

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

FELIPE CAMPOS ALMEIDA

**PROPRIEDADES DO COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM
TALCO DE CARGA MINERAL NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

LORENA DEZEMBRO,

2020

FELIPE CAMPOS ALMEIDA

**PROPRIEDADES DO COMPÓSITO DE POLIPROPILENO COM
TALCO DE CARGA MINERAL NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA** Trabalho
apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Clodoaldo Saron

LORENA

DEZEMBRO, 2020

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Clodoaldo Saron pelo auxílio e oportunidades de ensinamentos durante a elaboração do trabalho.

À EEL pelos anos incríveis de aprendizados e amizades. Incluindo todos os setores e pessoas que tiveram parte fundamental na minha formação.

À todos os amigos que fizeram parte desta jornada que tornou ela mais fácil e prazerosa. Em especial meus amigos da república Dominacama, onde aprendi muito e me tornei uma pessoa um pouco melhor.

Aos familiares que sempre me apoiaram em tudo na minha vida.

RESUMO

Ao longo dos anos a necessidade de produtos mais eficientes e sustentáveis tem aumentando. Isso deve muito pelo contexto de mundo atual, onde os consumidores estão mais exigentes, quanto ao produto e o impacto este tem no meio ambiente. Com a evolução da engenharia novas soluções foram surgindo ao longo do tempo, seja descobrindo novos meios de produção, seja aprimorando o funcionamento do produto ou de materiais utilizados para sua fabricação. Logo, os materiais poliméricos têm se destacados nos últimos anos, devido a sua liberdade de design, baixo peso, baixo custo.

No entanto, uso dos polímeros tem limitações, pois dependendo da solicitação de aplicação, como em temperaturas elevadas e sob esforço mecânico intenso, o material polimérico em sua constituição primária não poderá atender. Nesse contexto, é que os compósitos poliméricos se apresentam como solução para suprir determinadas necessidades. A incorporação de cargas minerais aos poliméricos leva à formação de compósitos que podem apresentar melhor desempenho de propriedades mecânicas e térmicas.

Este trabalho, teve como objetivo avaliar mudanças de propriedades que podem ocorrer com o aumento do teor da carga mineral talco em compósitos com matriz de polipropileno (PP) destinado para uso na indústria automotiva. Foram avaliadas as propriedades de resistência ao impacto, índice de fluidez e comportamento termogravimétrico de compósitos PP/talco com teores de talco variando de 0 a 40%. Verificou-se um aumento de resistência ao impacto para os compósitos com teores de talco em até 25%, enquanto o índice de fluidez e a decomposição térmica do material não foram significativamente afetados pela presença da carga mineral. O uso de talco como carga mineral representa vantagens em termos de melhorias de propriedades do material, bem como de redução de custo do produto.

Palavras-chaves: polipropileno, talco, compósitos, indústria automotiva

ABSTRACT

Over the years the need for more efficient and sustainable products has increased. This is due to the context of today's world, where consumers are more demanding, as to the product and the impact it has on the environment. With the evolution of engineering new solutions have emerged over time, either discovering new means of production, or improving the operation of the product or materials used for its manufacture. Therefore, polymeric materials have stood out in recent years due to their design freedom, low weight, low cost.

However, the use of polymers has limitations, because depending on the application request, such as at high temperatures and under intense mechanical effort, the polymeric material in its primary constitution will not be able to meet. In this context, polymercomposites are presented as a solution to meet certain needs. The incorporation of mineral fillers to polymeric ones leads to the formation of composites that may present better performance of mechanical and thermal properties.

This work aimed to evaluate changes in properties that may occur with the increase of the content of talc mineral load in composites with polypropylene matrix (PP) intended for use in the automotive industry. The properties of impact resistance, fluidity index and thermogravimetric behavior of PP/talc composites with talc contentranging from 0 to 40% were evaluated. There was an increase in impact resistance for composites with talc contents of up to 25%, while the fluidity index and thermal decomposition of the material were not significantly affected by the presence of mineral load. The use of talc as a mineral load represents advantages in terms of improvements in material properties as well as product cost reduction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 : APLICAÇÕES DE COMPÓSITOS EM COMPONENTES AUTOMOTIVOS	2
FIGURA 2 : TIPOS DE CADEIA POLIMÉRICAS: TIPOS DE CADEIA POLIMÉRICAS: FIGURA A) CADEIA LINEAR; B) CADEIA NÃO LINEAR; C) CADEIA NÃO LINEAR; D) CADEIRA RETICULADA; E) CADEIA NÃO LINEAR; F) CADEIA NÃO LINEAR; G) CADEIA NÃO LINEAR	4
FIGURA 3 : MOLÉCULA DE POLIPROPILENO	6
FIGURA 4 : ENSAIO DE IMPACTO	9
FIGURA 5 : GRÁFICO DE FLUIDEZ	10
FIGURA 6 : TERMOGRAMA TGA	11
FIGURA 7 : CORPO DE PROVA UTILIZADO	13
FIGURA 8 : EQUIPAMENTO UTILIZADO NO ENSAIO DE IMPACTO	13
FIGURA 9 : AMOSTRA NO FORMATO DE GRÂNULOS	14
FIGURA 10 : RESULTADOS DO ENSAIO DE IMPACTO	16
FIGURA 11 : RESULTADO DO ÍNDICE DE FLUIDEZ	17
FIGURA 12 : TERMOGRAMA	18

Sumário

1 Introdução.....	1
2 Revisão Bibliográfica.....	3
2.1 Polímeros.....	3

2.1.1 Polipropileno	5
2.2 Compósitos poliméricos	6
2.2.1 Cargas minerais e compósitos poliméricos	6
2.2.2 Talco.....	7
2.2.3 Compósitos de polipropileno com talco de carga.....	7
2.3 Ensaio de impacto	8
2.4 Ensaio de índice de fluidez (MFI)	9
2.5 Análise Termogravimétrica (TGA).....	10
3 Materiais e métodos	11
3.1 Materiais	11
3.2 Ensaio de Impacto.....	12
3.3 Ensaio de índice de fluidez.....	12
3.4 Análise Termogravimétrica	13
4 Resultados e discussão	13
4.1 Ensaio de impacto Izod	13
4.2 Índice de Fluidez.....	15
4.3 Análise termogravimétrica (TGA).....	16
5 Conclusões	18
Referências.....	19

