

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

EZEQUIEL DE ANDRADE SILVA

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
POLIPROPILENO/CARBONATO DE CÁLCIO (PP/CaCO₃) PARA
POSSÍVEL UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

**VOLTA REDONDA
2017**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
POLIPROPILENO/CARBONATO DE CÁLCIO (PP / CaCO₃) PARA
POSSÍVEL UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro, na área de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais poliméricos.

Aluno: Ezequiel de Andrade Silva

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

VOLTA REDONDA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tação Wagner - CRB 7/RJ 4316

S586p Silva, Ezequiel de Andrade.

Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno/carbonato de cálcio (PP/CaCO₃) para possível utilização na indústria automobilística. / Ezequiel de Andrade Silva. - Volta Redonda: UniFOA, 2017.

61 p. : II

Orientador(a): Sérgio Roberto Montoro

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017

1. Materiais - dissertação. 2. Carga mineral. 3. Índice de fluidez. 4. Análise térmica. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

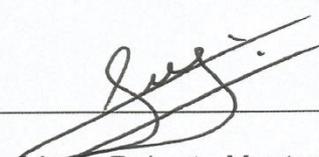
Aluno: Ezequiel de Andrade Silva

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE
POLIPROPILENO/CARBONATO DE CÁLCIO (PP/CaCO₃) PARA POSSÍVEL
UTILIZAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**

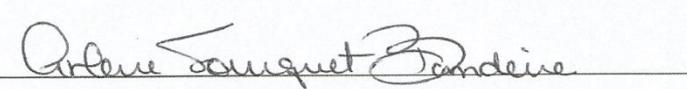
Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

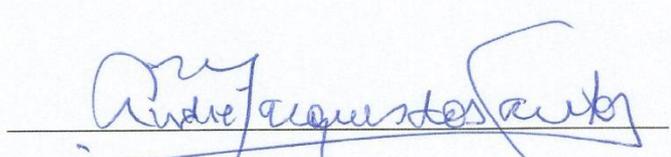
Banca Examinadora



Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro



Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira



Prof. Dr. André Marques dos Santos

“Pois será como a árvore plantada junto a ribeiros de águas, a qual dá o seu fruto no seu tempo; as suas folhas não cairão, e tudo quanto fizer prosperará.”

Salmos 1:3

AGRADECIMENTOS

Deus, pois sem a presença dele em minha vida, nada seria possível.

Meus pais Antônio Luis da Silva e Berenice de Andrade Ferreira da Silva, amo muito vocês.

A minha esposa Maiara Patrícia Santana Francisco, que em tudo e em todas as horas tem se mostrado companheira e compreensiva.

Ao meu filho amado Anthony Davi Santana Francisco de Andrade Silva pelo carinho, sorriso e abraço, te amo.

Aos meus irmãos e irmãs.

Ao Sr. Sérgio José do Nascimento por tudo que me ensinou nessa jornada.

A Jean de Lima Oliveira e Laert dos Santos Andrade que sempre estiveram por perto e que se mostraram incríveis.

Aos caros amigos, Prof. Dr. Luciano de Azedias Marins, Prof. Dr. Claudinei dos Santos e Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnaco, pelos incentivos.

A Prof^a. Dr^a. Cirlene Fouquet Bandeira pela realização das análises de TGA.

Ao amigo e Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro que me acolheu e se empenhou mostrando se muito dedicado, paciente e cobrando cada vez mais a fim de me ver crescer.

Agradeço aos que diretamente e indiretamente torceram por mim.

SILVA, E. A. **Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno/carbonato de cálcio (PP / CaCO₃) para possível utilização na indústria automobilística.** 2017. 61f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda. 2017.

RESUMO

A indústria tem buscado desenvolver produtos que tenham qualidade e custo reduzido. O desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos é uma alternativa atraente para várias aplicações, entre elas a indústria automobilística. No presente trabalho foram avaliados a inserção de diferentes teores de Carbonato de Cálcio numa matriz de Polipropileno. Visando a obtenção de compósitos os quais foram caracterizados quanto a resistência a tração, resistência a flexão, resistência ao impacto, índice de fluidez e análise térmica (TGA). A partir das análises de Tração verificou-se que a adição de CaCO₃ tornou o compósito mais rígido apresentando melhoria do módulo de elasticidade. Através dos resultados de impacto constatou-se que a adição do carbonato de cálcio deixou o compósito mais rígido, acarretando diminuição da resistência quando comparados ao polipropileno puro. Quanto a fluidez, verificou-se que a adição de teores menores de carga aumentou a fluidez e teores maiores acarretou na diminuição desta. Os compósitos que foram compatibilizados tiveram uma melhoria expressiva no índice de fluidez. Os resultados da termogravimetria mostraram que a adição de carga no compósito ocasionou a melhoria da sua estabilidade térmica. Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição do Carbonato de Cálcio (CaCO₃) no Polipropileno (PP), concluindo-se que, com a adição de CaCO₃ no PP, obteve-se um material com até 30% menos polímero e com propriedades mecânicas viáveis para determinadas aplicações do PP, em que o custo e a resistência térmica são mais importantes que a resistência ao impacto. A partir das análises para a determinação do índice de fluidez, foi observado que o uso do agente compatibilizante e também a inserção de 10% de CaCO₃ provocou uma melhoria considerável no MFI do PP, tornando-se assim, sua viabilidade.

Palavras-chave: carga mineral, índice de fluidez, análise térmica, resistência ao impacto, propriedades mecânicas.

SILVA, E. A. **Processing and characterization of polypropylene / calcium carbonate compositions (PP / CaCO₃) for possible use in the automobile industry.** 2017. 61f. Dissertation (Professional Master of Materials) - Oswaldo Aranha Campus Três Poços Foundation, University Center of Volta Redonda, Volta Redonda. 2017.

ABSTRACT

The industry has sought to develop products that have quality and low cost. The development of composite polymer materials is an attractive alternative for several applications, including the automotive industry. In the present work the insertion of different levels of Calcium Carbonate in a polypropylene matrix was evaluated. Aiming to obtain composites which were characterized in terms of tensile strength, bending strength, impact strength, melt flow index and thermal analysis (TGA). From the Traction analyzes it was verified that the addition of CaCO₃ made the composite more rigid presenting an improvement of the modulus of elasticity. Through the results of impact it was verified that the addition of calcium carbonate left the composite more rigid, leading to decrease of the resistance when compared to the pure polypropylene. As to the fluidity, it was verified that the addition of lower contents of load increased the fluidity and higher contents resulted in the decrease of this. The composites that were compatibilized had an expressive improvement in the melt flow index. The results of the thermogravimetry showed that the addition of charge in the composite caused the improvement of its thermal stability. With the analysis of the results obtained in this work, it was possible to evaluate the effect of the addition of Calcium Carbonate (CaCO₃) in Polypropylene (PP), concluding that with the addition of CaCO₃ in PP, a material with up to 30 % Less polymer and with viable mechanical properties for certain PP applications, where cost and thermal resistance are more important than impact strength. From the analyzes for the determination of the fluidity index, it was observed that the use of the compatibilizing agent and also the insertion of 10% of CaCO₃ caused a considerable improvement in the MFI of the PP, thus becoming its viability.

Keywords: mineral charge, flow rate, thermal analysis, impact strength, mechanical properties.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
DTG	Derivada Termogravimétrica
DTM	Departamento de Materiais e Tecnologia
EEL	Escola de Engenharia de Lorena
EMIC	Equipamentos Mecânicos para a indústria e Construção Civil
EPS	Poliestireno expandido
EVA	Etileno- vinil- Acetato
FEG	Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
GCC	Carbonato de cálcio Natural
IPT	Instituto de Pesquisas Técnicas
ISO	International Organization for Standardization
PCC	Carbonato de Cálcio Precipitado
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEBDL	Polietileno de baixa densidade linear
PET	Poli (tereftalato de etileno)
PF	Perda ao fogo
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PSD	Distribuição de Partícula
PVC	Policloreto de polivinila
PVC	Policloreto de vinila
TGA	Termogravimetria
U.V	Ultravioleta
USGS	United States Geological Survey
USP	Universidade de São Paulo

J	Joule
kJ	QuiloJoule
kN	QuiloNewton
L	Comprimento
µm	micrômetro
mg	miligrama
min	minuto
ml	mililitro
MPa	MegaPascal

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os principais polímeros termoplásticos consumidos em 2015.....	18
Figura 2 - Reação química no preparo do polipropileno.....	19
Figura 3 - Formas estereoquímicas do polipropileno	20
Figura 4 - Classificação dos compósitos, segundo as características.....	22
Figura 5 - Representação esquemática da relação de aspecto em duas partículas.	23
Figura 6 - Consumo aparente de carbonato de cálcio em 2014.....	26
Figura 7 - Desenho esquemático da utilização de plásticos no exterior do automóvel	28
Figura 8 - Desenho esquemático da utilização de plásticos no interior do automóvel	29
Figura 9 - Gráfico tensão versus deformação.	31
Figura 10 - Representação esquemática do dispositivo de ensaio de flexão em três pontos	32
Figura 11 - Processamento dos materiais no laboratório: (a) Detalhe das proporções inseridas no compartimento de mistura; (b) homogeneizador termocinético Dryser; (c) Detalhe da paleta e o material homogeneizado; (d) moinho granulador de facas.	38
Figura 12 - Máquina de ensaios mecânicos EMIC:	39
Figura 13: Especificações das medidas do corpo de prova para ensaio de tração... ..	40
Figura 14 - Dispositivo usado no ensaio de flexão	40
Figura 15 - Especificações das medidas do corpo de prova para o ensaio de flexão de acordo com a Norma ASTM D 790 - 15.....	41
Figura 16 Máquina de ensaios de impacto Charpy marca Wolfgang Ohst Rathenow	42
Figura 17 - Gráfico tensão deformação.....	44
Figura 18 - Gráfico comparativo de valores do alongamento até a tensão máxima. .	45
Figura 19 - Gráfico comparativo de valores de tração.....	46
Figura 20 - Gráfico comparativo de valores do Módulo de elasticidade.	47
Figura 21 - Gráfico de Flexão.....	49
Figura 22 - Gráfico comparativo dos resultados Módulo de elasticidade em Flexão.	49
Figura 23 - Gráfico dos valores da energia absorvida no Impacto	51
Figura 24 - Gráfico dos resultados do Índice de Fluidez.	52

Figura 25 - Curvas Termogravimétrica do PP-puro e os compósitos com as suas proporções53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características físicas e químicas do mineral calcita	24
Tabela 2 - Propriedades requeridas do plástico no exterior do automóvel.....	29
Tabela 3 - Propriedades requeridas do plástico no interior do automóvel.....	30
Tabela 4 - Especificações do Carbonato de Cálcio	35
Tabela 5 - Descrição dos compósitos e suas respectivas proporções em massa.....	37
Tabela 6 - Resultados do ensaio de tração.....	45
Tabela 7 - Resultados de Flexão.....	48
Tabela 8 - Valores da energia absorvida.....	50
Tabela 9 - Índice de Fluidéz	52
Tabela 10 - Resultados da Termogravimetria.	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	Objetivos gerais	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Polímero	17
3.1.1	Polipropileno	18
3.2	Compósitos	20
3.2.1	Classificação.....	22
3.2.2	Compósitos particulados.....	22
3.3	Reforço	23
3.3.1	Carga mineral	23
3.3.2	Carbonato de cálcio	25
3.3.3	O Carbonato de cálcio Natural.....	26
3.3.4	O Carbonato de Cálcio Precipitado	27
3.4	Usos do plástico no automóvel	28
3.5	Propriedades mecânicas dos polímeros	30
3.5.1	Tração.....	30
3.5.2	Flexão	32
3.5.3	Impacto	33
3.6	Índice de Fluidez	33
3.7	Propriedades térmicas	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Materiais	35
4.1.1	Polipropileno (PP).....	35
4.1.2	Carbonato de Cálcio (CaCO ₃)	35
4.1.3	Agente compatibilizante.....	35
4.2	Obtenção dos compósitos	36
4.3	Ensaio Mecânico dos Compósitos	39
4.3.1	Tração.....	39
4.3.2	Flexão	40
4.3.3	Impacto	41
4.4	Índice de Fluidez	42
4.5	Análise térmica - Termogravimetria (TGA)	43

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1	Ensaio de Tração	44
5.2	Alongamento	46
5.3	Tração	46
5.4	Módulo de elasticidade (Módulo de Young)	47
5.4.1	Ensaio de Flexão	48
5.4.2	Ensaio de Impacto	50
5.5	Índice de Fluidez	51
5.6	Análise Termogravimétrica (TGA)	53
6	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A indústria, em todo o seu histórico evolutivo, tem buscado qualidade e economia nos seus projetos e processos produtivos, de modo a tornar os seus produtos competitivos no mercado.

