partículas menores e faixas baixas fornecem aumento ao módulo devido ao aumento da área de superfície específica e energia superficial (XANTHOS, 2010).

Em seu estudo para o reforço mecânico do polipropileno, JILKÉN, MALHAMMAR E SELDEN utilizaram para os testes a Dolomita de estrutura trigonal e que fornece reforço tridimensional, a Mica de estrutura lamelar fornecendo reforço bidirecional e a wollastonita com sua estrutura fibrosa fornecendo reforço unidirecional. As cargas tiveram sua superfície modificada por ácido esteárico e adicionadas a matriz para os testes. Podemos ver na figura 2, que os módulos elásticos de todas as cargas aumentaram conforme sua concentração subia, assim o composto tornou-se mais rígido (2018).

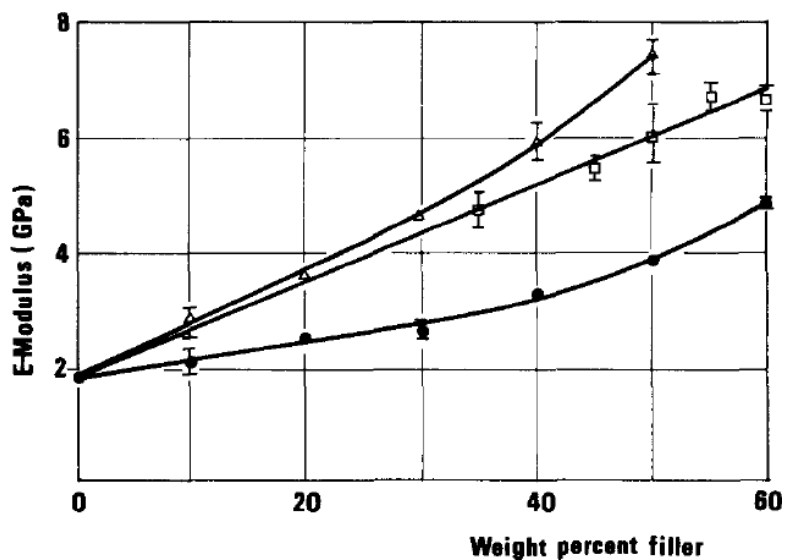


Figura 2: Módulo de tensão x fração de massa da carga para wollastonita (□), mica (Δ) e dolomite (●). Velocidade do teste 50 mm/min. Fonte: JILKÉN, MALHAMMAR, SELDEN, 1991

Segundo GEORGE WYPYCH, “O alongamento é geralmente inversamente proporcional à resistência à tração, o que significa que o aumento da resistência à tração do material geralmente contribui para uma diminuição no alongamento” (2010, p. 400).

A resistência flexural mensura resistência ao dobramento do material até que se rompa. É um teste utilizado também para medir a rigidez dos materiais. Os compostos têm sua resistência flexural influenciadas diretamente somente pela razão de aspecto da carga envolvida (WYPYCH, 2010).

A resistência ao impacto do composto pode ser melhorada por cargas. Novamente, a razão de aspecto e tamanho tem impacto sobre esse fator. Apesar do tamanho da partícula ter efeito

sobre o reforço, sua composição tem pouco efeito. Cargas mais duras, o aumento na cristalinidade devido a presença das cargas e o aumento da sua concentração aumentam a resistência ao impacto. No teste de resistência ao impacto o composto tem que dissipar a energia sem criar rachaduras. Materiais com alta resistência absorvem a energia e distribuem ao longo do seu volume. Na resistência ao impacto a adesão entre polímero e carga tem efeito negativo no valor, por que com aderência boa as cadeias poliméricas ficam mais restritas o que leva a uma fragilização do material (WYPYCH, 2010) (XANTHOS, 2010).

Compostos de madeira plástica ou WPC (*Wood Plastic Composite*), são uma combinação de termoplásticos e madeira. Produto com grande mercado em expansão devido as suas vantagens, porém seu preço elevado devido ao alto custo do polímero prejudica sua popularização. Como um meio de diminuir o custo, BAKHTIAR et al. desenvolveram um estudo utilizando polímero reciclado para produzir o composto, chamado de WrPC (*Wood recycled Plastic Composite*). Entretanto, o WrPC tem resistência ao impacto menor que o WPC devido às quebras de cadeia no polímero reciclado, para melhorar esse parâmetro eles utilizaram cargas minerais para dar um reforço. Utilizaram o grafite (denominado de G/WrPC), a Mica (M/WrPC) e o Talco (T/WrPC) para melhorar a resistência ao impacto do WrPC e deixa-lo com resultado comparável ao do WPC. Na figura 3 podemos ver resultados do WrPC não carregado e a melhora na resistência ao impacto no WrPC carregado (BAKHTIAR et al. ,2018).