1 Introdução

Os materiais poliméricos têm se destacados nos últimos anos devidos à sua liberdade de design, fator que tem sua relevância em projetos, e em suas propriedades como baixo peso, característica que traz benefícios. No entanto os materiais poliméricos quando comparados com outros materiais como os metais possuem uma baixa resistência mecânica e propriedades térmicas não tão atrativas para determinadas aplicações, algo que pode limitar seu uso em alguns projetos que necessitam de materiais mais robustos em termos de propriedades devido à necessidade do projeto. Desta forma, para conseguir melhorar essas propriedades, os compósitos polímeros vêm ganhando espaço como uma solução. Ao adicionar carga a um polímero, criando assim um compósito, as propriedades físicas e químicas do material são alteradas, tais como cor, rigidez, contração, resistência à tração, resistência ao impacto, módulo de Young entre outras.

Logo, o polipropileno, termoplástico amplamente usado para diversas finalidades devido ao seu baixo custo de produção, boa processabilidade, boa resistência química e baixa densidade, porém com baixa resistência a impacto principalmente a temperaturas inferiores aos zeros graus, tem sido usado como matriz de compósitos na indústria automobilística trazendo assim diversos benefícios como diminuição no custo de produção de autopeças, melhorando a eficiência do automóvel.

Na indústria automotiva, a substituição de materiais tradicionais como ligas metálicas por compósitos poliméricos de alta tecnologia está criando uma série de vantagens para o produto, o automóvel, como diminuição do peso total do carro, o aumento da segurança dos passageiros e diminuição do número de manutenções. Além disso, tem a diminuição do custo de produção, o que é vantajoso tanto para o consumidor quanto para a própria indústria, uma vez que os compósitos poliméricos têm um menor custo frente aos materiais tradicionalmente usados na fabricação. Além de todos os benefícios citados, os compósitos poliméricos estão relacionados com uma economia verde. Estima-se que com a diminuição de 10% da massa total do carro, isso representaria uma redução de 6% a 8% no consumo de combustível, o que tornaria o carro mais sustentável e mais eficiente em termos de potência. Desta forma, a necessidade de motores maiores com uma potência maior deixaria de ser algo de extrema necessidade diminuindo assim ainda mais o gasto energético do veículo(GUTIÉRREZ et al., 2014).

A Figura 1 mostra alguns exemplos de componentes automotivos fabricados com polímero reforçados com fibras. Dentre os exemplos atuais da aplicação de compósitos pode-se destacar a

fabricação do chassis, suportes de fixação e célula habitáculo para passageiros como no Porsche carrera GT e Mercedes-Benz SLR McLaren feita de compósito polimérico com fibra de carbono(GUTIÉRREZ et al., 2014).

Figura 1 : Aplicações de compósitos em componentes automotivos



Um exemplo mais recente de como os compósitos poliméricos estão sendo amplamente usados na indústria automotiva é o carro da Renault Zoe, o qual possui uma carroceria leve feita de fibra de carbono e incluindo a bateria, que pesa cerca de 450kg. A massa total do carro é de apenas 1.400kg (“Renault reveals Zoe e-sport electric vehicle concept at Geneva | Engine + Powertrain Technology International”, [s.d.]) tabela 1 ilustra algumas vantagens e as desvantagens do uso de compósitos na indústria automobilística.

Tabela 1 : Vantagens e desvantagens do uso de compósitos. (Fonte: HEMAIS, 2003a)

Vantagens	Desvantagens
Redução de peso	Deterioração por ação térmica e ambiental
Redução da emissão de CO ₂	Inflamabilidade
Redução de custos	Baixa resistência ao impacto
Redução do tempo de produção	Deformação permanente elevada
Menores investimentos em manufatura	Dificuldade de adesão de película de tinta

Aumento da resistência à corrosão	Facilidade de manchas permanentes
Possibilidade de design mais modernos Formatos mais complexos	Baixa estabilidade dimensional
Excelente processabilidade	
Veículos mais silenciosos	
Melhor uso de espaço	
Aumento de segurança	

Este trabalho teve como objetivo averiguar as propriedades do compósito de polipropileno com talco como carga mineral, variando a porcentagem de talco na amostra, para assim encontrar uma proporção ótima para o uso do compósito.

2 Revisão Bibliográfica

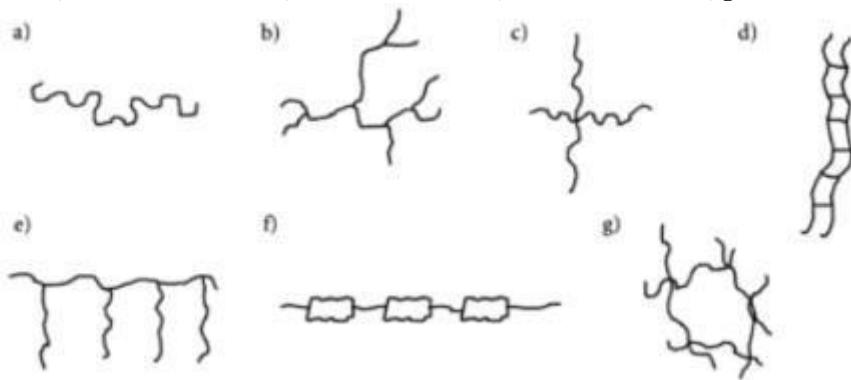
2.1 Polímeros

Segundo Canevarolo (2002, p.16) a palavra polímero como terminologia originaria grega significa poli (muitos) e mero (unidade de repetição), ou seja, é uma cadeia formada por unidades químicas repetidas, chamadas de meros, sendo que os polímeros podem ser naturais ou sintéticos com massa molar variando na ordem de 10^4 a 10^6 g/mol e ainda podem ser orgânicos ou inorgânicos, sendo os orgânicos mais usados atualmente como filmes para embalar alimentos, fibras e na indústria de uma maneira geral, destacando a indústria automotiva.