O desenvolvimento de produtos mais leves e resistentes vem estimulando o surgimento de novas linhas de pesquisas no país. Em diversos setores produtivos, compósitos, insumos derivados de plásticos especiais, fibras de vidro, fibras vegetais, polímeros e alumínio ganham espaço substituindo materiais convencionais como madeira, borracha e ferro fundido (BONFIM, 2012)

Inovações antes aplicadas na fabricação de equipamentos aeroespaciais se expandiram para a indústria automobilística. O movimento tem como pano de fundo a evolução nos projetos de engenharia, com vista a exigências - sejam regulatórias, sejam do próprio consumidor - por produtos mais econômicos e menos poluentes (BONFIM, 2012).

Aos poucos, o Brasil vai encontrando soluções para fazer frente às novas demandas. A evolução tem sido mais rápida na indústria automobilística, onde diversos fabricantes estão desenvolvendo novos materiais. Se o custo dos novos materiais ainda não representa um diferencial em relação às matérias-primas tradicionais, a evolução na demanda começa a tornar o processo de substituição economicamente viável (BONFIM, 2012).

Este trabalho baseia-se nessa visão, de forma a avaliar a influência da adição de carbonato de cálcio ao polipropileno de maneira que a aplicação de compósitos com carga mineral seja utilizada em maior escala, visto que no Brasil ainda é muito pouco o uso desse mineral na indústria do plástico.

2 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver compósitos de Polipropileno (PP) com adição de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e avaliar os efeitos deste reforço nas propriedades mecânicas e térmica para uma possível aplicação na indústria automotiva.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Polímero

A palavra polímero vem do grego *poli* (muitos) + *meros* (iguais). São macromoléculas (grandes moléculas) formadas pela repetição de muitas unidades químicas iguais, os meros ou unidades repetitivas (PAOLI, 2009).

Os polímeros representam a imensa contribuição da Química para o desenvolvimento industrial do século XX. Em torno de 1920, Herman Staudinger, apresentou trabalho em que considerava, embora sem provas que a borracha natural e outros produtos de síntese, de estrutura química até então desconhecida, eram na verdade materiais consistindo de cadeias longas, e não agregados coloidais de pequenas moléculas, como se pensava naquela época. Somente em 1928 foi definitivamente reconhecido pelos cientistas que os polímeros eram substâncias de elevado peso molecular (MANO, 2012).

Além da natureza química dos monômeros e do peso molecular dos polímeros, outro fator que afeta as propriedades do material é a estrutura macromolecular. Do ponto de vista tecnológico, os materiais poliméricos devem apresentar resistência mecânica satisfatória. Essa resistência depende do grau de compactação da massa, que por sua vez é função da possibilidade de disposição ordenada das macromoléculas (MANO, 2012).

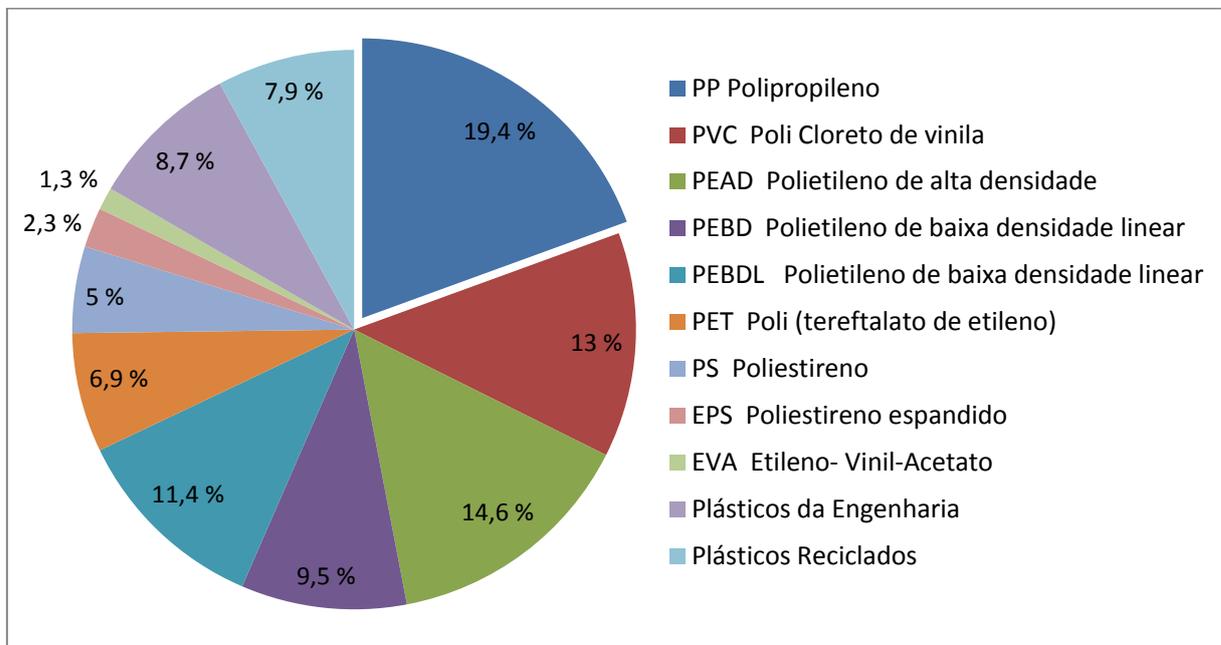
De acordo com Marinucci (2011), as características das matrizes poliméricas quanto à fusibilidade dos polímeros determinam a técnica de processamento do material, que são classificados em termoplásticos e termofixos. As resinas termofixas mais utilizadas para fabricação de compósitos são as resinas poliéster, epóxi e viniléster.

Os polímeros são classificados em termoplásticos e termorrígidos sendo os polímeros termoplásticos materiais que segundo CANEVAROLO (2010), quando sob um aumento substancial da temperatura e marginal da pressão, amolecem e fluem, podendo ser moldados nestas condições. Retirada à solicitação (temperatura e pressão) se solidificam adquirindo a forma do molde. Novas aplicações de temperatura e pressão reiniciam o processo, são recicláveis. São solúveis e possuem cadeia linear ou ramificada. Exemplos; PE, PP, PVC, etc.

As características mais atrativas oferecidas pelos compósitos termoplásticos são: o potencial de produção a baixo custo, boa resistência ao impacto, boa resistência a propagação de micro trincas, fácil controle de qualidade e a possibilidade de reciclagem de matéria prima (OLIVEIRA, 2013).

Segundo a Associação Brasileira da indústria do Plástico (ABIPLAST), que representa o setor no país e está presente desde 1967 atuando para aumentar a competitividade da indústria de transformação de material plástico, sustentabilidade e muito mais, em seu relatório anual destaca os principais termoplásticos consumidos no Brasil (Figura 1). (ABIPLAST, 2016).

Figura 1 - Os principais polímeros termoplásticos consumidos em 2015



Fonte: Adaptado de (ABIPLAST, 2016).

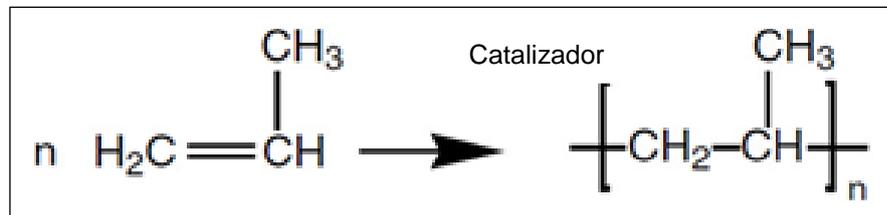
A escolha da matriz polimérica dependerá das propriedades físicas, mecânicas e térmicas exigidas para uma determinada aplicação, como também do processo de fabricação escolhido e do custo associado (MULINARI, 2009; BRANDÃO, 2015).

3.1.1 Polipropileno

O polipropileno é um polímero versátil usado tanto na extrusão como na moldagem por injeção. Ele é sintetizado pela polimerização de propileno, um

monômero derivado de produtos petrolíferos através da reação química mostrada na Figura 2.

Figura 2 - Reação química no preparo do polipropileno



Fonte: CALLISTER, 2006.

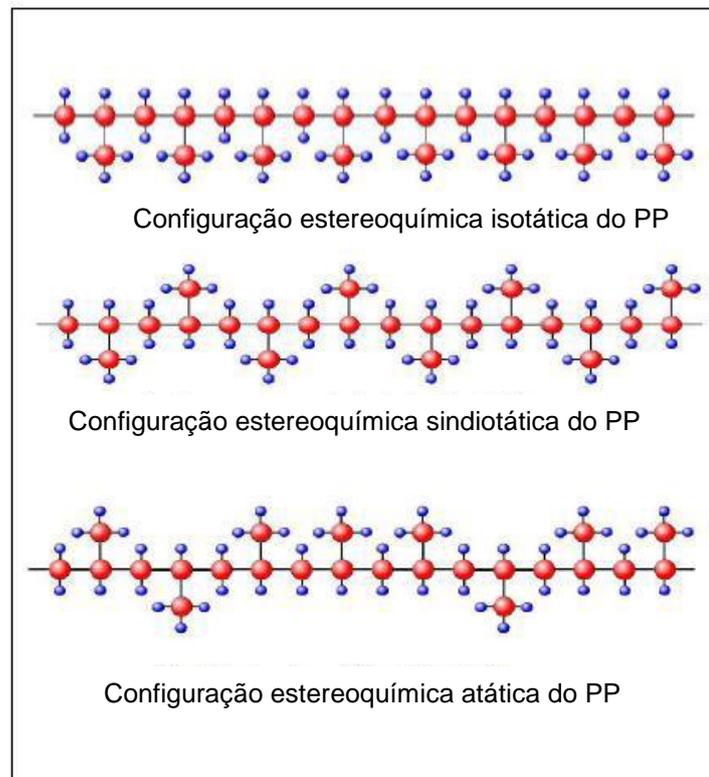
Em meados de 1954 quando se iniciaram as tentativas de polimerizar o polipropileno, o resultado foi uma substância líquida oleosa ou sólida flexível, sem valor comercial. A partir de 1955, com os trabalhos de Natta na Itália, utilizando o sistema de catalisador estereoespecífico de Ziegler, foi possível a obtenção do polipropileno com estrutura regular e cristalina e com propriedades de interesse comercial (MOORE, 1996).

Segundo Oliveira (2015), o polipropileno se tornou um dos mais importantes, e continua em ascensão devido à sua versatilidade de processamento e ótimas propriedades mecânicas, aliado ao baixo custo quando comparado aos outros polímeros de aplicação tecnológica.

A maior parte do polipropileno comercial é do tipo "isotático", em que a maioria das unidades de propeno está com a "cabeça" unida à "cauda", formando uma cadeia com todos os grupos metila orientados para o mesmo lado. Esta estrutura estereorregular favorece o desenvolvimento de regiões cristalinas, que, dependendo das condições de processamento, permite obter uma cristalinidade entre 40 e 70% (SATO, 2008).

O termo estereoespecífico do catalisador se refere à característica de controlar a posição do grupo metila (CH₃) na cadeia polimérica do polipropileno. As propriedades do polipropileno são influenciadas pela taticidade ou regularidade espacial do grupo CH₃ na cadeia polimérica. Como mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Formas estereoquímicas do polipropileno



Fonte: SILVEIRA, 2008.

No polipropileno isotático, os grupos metila estão todos do mesmo lado e no mesmo plano da cadeia polimérica, já no polipropileno sindiotático, os grupos metila estão alternados ao plano da cadeia polimérica e no polipropileno atático os grupos metila se distribuem de forma aleatória na cadeia do polipropileno (HENRIQUES, 2015).

3.2 Compósitos

O termo compósito se refere a materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não poliméricos, em que um dos componentes é descontínuo e dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural ou reforço) e o outro componente é contínuo e representa o meio de transferência desse esforço (componente matricial ou matriz). Esses componentes não se dissolvem nem se descaracterizam completamente, apesar disso, atuam ordenadamente, e algumas propriedades do conjunto são superiores às de cada componente individual, para uma determinada aplicação (MANO, 2012).

A ideia de se reforçar plásticos utilizando fibra de vidro baseou-se na estrutura do bambu e começou na década de 40. Na década de 60, os compósitos poliméricos estruturais, denominados avançados, que tinham seu uso restrito a alguns setores, tiveram sua utilização ampliada. (WIEBECK; HARADA, 2012).