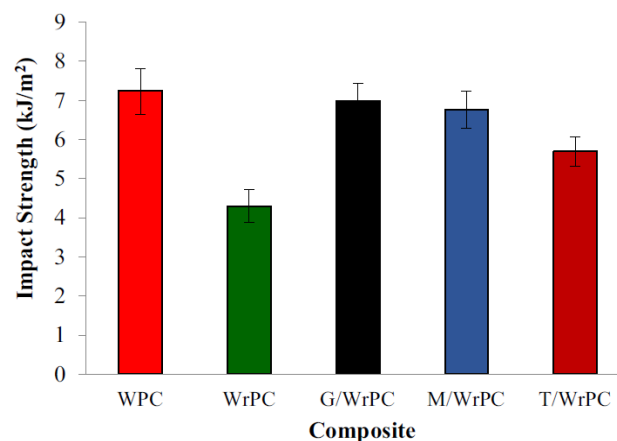


Figura 3: Comparativo entre força de impacto para composto de madeira plástica (WPC), a versão com plástico reciclado (WrPC), e as versões carregadas com grafita (G/WrPC), mica (M/WrPC) e talco (T/WrPC). Fonte: BAKHTIAR et al. 2018

3 CONCLUSÃO

Ao final do presente trabalho concluiu-se que as cargas podem atuar como reforço das propriedades mecânicas. A revisão literária mostrou que mesmo separados, os aspectos da carga têm influência no seu potencial de reforço. Entretanto, para escolher a carga mais adequada para sua finalidade todos os aspectos devem ser considerados entre o polímero e carga para determinar a formulação correta. Mesmo que cada formato de carga tenha um modo diferente de interagir com a matriz e reforça-la, a escolha adequada pode potencializar um reforço que a carga naturalmente já apresenta.

Os resultados dos experimentos relatados no trabalho corroboram com a literatura.

A interação de interfaces se mostra um fator muito importante, principalmente nos testes de tração, uma vez que a tensão é transferida da carga para a matriz e força as interações criadas, sendo que quando essa ligação é boa acontece um aumento na rigidez do composto. Já nos

testes de resistência ao impacto, o formato e razão de aspecto das cargas desempenham um papel fundamental reduzindo a propagação da fratura.

4 REFERENCIAS

BAKHTIAR, N. B. A. et al. *Effect of mineral fillers on mechanical, thermal and morphological properties of kenaf recycled polyethylene wood plastic composite*. Springer Nature, 27 de setembro de 2018 <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1356-2>

EBEWELE, R. O. *Polymer science and technology* . 1. ed. Florida: CRC Press LLC, 2000.

ESSABIR, H. et al. *A comparison between bio- and mineral calcium carbonate on the properties of polypropylene composites* . Elsevier, 5 de janeiro de 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.199>

GANETRI, I.; KOOHESTANI, B.; YILMAZ, E. *Effects of silane modified minerals on mechanical, Microstructural, thermal, and rheological properties of wood plastic composites*. Elsevier, 11 de dezembro de 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.12.021> acesso em 13/11/2019

JANCAR, J. *Mineral Fillers in Thermoplastics I – Raw Materials and Processing*. Berlin: Springer, 1999.

JILKÉN, L.; MALHAMMAR, G.; SELDÉN, R.; *The effect of mineral fillers on impact and tensile properties of polypropylene*. Elsevier, 26 de março de 1991 [https://doi.org/10.1016/0142-9418\(91\)90011-L](https://doi.org/10.1016/0142-9418(91)90011-L)

ROTHON, R. N. *Particulate Fillers for Polymers*. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2002.

SPERLING, L.H. *Introduction to physical polymer science*. 4. Ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006.

VIEIRA, M. M. G. *Desenvolvimento de compostos poliméricos biodegradáveis modificados com cargas e fibras naturais vegetais*. 2010. 198 p. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

WYPYCH, G. *Handbook of fillers*. 2 ed. New York: Plastics Design Library, 2010

XANTHOS, M. *Functional Fillers for Plastics* . 2. ed. Weinheim: Wiley-vch Verlag GmbH & Co. KgaA, 2010.