Sendo assim pode-se dividir os polímeros em 3 grandes classes que são os termoplásticos, elastômeros e termorrígidos. Essa classificação em classes se deve muito a algumas características particulares de cada polímero, como o tipo de monômero que compõe a cadeia polimérica, o número médio de meros e do tipo de ligação que existe entre os meros. Além disso, as cadeias podem variar de forma, isso devido ao tipo de ligação que existe entre as unidades repetidas e à disposição dos meros ao longo da cadeia. Caso os meros sejam ligados de maneira que fiquem em

linha, a cadeia é nomeada de linear (Figura 2-a), caso os meros estejam ligados perpendicularmente à cadeia principal, onde estão os maiores números de meros, são chamados de cadeia ramificada ou não linear (Figura 2-b,2-c,2-e). Caso são conectados de maneira tridimensional são considerados reticulados ou de ligações cruzadas (Figura 2-d). Essa disposição de cadeia influencia diretamente nas propriedades mecânica, térmicas e químicas dos polímeros.

Figura 2 : Tipos de cadeia poliméricas: Tipos de cadeia poliméricas: figura a) cadeia linear; b) cadeia não linear; c) cadeia não linear; d) cadeira reticulada; e) cadeia não linear; f) cadeia não linear; g) cadeia não linear



Logo, todas essas características citadas influenciam diretamente nas propriedades físicas e químicas dos polímeros.

Os termoplásticos são polímeros que possuem a capacidade de amolecer e fluir quando sujeitos a um aumento de temperatura e pressão e ao suprimir tais condições o polímero solidifica na forma do molde em que se encontra. No entanto, se o polímero for submetido às mesmas condições de pressão e temperatura, ele amolece e flui novamente, podendo assim assumir outra forma, ou seja, essa aplicação é reversível, tornando essa classe específica de polímero reciclável. Alguns exemplos de termoplásticos são o polietileno, poliestireno e poliamida.(CANEVAROLO JR., 2002)

Os termorrigidos são polímeros que ao serem conformados não podem sofrer o processo novamente, ou seja, eles são infusíveis e insolúveis. Exemplos de polímeros dessa classe são o baquelite, a resina epóxi.(CANEVAROLO JR., 2002)

Já os elastômeros são polímeros que conseguem se deformar no mínimo duas vezes o seu comprimento inicial e retornar ao seu estado inicial sem haver uma perda significativa de

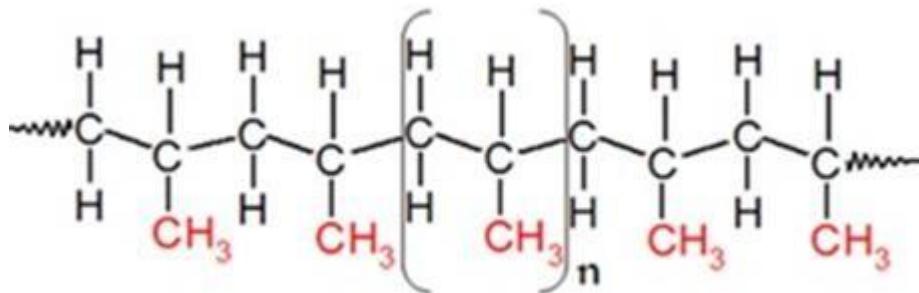
propriedades; os elastômeros possuem cadeias flexíveis ligadas umas às outras por meio de reticulações, normalmente químicas, as quais são geradas em um processo conhecido por vulcanização. Exemplo de elastômero são a borracha natural e o copolímero de estirenobutadieno (SBR). (CANEVAROLO JR., 2002)

Outras classes de polímeros podem também ser definidas, como é o caso das fibras. As fibras, que são termoplásticos que têm suas cadeias orientadas em um sentido específico durante seu processamento, conferindo maior resistência mecânica no sentido longitudinal e possibilitando o uso desses polímeros na forma de fios finos (CANEVAROLO JR., 2002)

2.1.1 Polipropileno

O polipropileno é um polímero termoplástico originário de monômeros de hidrocarbonetos alifáticos insaturados contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa a partir do petróleo, precisamente no craqueamento da nafta. Este amplamente utilizado por causa das suas características como boa processabilidade, baixo custo de produção, boa resistência química, boa estabilidade dimensional, flexibilidade, durabilidade, baixos custos e sua baixa densidade massa específica, o que o torna um material leve. O polipropileno está entre os termoplásticos mais baratos e disponíveis no mercado, sendo utilizado na indústria automotiva em componentes como bandeja traseira, caixa de calefação, caixa de cinto de segurança, caixa do retrovisor interno, caixa elétrica central, calotas, cobertura do volante, cobertura dos amortecedores, conduto de aspiração de ar, corpo do filtro de ar, depósito do fluido de freio, grades de circulação de ar, painéis das portas, para-choque, porta-luvas, revestimento do marco da porta, revestimento do teto. (HEMAIS, 2003a)

Figura 3 : Molécula de polipropileno



2.2 Compósitos poliméricos

Constantemente tem-se procurado maneiras de aumentar a eficiência de determinados produtos. Como exemplo, tem havido ao longo dos anos esforços para tornar os automóveis mais eficientes, visando uma redução no consumo de combustível e melhorando características como conforto e segurança. Dessa forma, os compósitos poliméricos vêm desempenhando um bom papel nessa questão, pois vêm substituindo outros materiais no automóvel com o intuito de diminuir sua massa e melhorar o desempenho de dispositivos e acessórios.