O plástico reforçado tem uso bastante diversificado, estando presente em quase todos os segmentos que envolvem aplicações aeroespaciais, náuticas e terrestres. Como exemplo de aplicações militares, podem ser citados: o envelope de combustível sólido de foguetes, vasos de pressão, componentes empregados em mísseis e aviões de combate (MARTINS, 2014).

Assim como os metais são combinados para formação de ligas metálicas aproveitando-se das propriedades de dois ou mais metais, os plásticos também são combinados para formação de blendas e ainda podem ser reforçados com diversos tipos de fibras e cargas minerais, de forma a melhorar suas propriedades mecânicas (RODA, 2013).

A orientação do reforço no compósito afeta a isotropia do sistema, quando o reforço está na forma de partículas, com todas as dimensões aproximadamente iguais, o compósito comporta-se como um material isotrópico cujas propriedades são independentes da direção (DALPIAZ, 2006).

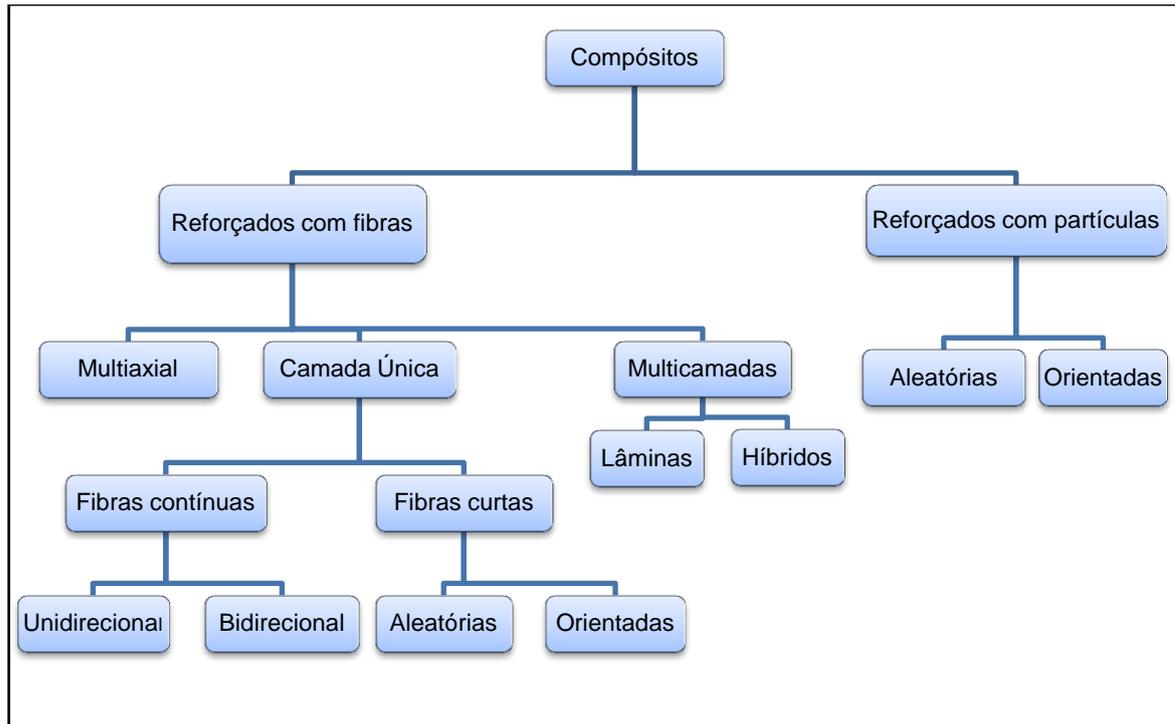
A escolha da matriz a ser empregada depende da aplicação final do compósito. Para aplicação do material em baixas temperaturas, até 200°C, são usadas geralmente as resinas poliméricas, enquanto que as matrizes metálicas são recomendadas em aplicações em que se requerem temperaturas de até 800°C. Compósitos de matriz cerâmica podem ser utilizados em temperaturas superiores a 1000°C (MARINUCCI, 2011).

A vantagem de um compósito polimérico segundo Marinucci (2011) é que, comparados com os metais, os componentes de materiais compósitos poliméricos são resistentes ao ataque químico e são não magnéticos, não condutores, apresentam uma excepcional relação resistência/peso e uma expressiva redução de peso.

3.2.1 Classificação

Segundo Callister (2006), nos materiais compósitos, a resistência é bastante influenciada pela geometria e orientação do reforço, e a classificação destes pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Classificação dos compósitos, segundo as características.



Fonte: Adaptado de CALLISTER, 2006.

Os compósitos podem ser formados de acordo com Marinucci (2011), por elementos de reforço particulados, fibrosos ou fibra/metal. Compósitos particulados podem ser esféricos, cúbicos, tetragonais ou de qualquer outra forma regular ou irregular, mas quase sempre equiaxiais. Já os fibrados têm a fibra como elemento de reforço, a qual apresenta como característica um comprimento muito maior que as dimensões da seção transversal. Requisitos de camadas isotrópicas levaram à construção de laminados fibra - metal, que associam as vantagens dos materiais metálicos e dos materiais compósitos.

3.2.2 Compósitos particulados

De acordo com Callister (2006) os particulados incluem, farinha de madeira (pó de serra finamente dividido), farinha de sílica e areia de sílica, vidro, argila, talco,

calcário, etc. Os tamanhos de partícula variam na faixa que vai de 10nm até dimensões macroscópicas.

A vantagem das partículas nos compósitos é o aumento de rigidez, apesar de não proporcionar contribuição para o aumento de resistência o outro objetivo é a modificação das propriedades da matriz para atender necessidades como melhora das propriedades térmicas e elétricas, aumento da resistência à abrasão e muitas vezes garantir o desempenho do material a temperaturas elevadas. E sua maior desvantagem é a máxima temperatura de serviço, que para a maioria das matrizes poliméricas é abaixo de 200°C (MARINUCCI, 2011).

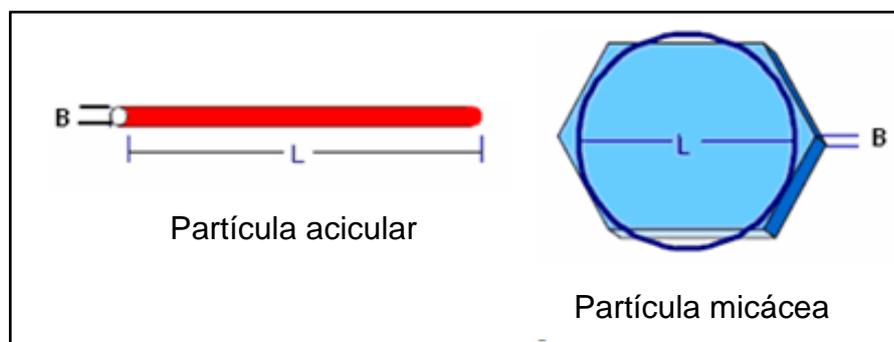
3.3 Reforço

3.3.1 Carga mineral

As principais características consideradas no desempenho de uma carga mineral para produção de um compósito são: propriedades mineralógicas (composição química, estrutura cristalina, propriedades ópticas, hábito, clivagem e dureza, densidade, brilho, cor e propriedades físico-químicas de superfície), granulometria, área de superfície específica e relação de aspecto (LIMA, 2007).

De acordo com Lima (2007), a relação de aspecto é um dos parâmetros mais comumente empregado e relevante na seleção de cargas minerais. Ela refere-se à razão entre o maior (L) e menor diâmetro (B) de uma partícula, como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Representação esquemática da relação de aspecto em duas partículas.



Fonte: WYPYCH(2000).

Quanto menor for o tamanho de partícula maior será a área superficial da carga e conseqüentemente, a quantidade de interface polímero carga também é aumentada (DALPIAZ, 2006).

De acordo com o estudo de Lima (2007) os principais minerais, utilizados como carga em polímero são: talco, pirofilita, calcita, dolomita, caulinita, esmectita, muscovita, quartzo, wollastonita e barita.

As composições químicas, sistemas cristalinos e principais propriedades físicas do CaCO_3 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características físicas e químicas do mineral calcita

Mineral	Calcita
Fórmula Química	CaCO_3
Composição	53,0% CaO, 44,0% CO_2
Sistema cristalino	Trigonal
Propriedades ópticas	Uniaxial
Hábito	prismático, escalenoédrico, romboédrico
Clivagem	perfeita (10 - 11)
Dureza Mohs	3
Densidade	2,72
Cor	branco, cinza, vermelho

Fonte: Adaptado de LIMA, (2007).

As especificações das rochas calcárias variam em função do produto final que se deseja obter, estas podem ser físicas ou químicas, no entanto, em alguns casos, incluem-se os dois parâmetros. Especificações físicas, tais como durabilidade e degradação, são mais importantes quando a rocha é usada *in natura* (LUZ; LINS, 2008).

O controle das especificações químicas e físicas torna-se rígido quando o produto é usado, na maioria dos casos, nas indústrias de papel, plástico, tintas, borracha, siderúrgica e, ainda, na obtenção de carbonato de cálcio precipitado, além de outros, o controle granulométrico e a alvura também tem um controle rígido quando o produto de calcário é usado para fins nobres, como papel, tintas, borracha etc. (LUZ; LINS, 2008).

3.3.2 Carbonato de cálcio

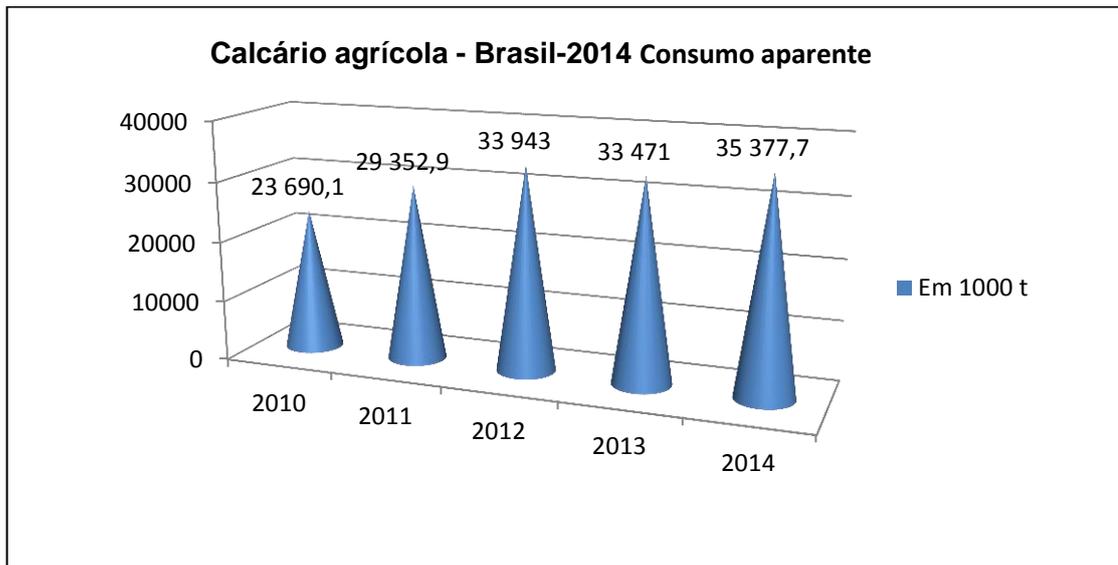
O carbonato de cálcio tornou-se o mineral mais utilizado como elemento de carga nas rotas processuais para as indústrias de papel e de plásticos. Pode ser utilizado, tanto na forma natural (*GCC - Ground Calcium Carbonate*), quanto na forma precipitada (*PCC - Precipitated Calcium Carbonate*) (OLIVEIRA, 2009).

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2015), as principais entidades que publicam informações sobre a produção mineral mundial, como o *United States Geological Survey*, (USGS), através do *Mineral Commodity Summaries*, e o *British Geological Survey* dentre outros, não divulgam estatísticas mundiais específicas sobre as reservas e produção de calcário para fins agrícolas, em parte devido à falta de estatísticas fornecidas pelos respectivos países e, em parte, devido à dificuldade de caracterização da produção de calcário diferenciada da produção de outras rochas comumente consideradas como calcário.

O *Mineral Commodity Summaries*, sugere que as reservas mundiais de calcário e dolomito, mesmo não sendo estimadas especificamente, seriam adequadas para atender a demanda mundial durante décadas. Estima-se que as maiores reservas estejam com os maiores produtores mundiais. Os maiores consumidores mundiais de calcário em 2014 foram: China, Índia, Estados Unidos, Iran, Turquia e Brasil (DNPM, 2015).