Segundo o Callister (2012, p.361) um compósito polimérico consiste em um material multifásico feito artificialmente. As fases são quimicamente diferentes e separadas por uma interface. Muitos materiais compósitos são compostos em sua maioria de duas fases, em que uma é chamada de matriz, que é continua e envolve a outra, chamada de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são definidas pela combinação das propriedades das fases constituintes, das quantidades relativas destas fases, da geometria da fase dispersa e da interação interfacial matriz/fase dispersa. A geometria da fase dispersa corresponde à forma da partícula, seu tamanho, sua distribuição e orientação na matriz polimérica.

2.2.1 Cargas minerais e compósitos poliméricos

Carga mineral corresponde a minerais, ou rochas, que são encontrados na natureza, como os carbonatos, asbestos e o próprio talco. No caso de compósitos poliméricos, esses minerais são adicionados aos polímeros para assim atingir determinado objetivo que o polímero na sua constituição isolada não atinge, ou seja, a carga mineral é utilizada para alterar alguma propriedade do polímero, desta forma gerando um compósito. Além disso, a incorporação de cargas minerais

em termoplásticos vem sendo amplamente utilizada na indústria conduzindo a uma redução de custo de produção do produto final.(SOUZA, 2015)

2.2.2 Talco

O talco é uma matéria prima mineral de largo uso na indústria sendo utilizado desde o setor de cosméticos, tintas, cerâmicas e até como carga inerte na fabricação de compósitos poliméricos. O talco é um mineral de silicato de magnésio hidratado metamórfico (em folhas) com produtos químicos cuja a formula é $Mg_3(Si_4O_{12})(OH_2)$. A folha elementar é composta por uma camada octaédrica de magnésio-oxigênio/hidroxil situada entre duas camadas de tetraedros de silício e oxigênio. As superfícies basais desta folha elementar não contêm grupos hidroxílas ou íons ativos, o que explica o caráter hidrofóbico e inerte do talco. O talco é praticamente insolúvel em água e ácidos e bases fracos. Não é inflamável nem explosivo. Apesar de sua reatividade química muito baixa, o talco tem uma afinidade marcada por alguns produtos orgânicos; é de fato organofílico. Acima de 900 °C, o talco perde progressivamente seu grupo hidroxila e acima de 1050 °C recristaliza em várias formas de enstatita (silicato de magnésio anidro). (BOUAKKAZ et al., 2018)

As principais propriedades que o tornam largamente utilizado na indústria são sua inércia química, alta resistência ao choque térmico, leveza, suavidade, brilho, alto poder de lubrificação e deslizamento e alta área de superfície.(BOUAKKAZ et al., 2018)

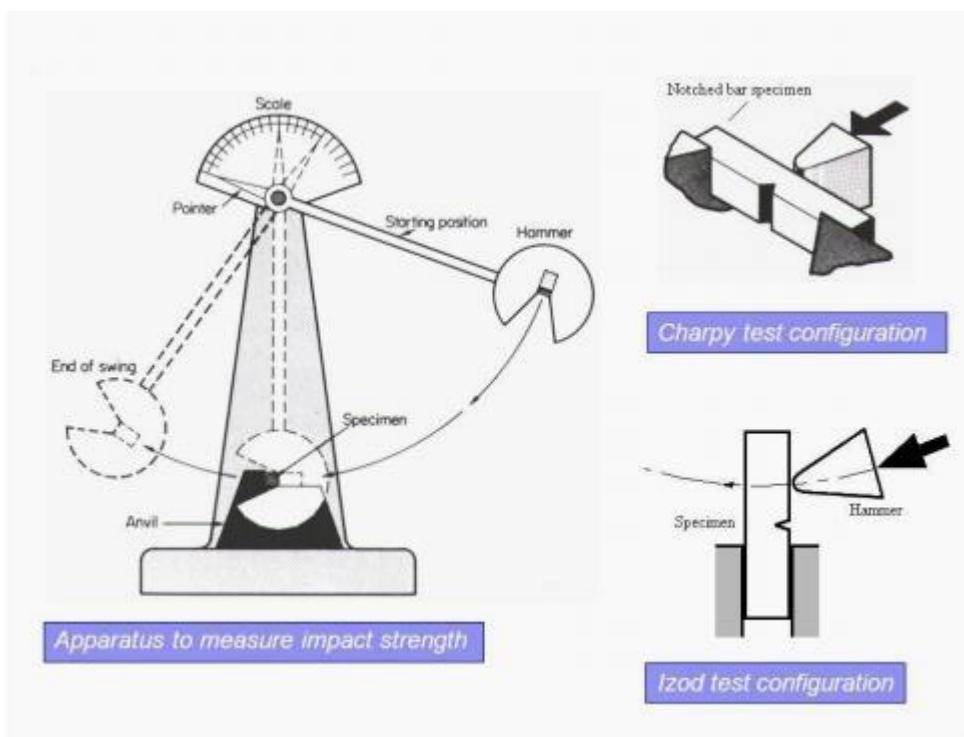
2.2.3 Compósitos de polipropileno com carga de talco

O polipropileno é um termoplástico commodity amplamente usado, no entanto ele tem algumas limitações devido a sua baixa resistência ao impacto, logo modificadores como elastômeros tem sido usado com o intuito de aumentar a tenacidade, resultando em poliolefinas termoplásticas como borrachas de etileno-propileno, EPM, EPDM. Embora a resistência ao impacto aumente, sua rigidez e resistência diminui drasticamente, logo a incorporação de cargas minerais ao polipropileno vem como uma solução viável para superar esse problema. As cargas minerais melhoram a flexibilidade, o módulo de Young, a estabilidade dimensional e as propriedade viscoelásticas do produto final.(GHANBARI; BEHZADFAR; ARJMAND, 2019)

2.3 Ensaio de impacto

Segundo Canevarolo (2002, p.155) o estudo do comportamento sob impacto de materiais poliméricos é de enorme importância, haja vista o grande número de aplicações práticas sujeitas a solicitações dessa ordem como choques mecânicos em quedas e batidas. Dessa forma, a resistência ao impacto é frequentemente utilizada como um fator de decisão na seleção de materiais. Ao realizar o ensaio de impacto o principal parâmetro a quantificar e analisar é a energia de impacto. Os métodos mais utilizados para medir a resistência do material polimérico é o do tipo IZOD e O CHARPY, ambos utilizam como método a energia absorvida pelo material através do impacto de um pêndulo liberado de uma altura fixa que ao oscilar o martelo, com uma massa determinada, colide com a amostra posicionada no ponto mais baixo, está que foi entalhada de modo a produzir uma tensão triaxial (tensão radial ao entalhe, longitudinal e transversal). No ensaio de impacto de Izod a peça é posicionada conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 : Ensaio de impacto



2.4 Ensaio de índice de fluidez (MFI)

O teste de fluidez, é uma técnica de caracterização amplamente usada, principalmente na indústria onde utiliza extrusão e injeção no processo de fabricação, como na indústria de autopeças. O equipamento utilizado para esse ensaio é chamado de plastômetro de extrusão que é composto por um cilindro vertical com aquecimento controlado. O polímero é adicionado no cilindro por meio de um orifício superior, ao passar pelo cilindro para sair no orifício inferior o material é aquecido até ele fluir (OTA, [s.d.])

Este teste tem por finalidade medir o índice de fluidez, o qual apresenta um comportamento inverso ao da viscosidade do polímero. Entretanto, o índice de fluidez não pode ser considerado uma medida reológica do polímero e sim apenas uma medida de fluxo padronizada. Ao material fluir pelo orifício inferior são coletadas amostras em tempos determinados e pesadas. Desta forma, consegue-se analisar o quanto de massa polimérica fluiu

$$MFI = \frac{m \times 600}{Tc} \quad \text{Eq. 1}$$

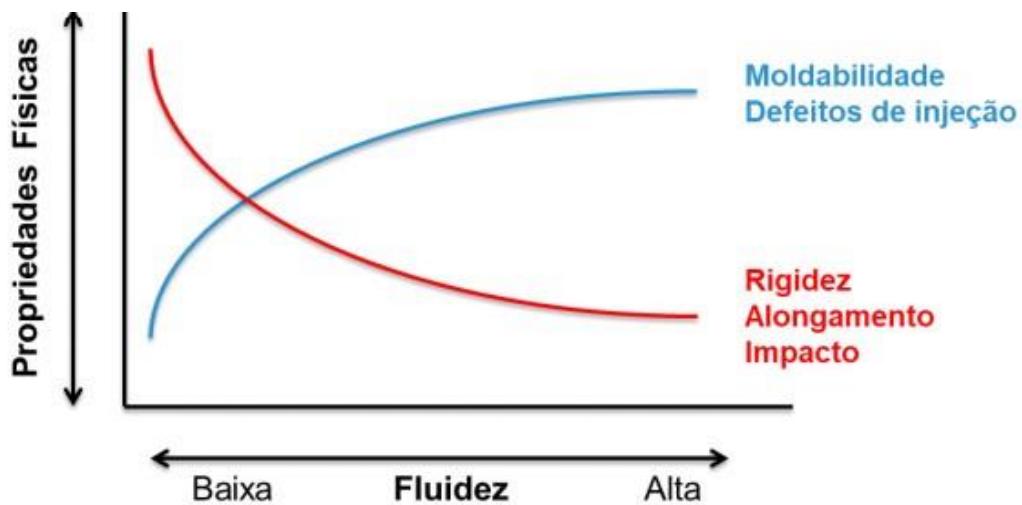
naquele determinado tempo. A unidade dessa propriedade é dada por g/10 min. O índice de fluidez pode ser calculado pela equação 1:

Em que: M = massa em grama do material que fluiu do orifício inferior;
600 = tempo em segundos correspondente a 10 minutos.

Tc = tempo de corte do material (segundos).

Essa propriedade é influenciada diretamente pela massa molar e configurações do material polimérico. Entretanto, outros fatores como a presença de cargas e aditivos no material, também podem afetar os resultados. Dentre outras aplicações, a determinação do índice de fluidez é um parâmetro importante para o processamento termomecânico dos polímeros. A Figura 5 mostra uma correlação entre o índice de fluidez com algumas propriedades mecânicas e efeitos no processamento dos polímeros.