Os valores do consumo aparente do calcário agrícola no Brasil no ano de 2014, divulgados pelo Centro de tecnologia mineral (CETEM), está evidenciado na Figura 6.

Figura 6 - Consumo aparente de carbonato de cálcio em 2014.



Fonte: Centro de Tecnologia Mineral, 2015.

Na natureza, o carbonato de cálcio é encontrado em três morfologias: calcita romboédrica, aragonita, na forma de agulha, e vaterita esférica, sendo que a calcita é a forma mais estável do carbonato de cálcio (CHONG; SHEIKHOESLAMI, 2001; XIANG et al., 2002).

O carbonato de cálcio é produzido em diferentes distribuições de tamanho de partícula; grades comerciais incluem partículas muito finas que não estavam disponíveis há algumas décadas e também partículas com superfície modificada para facilitar a dispersão. As propriedades físicas destes compósitos dependem mais da distribuição do tamanho de partícula do que de seu tratamento superficial (WIEBECK; HARADA, 2012).

3.3.3 O Carbonato de cálcio Natural

Segundo (LUZ; LINS, 2008) o consumo é cerca de 1,3 milhões de toneladas/ano de carbonato de cálcio natural (*Ground Calcium Carbonate*) (GCC) na produção de resinas. O GCC com granulometria fina, bem como outros e os polímeros são adicionados à composição dos plásticos para melhorar suas propriedades físicas e as características de processabilidade.

Há diversas vantagens no uso do carbonato de cálcio natural na indústria de plásticos dentre outros, por exemplo: controlar a viscosidade e o coeficiente da expansão térmica do plástico na moldagem das placas, proporcionar resistência ao

polímero e reduzir o custo do produto acabado usado com sucesso na indústria automobilística, permitindo a obtenção de produtos que são competitivos com o aço e o alumínio (LUZ; LINS, 2008; MARINUCCI, 2011).

O carbonato de cálcio ultrafino ($<1,5 \mu\text{m}$) é usado na produção de plásticos que resultam nas mais variadas aplicações. Assim, são empregados na produção de: fraldas, filmes, móveis, materiais de construção, produtos automotivos, sacolas de lixo, tubos, baldes de lixo, embalagens de alimentos, papéis, garrafas sintéticas, além de outros (LUZ; LINS, 2008).

3.3.4 O Carbonato de Cálcio Precipitado

De acordo com Wiebeck e Harada (2012), o carbonato de cálcio precipitado é disponível a partir de dois processos: como pós especialmente fabricados por precipitação controlada a partir de sais de cálcio ou como subproduto de amolecimento de água “dura”. Ambas as fontes fornecem pós de partículas bem finas e poucas excedem $1\mu\text{m}$ (a média encontra-se abaixo deste valor). Por esta razão, estes carbonatos são normalmente fornecidos na forma recoberta para evitar aglomerações e ajudar na dispersão em composições poliméricas.

Segundo Carvalho e Almeida (1997) o método de obtenção de carbonato de cálcio precipitado mais usado consiste na calcinação do calcário, formando cal (CaO) e dióxido de carbono. Nessa etapa da calcinação há uma redução de 44% na massa original do CaCO_3 , em decorrência da liberação do CO_2 . Quando se utilizam calcários magnesianos, essa perda pode atingir o valor de 48%. Nos dois casos, a perda é conhecida como perda ao fogo (PF). A reação de calcinação é reversível, ou seja, a cal é um produto instável, que ao reagir com água, reação exotérmica, resulta na cal hidratada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, um produto mais estável.

A cal hidratada ao reagir com dióxido de carbono, resulta no carbonato de cálcio (CaCO_3), que se precipita. As vantagens do carbonato de cálcio precipitado em relação ao calcário natural estão ligadas, ao índice de alvura bastante elevado e à ausência de impurezas, como quartzo, ferro, entre outras (CARVALHO; ALMEIDA, 1997).

A vantagem do processo de precipitação é a possibilidade de recobrimento de partículas durante a sua produção, sem a necessidade de uma etapa adicional.

Contudo, o custo de produção destes carbonatos é consideravelmente maior que os carbonatos naturais. A absorção do polímero é maior para estes carbonatos porosos e o desenvolvimento da viscosidade também é maior (WIEBECK e HARADA, 2012)

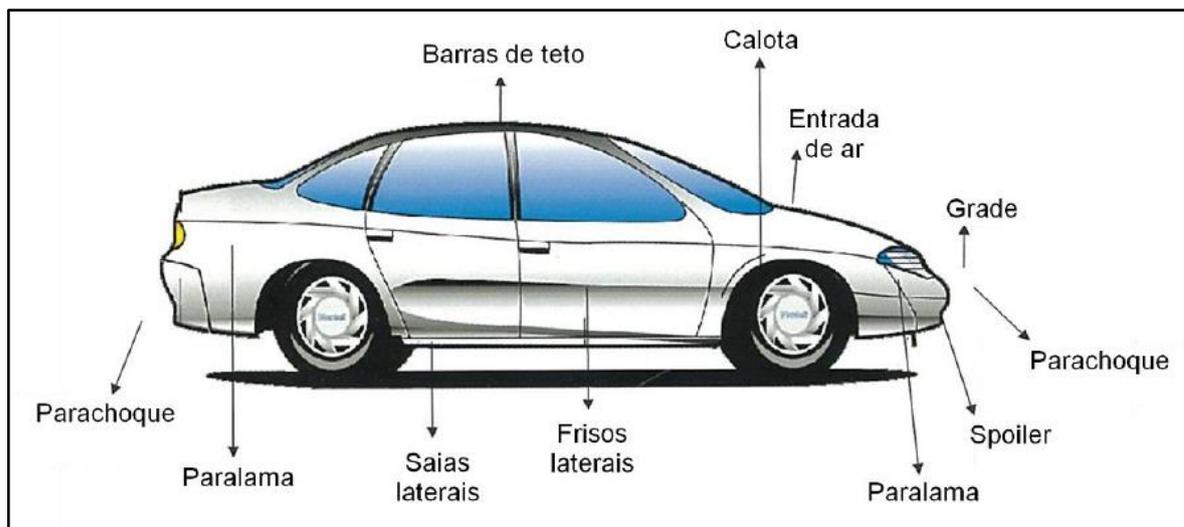
3.4 Usos do plástico no automóvel

Para a indústria automobilística, o Brasil se apresenta como um bem-sucedido fornecedor de polímeros de usos gerais e de alguns polímeros de uso específico, incluindo compostos e misturas poliméricas (HEMAIS, 2003).

Os compósitos de polipropileno para uso automotivo surgiram como alternativa aos plásticos de engenharia como ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno) e poliamidas, onde estes estavam superdimensionados em suas aplicações, proporcionando redução de custo e peso das peças metálicas (LEVY; PARDINI, 2006).

A aplicação do polímero num automóvel pode ocorrer em várias partes e as possibilidades do uso nas diversas localizações podem ser vista nas Figuras 7 e 8, e evidenciados as propriedades requeridas do plástico nas Tabelas 2 e 3.

Figura 7 - Desenho esquemático da utilização de plásticos no exterior do automóvel



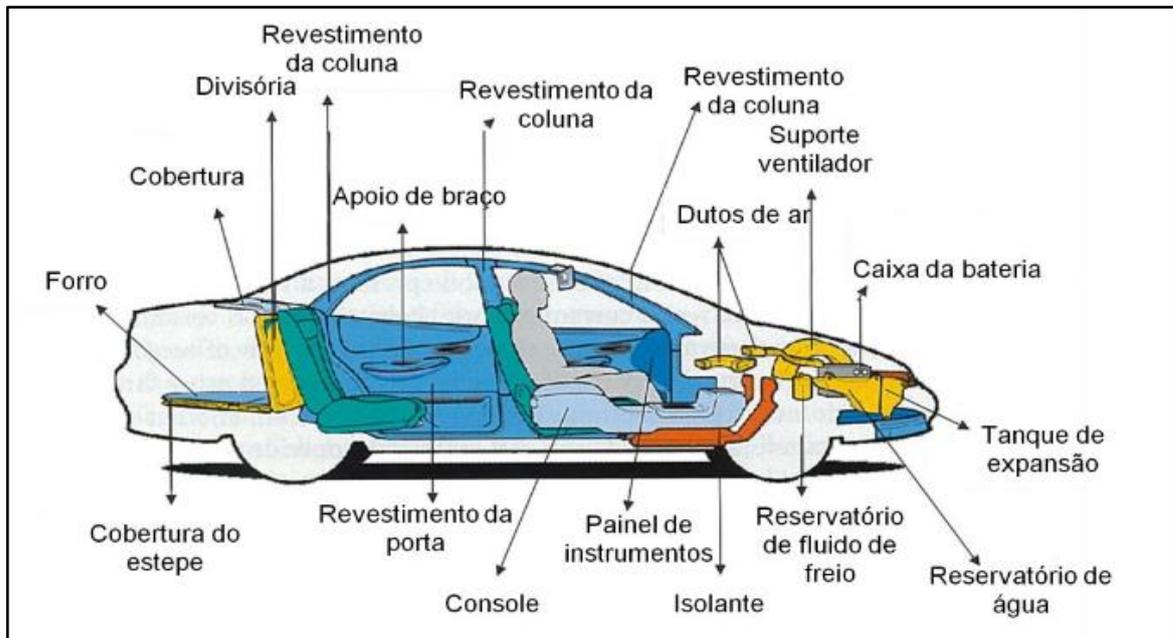
Fonte: PASQUINI, 2005.

Tabela 2 - Propriedades requeridas do plástico no exterior do automóvel.

Localização	Propriedades requeridas
Exterior	Alta fluidez Alta resistência a U.V Alta resistência ao impacto à baixa temperatura Boa ancoragem a pintura Boa estabilidade dimensional Boa estabilidade térmica Boa processabilidade sem defeitos superficiais Tolerância a danos

Fonte: SHARMA, 2012.

Figura 8 - Desenho esquemático da utilização de plásticos no interior do automóvel



Fonte: PASQUINI, 2005.

Tabela 3 - Propriedades requeridas do plástico no interior do automóvel.

Localização	Propriedades requeridas
Interior	Alta fluidez Amortecimento de som Baixa emissão Baixo brilho Baixo odor Boa resistência ao risco Médio para alto impacto
Compartimento do motor	Alta resistência Alta resistência à temperatura Amortecimento de som Bom controle de contração e deformação Durabilidade Dureza Resistência ao desgaste Resistência química

Fonte: SHARMA, 2012.

3.5 Propriedades mecânicas dos polímeros

Os valores de propriedades mecânicas como resistência à tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, podem servir como base de comparação do desempenho mecânico dos diferentes polímeros, assim como para a avaliação dos efeitos decorrentes da modificação do polímero-base (reforços, cargas, aditivos, plastificantes), para especificações etc. (CANEVAROLO Jr., 2007).

Os valores de propriedades mecânicas são obtidos através de ensaios mecânicos padronizados entre eles os da *American Society Standard Material* (ASTM), é a norma mais utilizada.

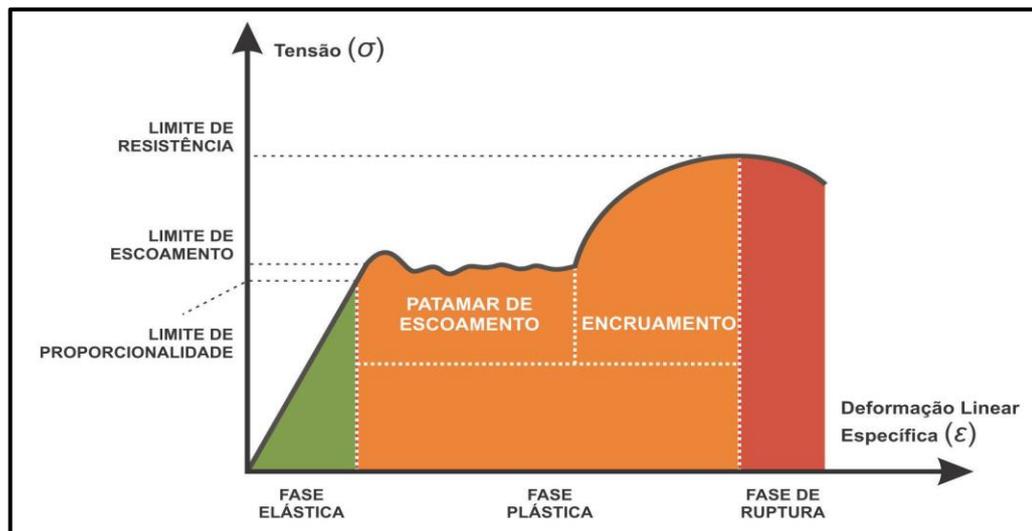
3.5.1 Tração

A realização do ensaio de tração é bem simples e rápida, além de fornecer informações importantes e primordiais para o projeto (CALLISTER, 2006). O método ASTM D 638-14 normatiza os ensaios de resistência a tração.