Figura 5 : Gráfico de fluidez

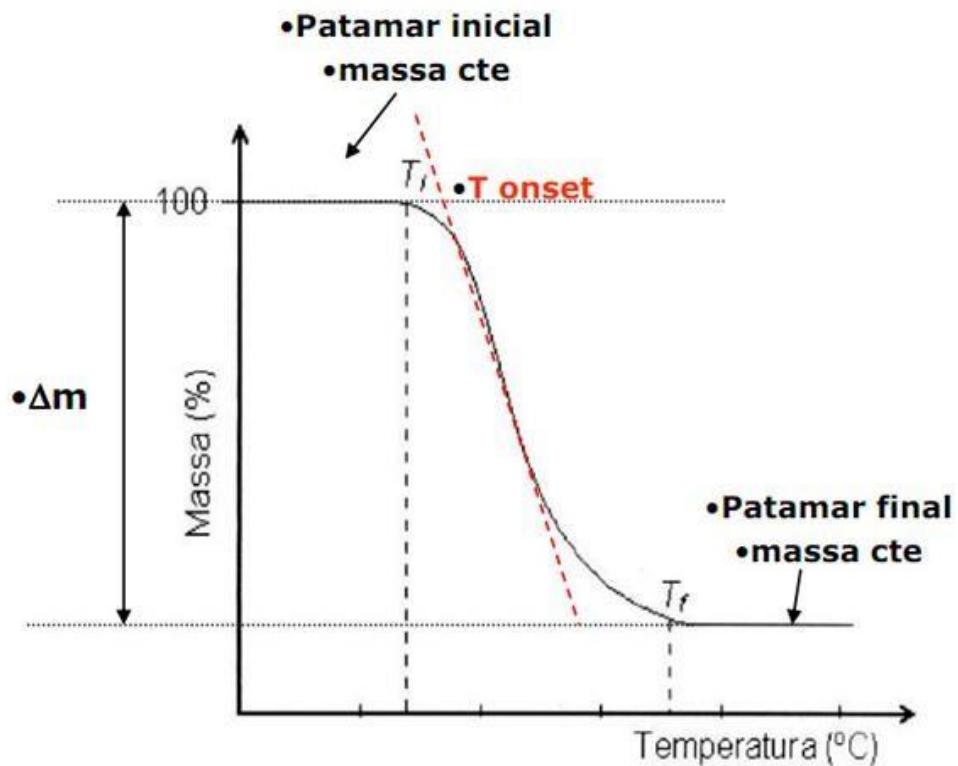


2.5 Análise Termogravimétrica (TGA)

Na TGA a perda de massa da amostra é medida continuamente, enquanto a temperatura é aumentada a uma taxa constante (modo dinâmico). Alternativamente, a perda de massa pode ser medida como uma função do tempo a uma temperatura constante. O principal uso da análise termogravimétrica na aplicação para materiais poliméricos está no estudo da sua estabilidade e decomposição térmica, podendo ter outras aplicações como determinação da composição do polímero, extensão de cura em polímeros de condensação e distribuição de sequências de monômeros em copolímeros (WANDER BURIELO DE SOUZA, 2015).

A Figura 6 descreve o comportamento de um material e como ocorre a sua perda de massa a partir de uma temperatura inicial até a temperatura final do experimento sendo aumentada a uma taxa constante.

Figura 6 : Termograma TGA



3 Materiais e métodos

3.1 Materiais

O polipropileno utilizado no presente trabalho é um copolímero aditivado e específico para aplicações no setor de peças automotivas. O polímero na forma de compósitos com a carga mineral talco foi doado gentilmente pela empresa Lyondell Basell da cidade de Pindamonhangaba-SP,

contendo teores em massa de talco de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40%. Para o estudo, foram utilizados amostras dos materiais na forma de grânulos (pellets) e corpos de prova para ensaios de impacto, obtidos por moldagem por injeção.

3.2 Ensaio de Impacto

Os ensaios de impacto foram realizados no modo IZOD, seguindo recomendações da norma técnica ASTM D265. Para isto, os corpos de prova com dimensões aproximadas de 50 x 10,5 x 3,3 mm foram entalhados e submetidos ao ensaio em um equipamento XJU-22 Beam Impact Tester localizado no departamento de engenharia de materiais, empregando um martelo de 2,7J. As figuras 7 é uma imagem de um corpo de prova utilizado no ensaio tendo 10,5 mm de comprimento e um entalhe de aproximadamente 3 mm e a Figura 8 ilustra o equipamento XJU-22 Beam Impact Tester.

Figura 7 : Corpo de prova utilizado



3.3 Ensaio de índice de fluidez

O ensaio foi conduzido com amostras na forma de grânulos, empregando um plastômetro de extrusão da marca CEAST, modelo 7021000, localizado no departamento de engenharia de materiais, seguindo recomendações da norma técnica ASTM D1238. O ensaio foi conduzido a 230°C com carga de 2,16 Kg e tempo de corte de 15 segundo para todas as amostras. Figura 9 representa o estado e o formato dos grânulos utilizados no ensaio.

Figura 9 : Amostra no formato de grânulos



3.4 Análise Termogravimétrica

As análises de TGA foram realizadas em equipamento da marca NETZSCH, modelo STA 449 F3 Júpiter, localizado no departamento de engenharia de materiais. Foram utilizadas amostras dos materiais com massa entre 12 a 15 mg sob uma taxa de aquecimento de 10 °C/min, fluxo de N₂ de 100 ml/min. como gás de purga e protetivo com aquecimento de 30 °C até 900 °C.

4 Resultados e discussão

4.1 Ensaio de impacto Izod

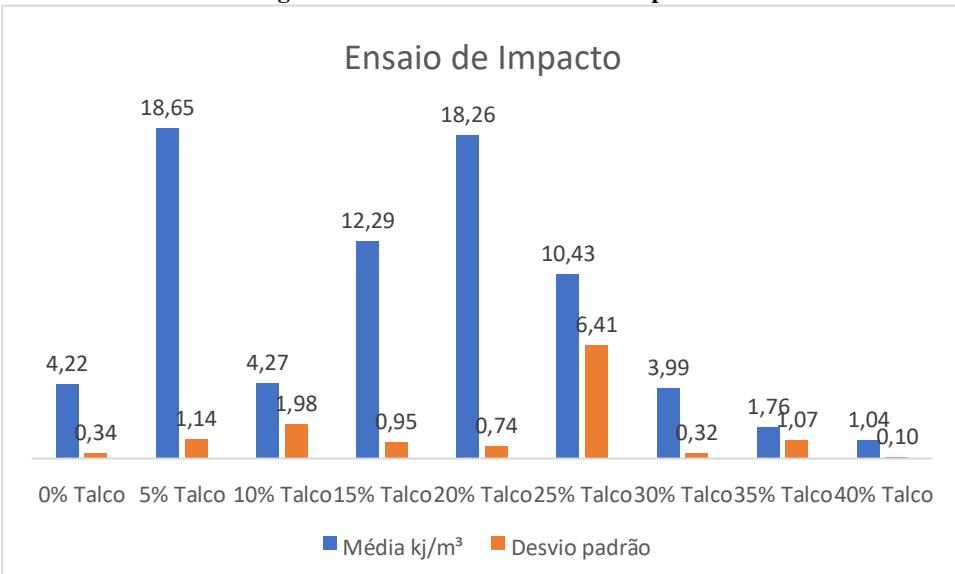
Os resultados dos ensaios de impactos obtidos são apresentados na Tabela 2 e Figura 10. Verifica-se que o polipropileno sem carga apresenta resistência ao impacto em torno de 4 kJ/m² e, à medida que aumenta o teor de talco no compósito, a resistência ao impacto também aumenta. Entretanto, isto é valido para compósito com teores de talco em até 25%. Para compósitos com

maior conteúdo de talco, a resistência ao impacto decai progressivamente até atingir 1 Kj/m² para o compósito com 40% em massa de talco. Pode-se inferir que acima de 25% de talco a distribuição da carga na matriz polimérica passa a ser comprometida e sua alta concentração induz pontos de concentração de tensão que fragilizam o material. Os valores mais significativos de resistência ao impacto são verificados para os compósitos com teores de talco em 5 e 20% em massa, os quais atingiram valores em torno de 18 kJ/m². Isto demonstra que além de reduzir o custo do material, o talco também apresenta uma ação importante no aumento da resistência ao impacto do compósito.