Nos ensaios de tração, os corpos de prova são fixados em dispositivos chamados de garras, estas são acopladas à travessa fixa e móvel da Máquina Universal de Ensaios. A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra e registrada pela célula de carga, ambos acoplados à travessa fixa (MARINUCCI, 2011).

Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ensaio, o qual é conhecido como gráfico tensão – deformação Figura 9.

Figura 9 - Gráfico tensão versus deformação.



Fonte: (ANDRADE, 2015).

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados através dos ensaios de tração são: resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade, conhecido também como Módulo de Young.

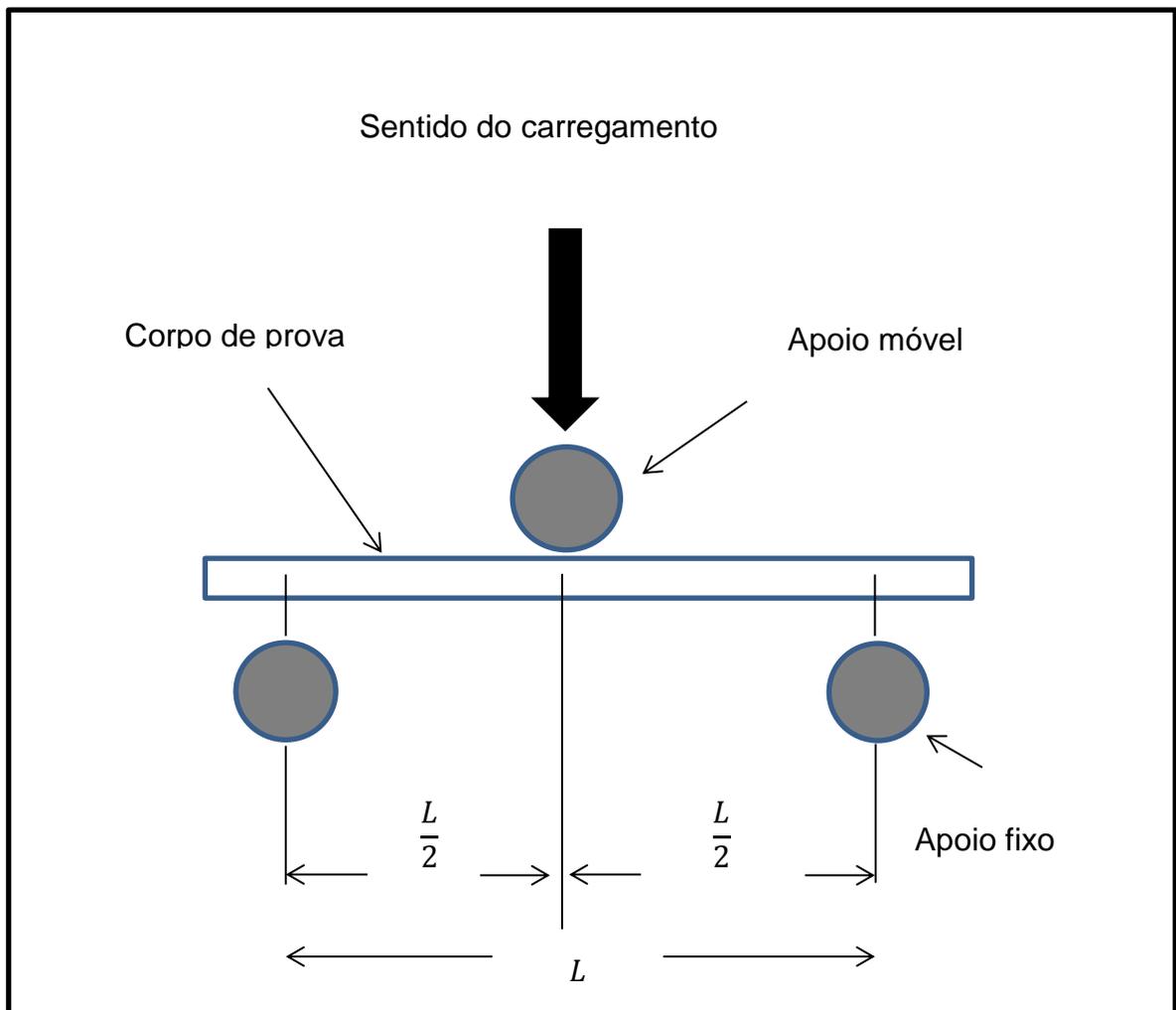
A resistência a tração é avaliada por unidade de área no momento da ruptura, o alongamento representa o aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura. O módulo de elasticidade ou módulo de Young é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do limite elástico, em que a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão (CANEVAROLO, 2004).

Segundo Callister (2006), em se tratando de módulo de elasticidade este pode ser pensado como a rigidez ou uma resistência do material à deformação elástica.

3.5.2 Flexão

Um importante ensaio, utilizado em materiais compósitos é o ensaio de flexão, o qual apresenta grande similaridade com o ensaio de cisalhamento interlaminar e consiste em posicionar o corpo de prova sobre dois apoios e aplicar uma carga sobre o ponto central como pode ser visualizado na Figura 10. (CANEVAROLO Jr, 2007).

Figura 10 - Representação esquemática do dispositivo de ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Adaptado de (CANEVAROLO Jr., 2007).

As propriedades mais interessantes a serem observadas de acordo com Callister (2006) são a resistência à flexão e o módulo de elasticidade em flexão, o qual é encontrado da mesma forma que no ensaio de tração, calculando-se a razão entre tensão e a deformação dentro do momento elástico do ensaio. Os ensaios de flexão em polímeros são descritos na norma ASTM D790-13.

3.5.3 Impacto

E se tratando de resistência, de acordo com Canevarolo Jr. (2007) a resistência ao impacto é uma das propriedades mais requisitadas para a especificação do comportamento mecânico de polímeros, principalmente os plásticos. A resistência ao impacto depende da força máxima que um material pode suportar sob impacto sem se romper.

O objetivo do ensaio de impacto é medir a susceptibilidade relativa de um corpo de prova padrão à solicitação ao impacto através de uma máquina de ensaio. O ensaio de impacto Charpy indica a energia necessária para quebrar corpos de prova, entalhados sob condições padronizadas. (CANEVAROLO Jr., 2007).

Podem-se usar corpos de prova com entalhes na forma de U ou em V, que serão fixados na horizontal e golpeados por um pêndulo de energia padronizado em *Joules* (J). Os ensaios de resistência ao impacto são realizados de acordo com o método ASTM D 6110-10. A energia gasta no impacto é usualmente dividida pela espessura do corpo de prova na região do entalhe ($J \cdot m^{-1}$), ou pela área original do corpo de prova sem entalhe ($kJ \cdot m^{-2}$) (ANDRADE, 2015).

3.6 Índice de Fluidez

Define-se o índice de fluidez (MFI) como sendo a quantidade em gramas de polímero, que flui durante dez minutos através de um orifício calibrado, em condições de força e de temperatura definidas (COSTA et al., 2016).

A viscosidade dos materiais poliméricos também é um fator importantíssimo que afeta as suas propriedades. Esta viscosidade está diretamente relacionada com a massa molecular do material e suas configurações moleculares e pode ser mensurada por várias técnicas como o de índice de fluidez. O teste de índice de

fluidez é uma técnica mais simples, mas é amplamente utilizado nas indústrias, principalmente na área automotiva (OTA, 2004; PEREIRA, 2016).

A determinação é efetuada extrusando-se o polímero em um reômetro capilar, que consiste de um barril de extrusão aquecido, na extremidade do qual é montada uma matriz capilar de dimensões específicas. O reômetro é operado com pressão imposta, decorrente da aplicação de uma carga constante e bem definida no topo da coluna do fundido. O índice de fluidez é obtido a partir da taxa de fluxo do fluido sob imposição desta carga, e seu valor é expresso pela quantidade de material extrusado, em gramas, por 10 minutos (ROCHA; COUTINHO; BALKE, 1994)

3.7 Propriedades térmicas

A análise térmica é um conjunto de técnicas que permite medir variações de uma determinada propriedade do polímero, submetendo o material a um programa de aquecimento ou resfriamento, portanto como função da temperatura. Outra condição é aquela em que a temperatura é mantida constante, chamada isoterma, e algum parâmetro é analisado em função do tempo. A TGA (*Análise Termogravimetria*) e o DSC (*Calorimetria Exploratória Diferencial*) estão entre as principais técnicas usadas para análise térmicas (MARINUCCI, 2011).

A termogravimetria (TG) é uma técnica de análise térmica conforme a variação da massa da amostra (perda ou ganho) é determinada em função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada da temperatura.

No método termogravimétrico convencional ou dinâmico, são registradas curvas de massa da amostra em função da temperatura. Esta técnica possibilita conhecer as alterações que o aquecimento pode provocar na massa das substâncias, permitindo estabelecer a faixa de temperatura em que elas adquirem composição química, fixa, definida e constante a temperatura em que começam a se decompor, acompanhar o andamento de reações de desidratação, oxidação, combustão e decomposição (CANEVAROLO Jr., 2007).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Polipropileno (PP)

A matriz usada foi o polipropileno PROLLEN® PF- 6140, gentilmente cedido pelo Prof. Dr. Clodoaldo Saron da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL/USP).

4.1.2 Carbonato de Cálcio (CaCO₃)

Para a confecção dos compósitos foi utilizado como reforço o carbonato de cálcio precipitado cuja referência é Barrafil CS 21, que foi gentilmente cedido pela empresa Imerys, cujas especificações encontram - se na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações do Carbonato de Cálcio

Teor de sólidos	17,0 a 22,0%
Alcalinidade	< 0,009%
PSD97	3,2 a 5,6 µm
PSD50	1,7 a 2,3 µm
PSD < 1 µm	5 a 17 %
Cloro residual	5 a 16 ppm
Alvura (ISO)	96 a 98
Ph	7,25 a 7,65
Morfologia calcítica	95 a 100 %

Fonte: (IMERYS, 2015)

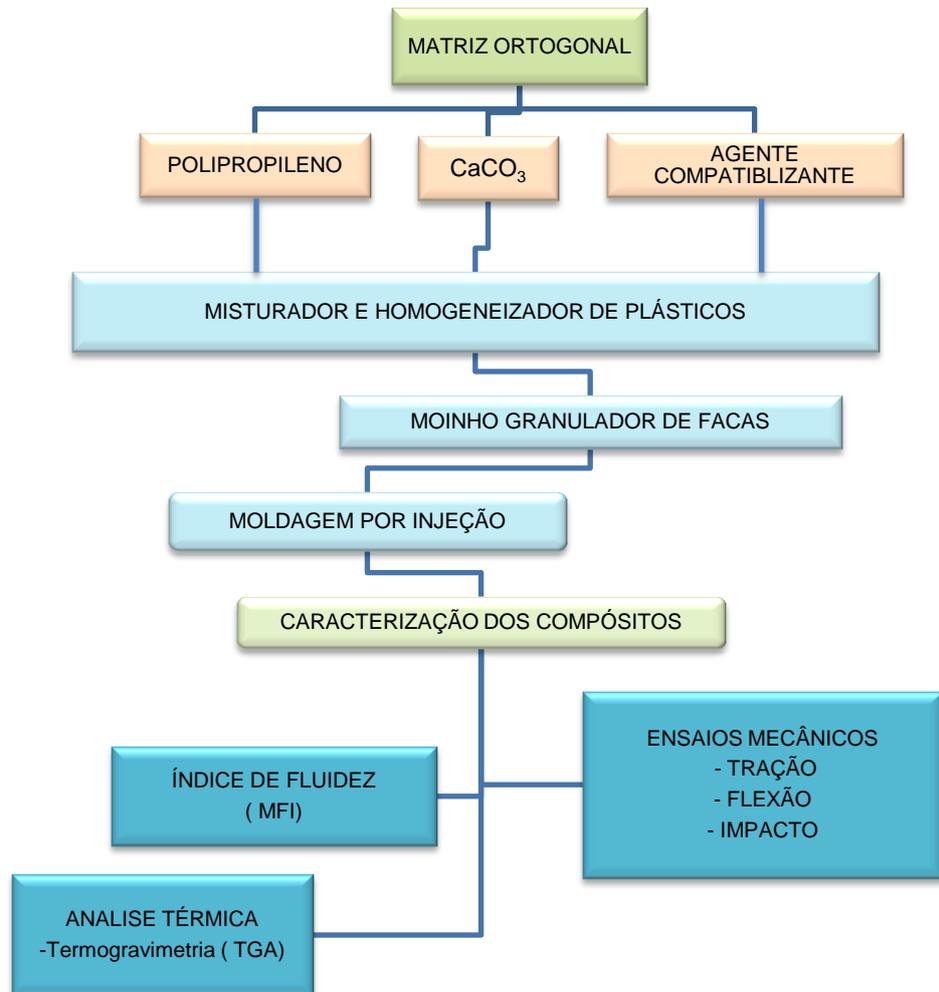
4.1.3 Agente compatibilizante

Como agente compatibilizante foi usado o EPOLENE, que foi cedido pelo UniFOA. De acordo com Levy e Pardini (2006), o agente compatibilizante também conhecido como agente interfacial, atua fortemente na compatibilização de resinas e compósitos, esta substância possui estrutura cabeça-cauda, sendo a cabeça com afinidade polar (possui grupos fortemente polares) e a cauda com afinidade apolar (grande estrutura apolar). Com esta estrutura química é possível aumentar a compatibilidade.

4.2 Obtenção dos compósitos

Para obtenção dos compósitos foi adotado o fluxograma mostrado na Figura 8, que descreve as etapas envolvidas neste trabalho.

Figura 8 - Fluxograma empregado na metodologia deste trabalho.



Fonte: O Autor, 2017.

Segundo Wiebeck e Harada, (2012) o homopolímero e o copolímero de polipropileno aceitam carbonato de cálcio de 20% a 50% em massa. Com base em tal afirmativa, foi adotado neste trabalho os teores de 10% e 30% em massa de CaCO_3 . A fim de obter uma compatibilização entre a matriz e o carbonato, foi usado também um agente de acoplamento, que é polipropileno graftizado com anidrido Maleico.

Para o compatibilizante, foram adotadas as proporções de 5% e 10% em massa.

A Tabela 5 descreve as diferentes proporções de CaCO_3 e o agente compatibilizante usado nos compósitos, incluindo o polipropileno puro para efeito de comparação.

Tabela 5 - Descrição dos compósitos e suas respectivas proporções em massa.

AMOSTRA	Polipropileno (PP) (%)	CaCO_3 (%)	Agente Compatibilizante (%)
PP. PURO	100	---	---
E1. 90PP/10C	90	10	---
E2. 70PP/30C	70	30	---
E3. 80PP/10C/10A	80	10	10
E4. 60PP/30C/10A	60	30	10
E5. 75PP/20C/5A	75	20	5

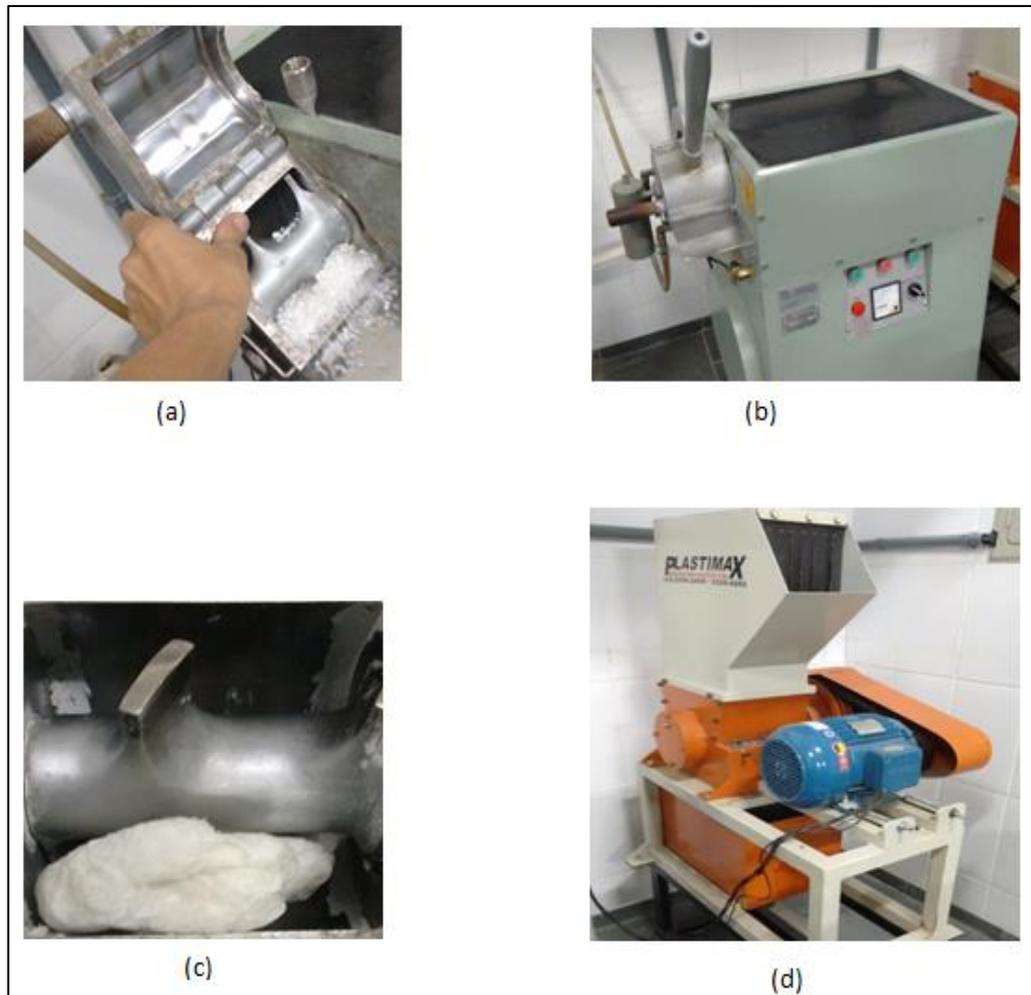
Fonte: O Autor, 2017.

O polipropileno, o agente compatibilizante e o CaCO_3 foram pesados numa balança de precisão a fim de obter a mistura com as respectivas proporções de acordo com os respectivos experimento mostrado na tabela acima.

Os compósitos foram obtidos com diferentes proporções de reforço e agente compatibilizante, visando avaliar a interação carga mineral, sendo o processo de mistura feitos num homogeneizador de plásticos *Dryser* da MH Equipamentos (modelo MH-50H), disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA.

A mistura do compósito obtida no homogeneizador termocinético, após esfriar para cerca de 22°C na temperatura ambiente, foi inserida num moinho granulador de facas. A Figura 11 evidencia algumas dessas etapas para a confecção dos corpos de prova para as caracterizações.

Figura 11 - Processamento dos materiais no laboratório: (a) Detalhe das proporções inseridas no compartimento de mistura; (b) homogeneizador termocinético Dryser; (c) Detalhe da paleta e o material homogeneizado; (d) moinho granulador de facas.



Fonte: O Autor, 2017.

Após a etapa de moagem de cada mistura, foi separado o moído de cada amostra, sendo em seguida separados de cada para os ensaios de fluidez 10g e para a análise térmica 5g, o restante foi usado para injeção dos corpos de provas.

Para injetar os corpos de prova em seus respectivos moldes foi utilizada uma injetora RAY RAM - modelo TSMP, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA.

Os compósitos foram injetados em moldes para corpos de prova de tração e flexão, contendo cavidades com dimensões específicas para ensaios mecânicos de polímeros, em conformidade com as normas ASTM D 638-14 e ASTM D 790 – 15.

4.3 Ensaios Mecânicos dos Compósitos

4.3.1 Tração

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, utilizando-se um equipamento da marca EMIC (Figura 12), com célula de carga de 5 kN a uma velocidade de 5 mm.min⁻¹.

Figura 12 - Máquina de ensaios mecânicos EMIC:
No momento em que se realizava um ensaio de tração.

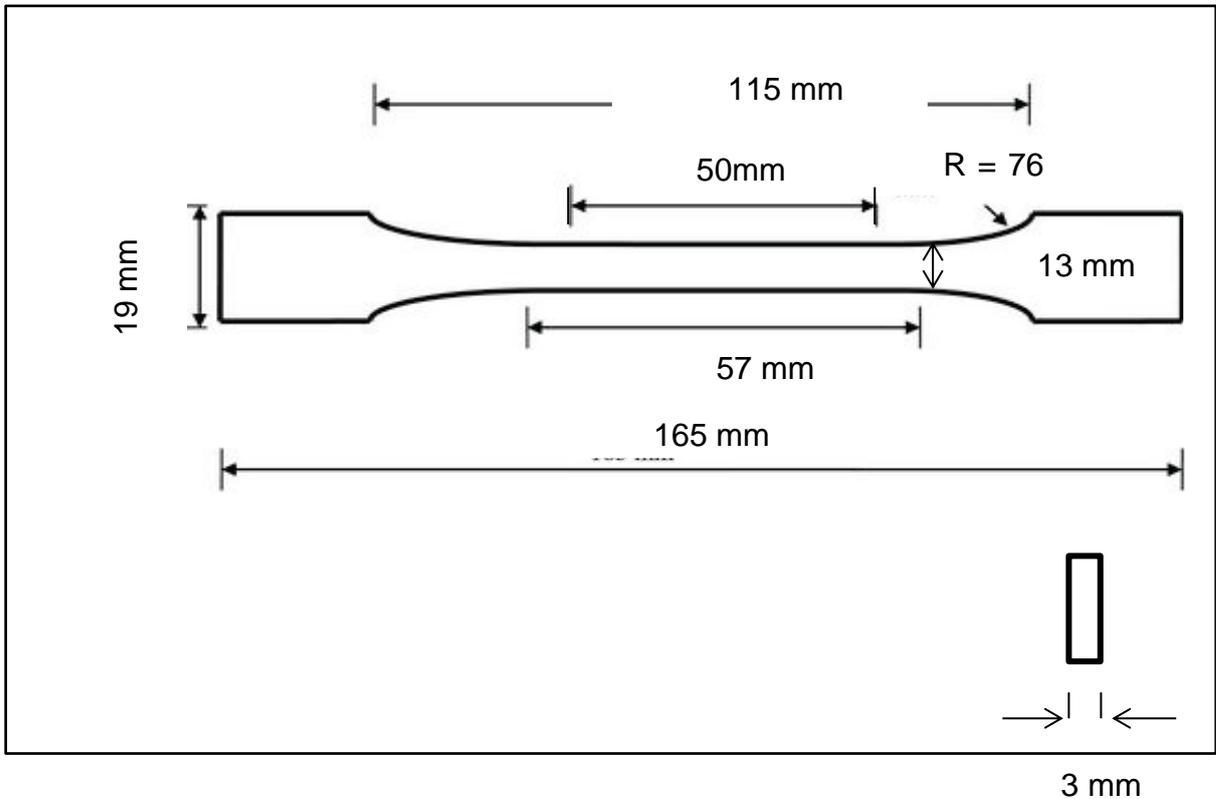


Fonte: do autor, 2017.

Para cada compósito avaliado foram ensaiados 05 corpos de provas de cada experimento. Conforme a norma ASTM D 638 – 14 que padroniza os ensaios de tração em polímeros, os ensaios foram realizados numa temperatura de 20°C.

As dimensões do corpo de prova realizadas no ensaio, em concordância com a norma estão evidenciadas na Figura 13. Foram avaliadas as propriedades mecânicas de resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade.

Figura 13: Especificações das medidas do corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: Adaptado de CANEVAROLO Jr., 2007

4.3.2 Flexão

No ensaio de resistência à flexão foi utilizado um equipamento da marca EMIC Figura 14, disponível no Laboratório de Ensaio Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA. Foram analisadas as propriedades mecânicas de resistência à flexão e módulo de elasticidade em flexão.