Tabela 2 : Resultado do ensaio de impacto

Amostras	Média kJ/m ³	Desvio padrão
0% Talco	4,22	0,34
5% Talco	18,65	1,14
10% Talco	4,27	1,98
15% Talco	12,29	0,95
20% Talco	18,26	0,74
25% Talco	10,43	6,41
30% Talco	3,99	0,32
35% Talco	1,76	1,07
40% Talco	1,04	0,10

Figura 10 : Resultados do ensaio de impacto



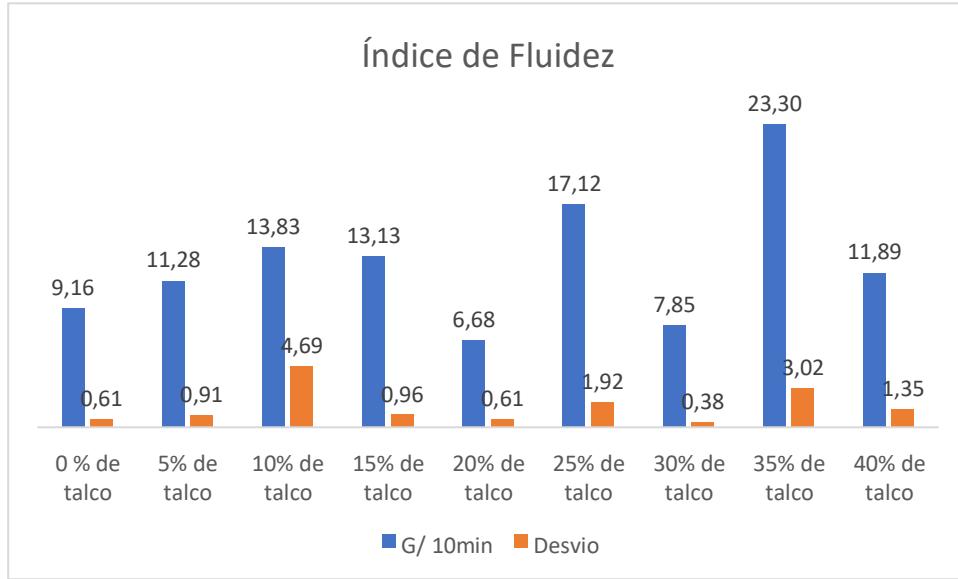
4.2 Índice de Fluidez

Os resultados do ensaio de índice de fluidez são apresentados Tabela 3 e Figura 10. Verifica-se que não há uma correlação direta entre o teor de talco nos compósitos com os resultados de índice de fluidez. O polipropileno sem carga apresenta índice de fluidez em torno de 9 g/10 min. Este valor é semelhante aos dos compósitos com teores de talco em 20 e 30% em massa. Para os demais compósitos, o índice de fluidez é maior do que o polipropileno sem cargas, atingindo o máximo valor para o compósito com 35% de talco (23,30g/10 min). Devido ao fato da carga mineral não fundir nas condições de ensaio, o aumento do índice de fluidez para os compósitos com teores maiores de carga seria uma condições esperada. Entretanto, outros fatores efeitos como interações carga/matriz e plastificação também podem ser relevantes e influir de forma significativa os resultados. Embora haja mudança de índice fluidez com a variação do teor de talco nos compósitos, todas as composições encontram-se em uma condição de fluidez adequada para as operações de processamento termomecânico por moldagem por injeção, necessárias para a fabricação de peças automotivas.

Tabela 3 : Resultado do índice de fluidez

Amostras	G/ 10min	Desvio
0 % de talco	9,16	0,61
5% de talco	11,28	0,91
10% de talco	14,73	3,38
15% de talco	13,13	0,96
20% de talco	6,68	0,61
25% de talco	17,12	1,92
30% de talco	7,85	0,38
35% de talco	23,30	3,02
40% de talco	11,89	1,35

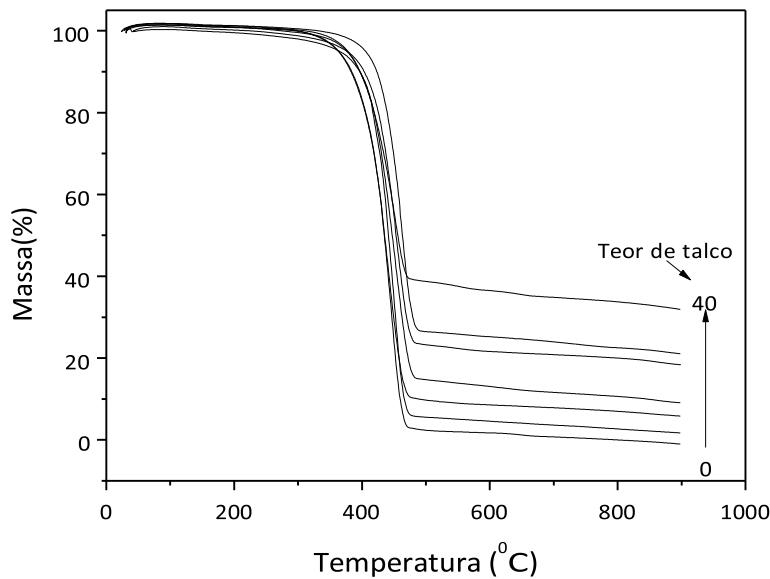
Figura 11 : Resultado do índice de fluidez