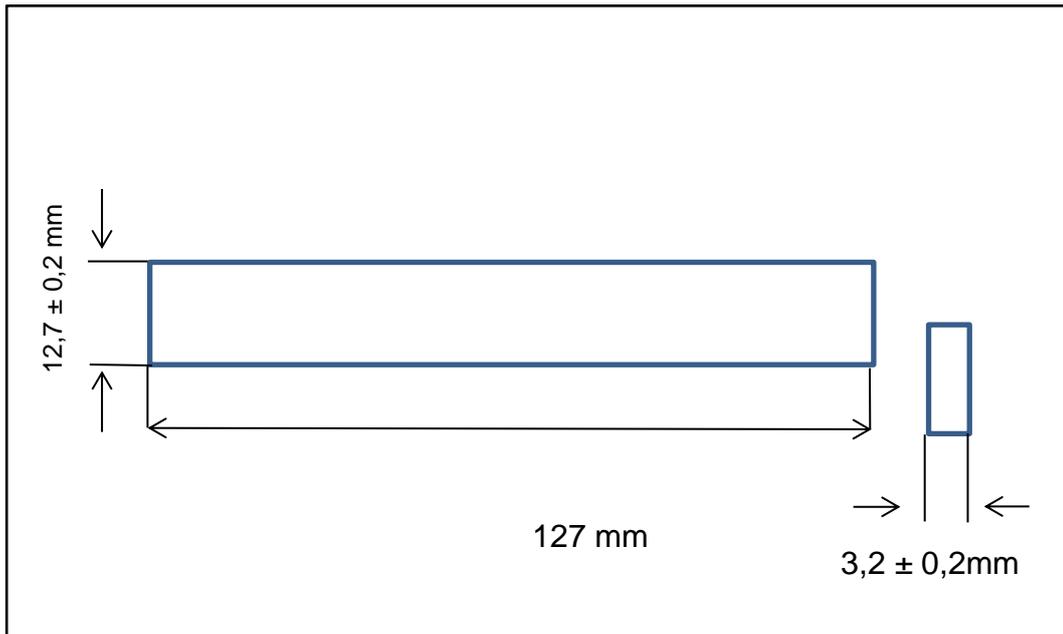
Figura 14 - Dispositivo usado no ensaio de flexão



Fonte: o autor, 2017.

Os resultados foram obtidos pela média de 05 corpos de provas ensaiados, numa temperatura de 20°C em conformidade com a norma ASTM D 790-15, que padroniza os ensaios de flexão em polímeros. A dimensão do corpo de prova para ensaio de resistência à flexão está evidenciada na Figura 15.

Figura 15 - Especificações das medidas do corpo de prova para o ensaio de flexão de acordo com a Norma ASTM D 790 - 15.



Fonte: Adaptado de CANEVAROLO Jr., 2007.

Nos ensaios de resistência à flexão, foram utilizadas a razão L/d (onde L = distância entre apoios) igual a 80 mm, velocidade de ensaio de $3,00 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, com célula de carga de 5 kN.

4.3.3 Impacto

Os ensaios de impacto foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos da Universidade Federal Fluminense – UFF, campus Vila, Volta Redonda, utilizando a máquina de ensaios de impacto, da marca *Wolfgang Ohst Rathenow* Figura 16. O ensaio realizado foi do tipo Charpy utilizando um pêndulo de 4J.

Figura 16 Máquina de ensaios de impacto Charpymarca Wolfgang Ohst Rathenow



Fonte: do autor, 2017.

Foram ensaiados 05 corpos de provas de cada experimento com as dimensões especificadas na norma ASTM D – 270 que padroniza os ensaios de impacto. Os ensaios foram realizados na temperatura de 24°C e os resultados foram obtidos pela média dos valores de energia absorvida das amostras dos compósitos e do PP - Puro.

4.4 Índice de Fluidez

Os ensaios para a determinação dos índices de fluidez foram realizados utilizando-se um equipamento para ensaios de índice de fluidez marca DSM, modelo MI-3, locado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

A pesagem das amostras foi realizada utilizando-se balança analítica marca Shimadzu, modelo AX 200. O ensaio de índice de fluidez foi realizado conforme diretrizes gerais da Norma ASTM D 1238 -13, “*Standard Test Method for Melt Flow*

Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer”, método A. Foi utilizada a temperatura de 230°C e peso de 2,160 kg, com tempo de corte de 30 s.

4.5 Análise térmica - Termogravimetria (TGA)

Os ensaios de TGA necessários para a análise da estabilidade e decomposição dos compósitos foram realizados no Departamento de Materiais e Tecnologia (DMT), da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em um equipamento da marca SII Nano Technology INC, serie EXSTAR 6000, modelo TG/DTA 6200, com razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em um recipiente para amostra de platina em atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo gasoso de $100\text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$.

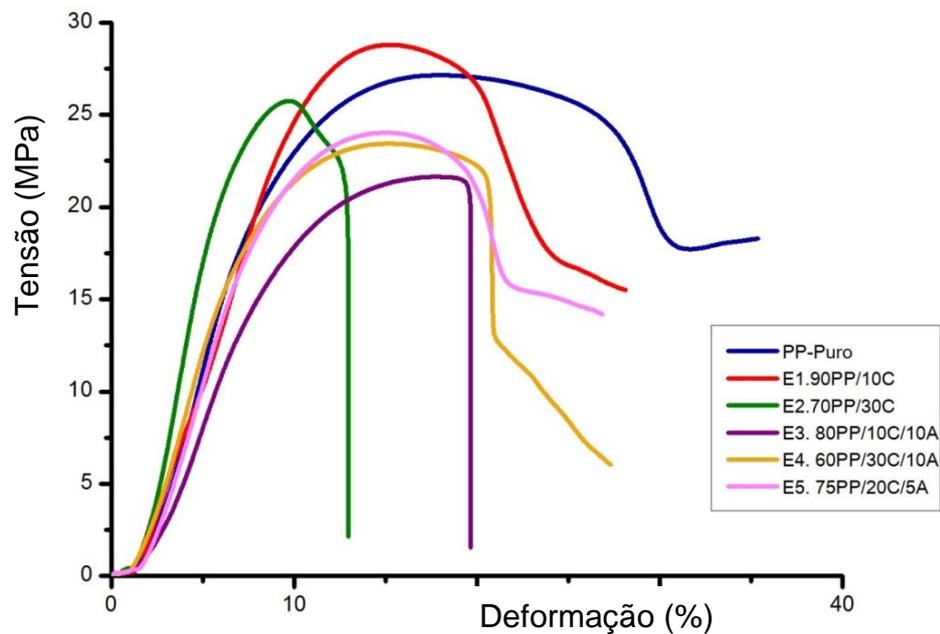
Para analisar o comportamento térmico de todos os materiais utilizou-se uma faixa de temperatura que vai de 30°C e 600°C e a massa utilizada foi de aproximadamente 15 mg. O equipamento foi calibrado e ajustado de acordo com as especificações do fabricante. A definição da temperatura inicial de degradação baseou-se na norma ASTM E2550-11, pela qual a temperatura foi determinada quando a primeira deflexão na linha de base da curva TGA ou DTG foi observada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Ensaios de Tração

A análise dos resultados do ensaio de tração foi realizada através do valor médio das diferentes amostras, e evidenciadas na Figura 17, onde são apresentadas as curvas de tensão *versus* deformação para o polipropileno puro e os compósitos.

Figura 17 - Gráfico tensão deformação.



Fonte: do autor, 2017.

Através das curvas provenientes do ensaio de tração foi possível perceber inicialmente uma deformação elástica seguida de uma região plástica, o que é um comportamento característico de material plástico, apresentando deformação elástica inicial seguida de deformação plástica. O mesmo comportamento foi observado por (MARCZUK, 2015; SILVA, 2016).

Notou-se também que, com o acréscimo de carga mineral, houve uma redução da tenacidade dos compósitos, o que pode ser visualizado pela menor área sob a curva até a ruptura.

Os valores do ensaio de tração foram obtidos, pela média do ensaio de 05 corpos de provas de cada experimento e do polipropileno puro, a Tabela 6 apresenta os valores da média dos limites de resistência à tração, Módulo de elasticidade e alongamento,

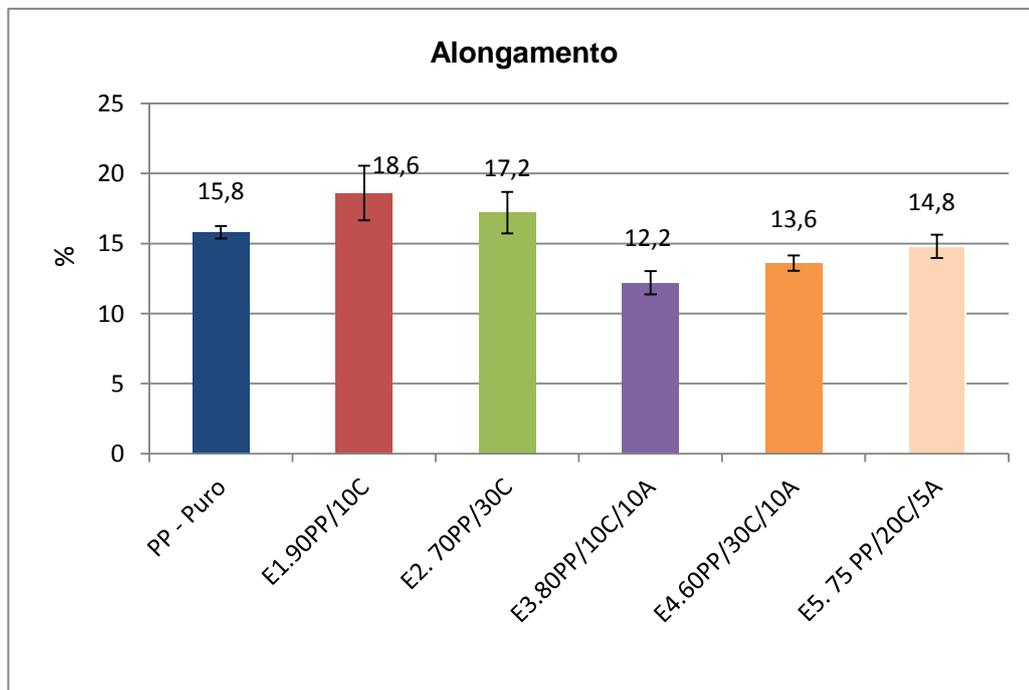
Tabela 6 - Resultados do ensaio de tração.

AMOSTRAS	Alongamento até Tensão máxima (%)	Limite de resistência à Tração (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)
PP – Puro	15,80 ± 0,45	26,20 ± 0,84	211,20 ± 25,53
E1.90PP/10C	18,60 ± 1,95	28,40 ± 0,55	286,00 ± 46,66
E2. 70PP/30C	17,20 ± 1,48	24,40 ± 2,51	283,60 ± 27,74
E3.80PP/10C/10A	12,20 ± 0,84	20,80 ± 2,17	172,80 ± 3,50
E4.60PP/30C/10A	13,60 ± 0,55	22,40 ± 0,89	216,20 ± 10,85
E5. 75 PP/20C/5A	14,80 ± 0,84	23,60 ± 0,89	211,40 ± 12,70

Fonte: do autor, 2017.

Na Figura 18 estão apresentados, os resultados comparativos da alongação entre os compósitos com os diferentes teores de carbonato e o PP-Puro.

Figura 18 - Gráfico comparativo de valores do alongamento até a tensão máxima.



Fonte: do autor, 2017.

5.2 Alongamento

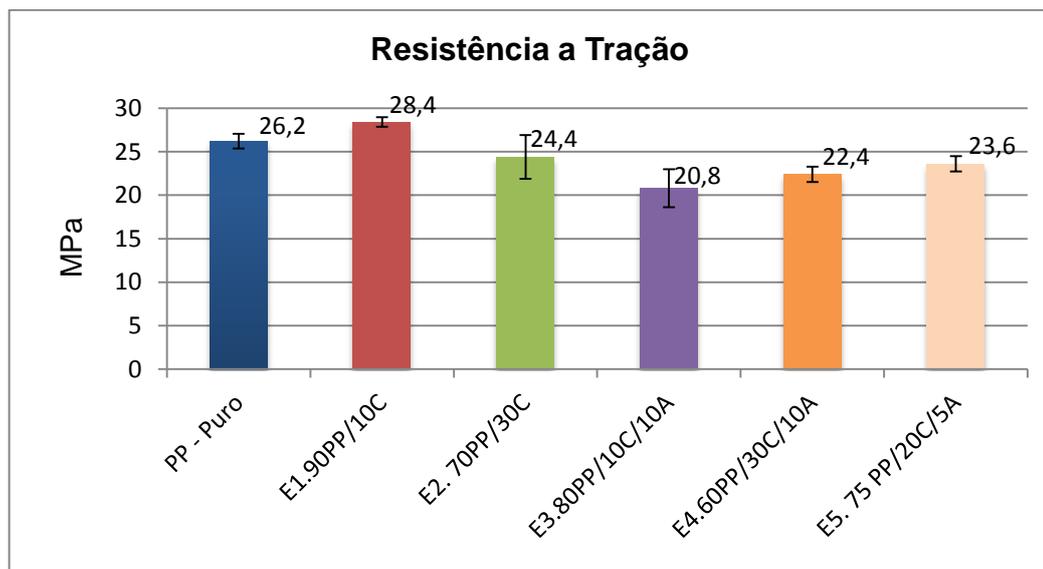
Quanto à rigidez, no alongamento até a tensão máxima, o compósito compatibilizado não influenciou significativamente, o experimento que apresentou melhor resultado comparado ao PP-Puro foi o E5. 75 PP/20C/5A.