4.3 Análise termogravimétrica (TGA)

As curvas de TGA do polipropileno e dos compósitos são apresentadas na Figura 12

Figura 12 : Termograma



Nota-se que todos os materiais apresentam uma perda de massa significativa em torno de 450 a 500 °C e que a massa residual das amostras após o término da análise em temperatura de 900 °C é equivalente ao teor de talco nos compósitos. A perda de massa verificada no intervalo de 450 a 500 °C é atribuída à decomposição térmica da matriz de polipropileno. Como em todos os compósitos não se verifica diferenças significativas no perfil da curva correspondente a este estágio de decomposição, pode-se considerar que o talco não influencia a decomposição térmica do polipropileno, o que é uma condição importante para a estabilidade do material frente à degradação durante o processamento termomecânico ou durante a sua aplicação. A formação de resíduos ao término da análise correspondente ao teor de talco se deve à estabilidade térmica da carga em condições de temperaturas elevadas e também se torna um indicativo de aferição do conteúdo de carga presente no compósito.

5 Conclusões

O talco como carga mineral no compósito de polipropileno propicia ganhos de resistência ao impacto. No entanto, até determinado teor de 25% o qual foi verificado nos experimentos, pois com o aumento do teor de talco no compósito a resistência ao impacto decaiu gradativamente, algo que pode ser entendido que com o aumento do teor de talco a distribuição de carga no compósito é comprometida criando concentradores de tensão. Dessa forma, os teores de talco que se mostraram adequados foram os de 5 e 20%, atingindo uma resistência mecânica de 18 kJ/m², mostrando que além do talco diminuir o custo do material ele propicia um aumento de resistência mecânica desde que esteja em proporções adequadas para que se consiga uma melhor distribuição no compósito.

No índice de fluidez, pode aferir que não houve uma relação direta do teor de talco com o índice de fluidez, o índice de fluidez para o polipropileno puro foi de 9g/10 min, devido a carga mineral não fundir no ensaio, esperava-se um aumento no índice de fluidez com o aumento da carga mineral. No entanto, fatores como interação entre a carga/matriz e plastificação são relevantes e influenciam de forma significativa no resultado, mas pode verificar-se no ensaio de índice de fluidez que por mais que exista variação no índice com a variação de teor de talco, todas as composições apresentam uma condição adequada para as operações de processamento termomecânico por moldagem por injeção.

Quanto ao comportamento térmico, pelo resultado obtido através da análise termogravimétrica o talco não teve influência na decomposição térmica, como mostrado nas curvas resultantes do experimento, o que mostra estabilidade do material.

Dessa forma, o compósito de polipropileno com talco como carga mineral em teores adequados de porcentagem em massa, mostrou-se um material barato, com boa resistência mecânica, boa processabilidade e estabilidade térmica para a fabricação de peças automotivas.

Referências

- BOUAKKAZ, A. et al. Effect of temperature on the mechanical properties of polypropylene–talc composites. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 31, n. 7, p. 896–912, jul. 2018. **Bouakkaz et al. - 2018 - Effect of temperature on the mechanical properties.pdf.** , [s.d.].
- CODOLINI, A.; LI, Q. M.; WILKINSON, A. Influence of machining process on the mechanical behaviour of injection-moulded specimens of talc-filled Polypropylene. **Polymer Testing**, v. 62, p. 342–347, set. 2017.
- GHANBARI, A.; BEHZADFAR, E.; ARJMAND, M. Properties of talc filled reactor-made thermoplastic polyolefin composites. **Journal of Polymer Research**, v. 26, n. 10, p. 241, out. 2019.
- GRYTA, M. The Influence of Talc Addition on the Performance of Polypropylene Membranes Formed by TIPS Method. **Membranes**, v. 9, n. 5, p. 63, 14 maio 2019.
- GUTIÉRREZ, J. C. H. et al. Usinabilidade de materiais compósitos poliméricos para aplicações automotivas. **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 711–719, dez. 2014.
- HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, v. 13, n. 2, p. 107–114, jun. 2003a.
- HEMAIS, C. A. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, v. 13, n. 2, p. 107–114, jun. 2003b.
- LINARES, P. B.; CASTILLO, L. A.; BARBOSA, S. E. Pro-Degradant Effect of Talc Nanoparticles on Polypropylene Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n. 8, p. 1666–1676, ago. 2019.
- MITTAL, P. et al. Polypropylene composites reinforced with hybrid inorganic fillers: Morphological, mechanical, and rheological properties. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 32, n. 6, p. 848–864, jun. 2019.
- OTA, W. N. Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional. p. 106, [s.d.].
- Renault reveals Zoe e-sport electric vehicle concept at Geneva | Engine + Powertrain Technology International.** Disponível em: <<https://www.engineertechnologyinternational.com/news/autonomous-vehicle-technologies/renault-reveals-zoe-e-sport-electric-vehicle-concept-at-geneva.html>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

SARIKANAT, M. et al. The Effect of Various Minerals on Sound Transmission Loss and Mechanical Properties of Polypropylene. **Acta Physica Polonica A**, v. 135, n. 5, p. 1055–1057, maio 2019.

SEBASTIÃO V. CANEVAROLO JR. **Ciência dos Polímeros : Um testo básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002.

WANDER BURIELO DE SOUZA, G. S. G. DE A. **Engenharia dos Polímeros tipos de Aditivos, Propriedades e Aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.

WANG, K. et al. Effect of talc content on the degradation of re-extruded polypropylene/talc composites. **Polymer Degradation and Stability**, v. 98, n. 7, p. 1275–1286, jul. 2013.

WANG, K. et al. Constitutive Modeling of the Tensile Behavior of Recycled Polypropylene Based Composites. p. 23, 2019.

WEE, J.-W. et al. Effect of weathering-induced degradation on the fracture and fatigue characteristics of injection-molded polypropylene/talc composites. **International Journal of Fatigue**, v. 117, p. 111–120, dez. 2018.