O compósito E1. 90PP/10C comparado com o PP-Puro foi o que apresentou melhor resultado, um aumento de 17,72% na elongação. A maior redução foi o E3.80PP/10C/10A de 22,78% na elongação.

5.3 Tração

A Figura 19 evidencia os valores dos limites de resistência a tração do PP-Puro e dos compósitos com as suas respectivas proporções.

Figura 19 - Gráfico comparativo de valores de tração



Fonte: do autor, 2017.

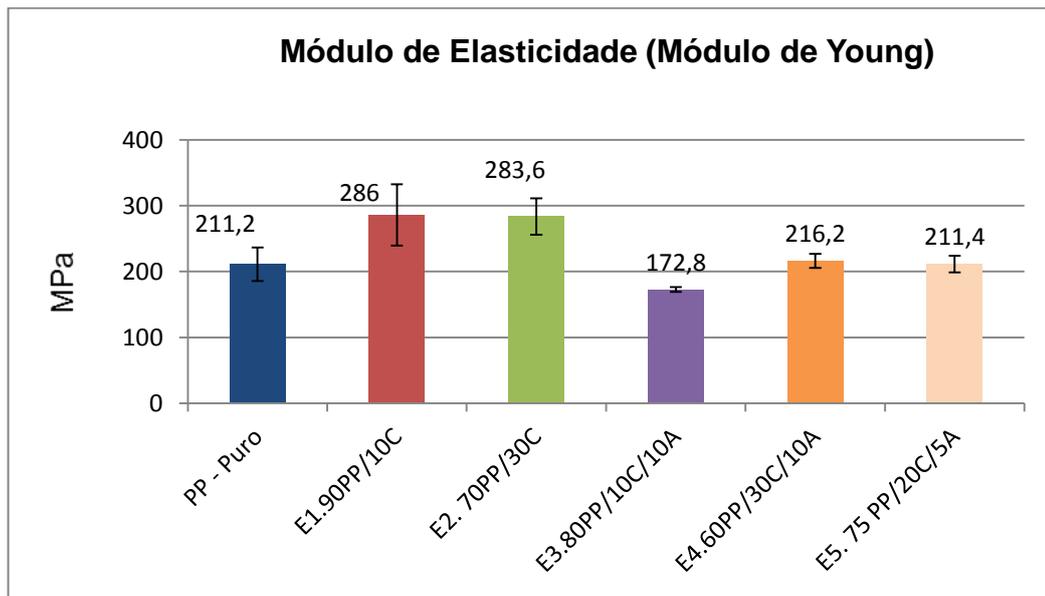
Analisando os dados da Tabela 9 e a Figura 19, foi possível observar que o compatibilizante não contribuiu na melhoria da resistência a tração. Os compósitos que foram adicionados compatibilizante apresentaram valores menores, quando comparado com os compósitos não compatibilizados.

O compósito que mais se destacou na melhora da propriedade em relação à matriz foi o E1. 90PP/10C.

Os resultados dos ensaios de tração revelaram que a adição de maiores teores de CaCO_3 aumentou alongamento, diminuiu a resistência à tração e aumentou o módulo de elasticidade.

A Figura 20 mostra os módulos de elasticidade obtidos no ensaio de tração dos compósitos com CaCO_3 e o PP-Puro.

Figura 20 - Gráfico comparativo de valores do Módulo de elasticidade.



Fonte: do autor, 2017.

5.4 Módulo de elasticidade (Módulo de Young)

Analisando os dados da Tabela 9 e a Figura 20, pode-se observar que o compósito com resultado mais relevante foi o E1.90PP/10C quando comparado ao E2.70PP/30C.

Os compósitos E1.90PP/10C e E2.70PP/30C apresentaram um aumento de cerca de 35% na rigidez quando comparados com o PP-Puro.

A rigidez dos compósitos foi aumentada ao se inserir maiores teores de CaCO_3 nos compósitos não compatibilizados.

Com o uso do compatibilizante, o compósito E3.80PP/10C/10A comparado com o E4.60PP/30C/10A resultou na melhoria dessa propriedade, em função do aumento no teor de CaCO_3 .

O módulo de elasticidade pode ser melhorado consideravelmente tanto com E1.90PP/10C e E2.70PP/30C. Com isso pode-se obter uma economia, de 30% de PP-Puro.

5.4.1 Ensaio de Flexão

Os resultados do ensaio de Flexão foram obtidos pelo cálculo da média dos ensaios de 05 amostras de cada experimento. Os valores dos ensaios mecânico de cada propriedade podem ser visualizados na Tabela 7.

Estes valores quantificam a deformação destes quando expostos a carga de flexão.

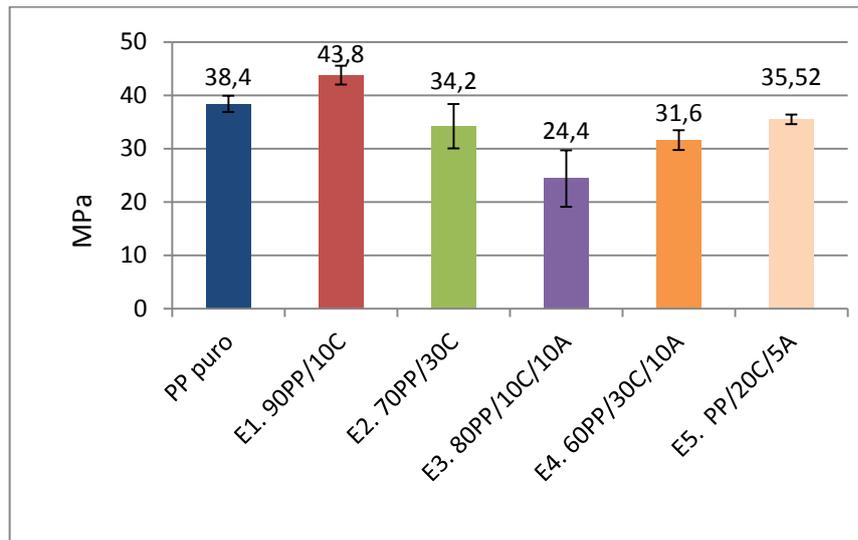
Tabela 7 - Resultados de Flexão.

AMOSTRAS	Resistencia à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PP-Puro	38,40 ± 1,52	983,80 ± 43,56
E1.PP/10C	43,80 ± 1,76	1525,00 ± 238,66
E2. PP/30C	34,20 ± 4,16	1401,40 ± 199,10
E3.PP/10C/10A	24,40 ± 5,28	888,20 ± 47,84
E4.PP/30C/10A	31,60 ± 1,84	948,8 ± 61,82
E5.PP/20C/5A	35,52 ± 0,90	1031,60 ± 113,61

Fonte: do autor, 2017.

Nas Figuras 21 e 22 são apresentados os gráficos comparativos dos valores da propriedade de Resistência à Flexão e Módulo de Elasticidade.

Figura 21 - Gráfico de Flexão

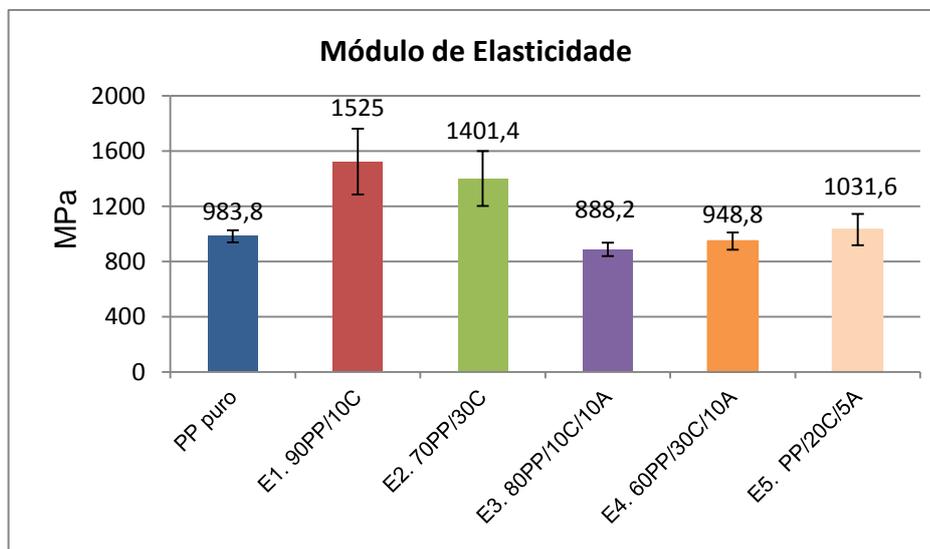


Fonte: do autor, 2017.

Analisando se os resultados entre o E1.PP/10C e o E2. PP/30C pode-se perceber que a adição de maiores teores de CaCO_3 na matriz de polipropileno não compatibilizado, diminuiu a resistência a flexão. Segundo Garay (2010) a matriz perde flexibilidade com maiores teores de cargas inorgânicas e aumentam os pontos de falha e com isso diminui se a resistência à flexão.

Aumentando-se o teor de CaCO_3 e conservando o mesmo percentual de compatibilizante, E3.PP/10C/10A e E4.PP/30C/10A, percebeu-se que num maior teor CaCO_3 ocorreu um ligeiro aumento de resistência à flexão, mas inferior ao PP-puro.

Figura 22 - Gráfico comparativo dos resultados Módulo de elasticidade em Flexão



Fonte: Do autor, 2017.

O compósito E1.PP/10C apresentou aumento na rigidez de 55% quando comparado ao PP-Puro.

O compósito E2.PP/30C apresentou aumento na rigidez de 42,2% quando comparado ao PP-Puro.

Nos compósitos E3. PP/10C/10A e E4.PP/30C/10A , que foram compatibilizados, pode-se notar aumento na rigidez à medida em que se aumentaram os teores de CaCO_3

Comparando se os experimentos E4.60PP/30C/10A e E5.75PP/20C/5A, pode-se concluir que a redução de compatibilizante melhorou o módulo de elasticidade.

5.4.2 Ensaio de Impacto

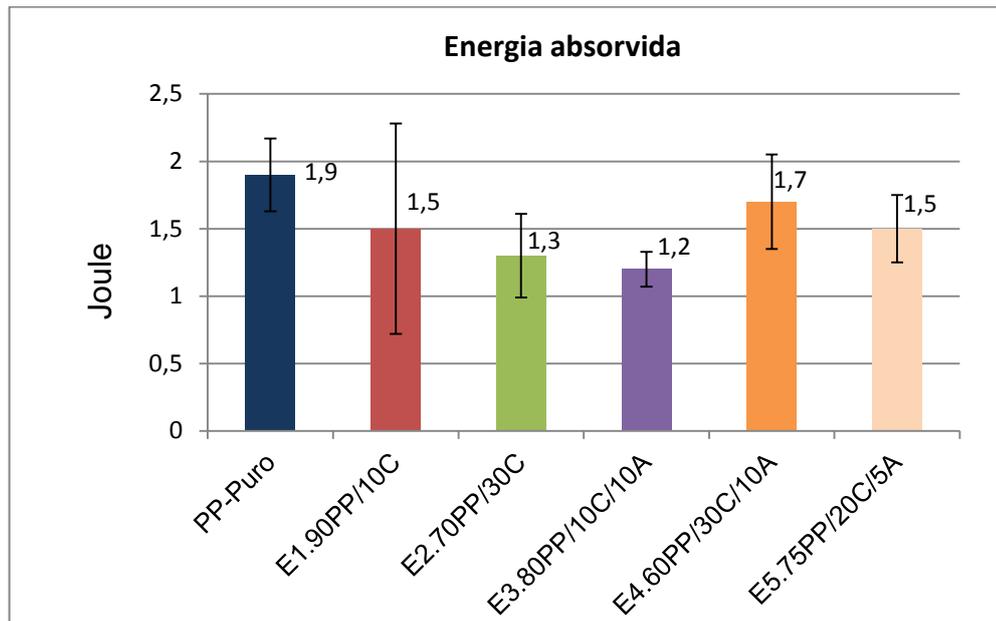
Os resultados dos ensaios de impacto foram obtidos através da média de 05 amostras de cada experimento e do PP-puro. Os valores da energia absorvida e resistência ao impacto, obtidos no ensaio de Impacto Charpy encontram-se na Tabela 8 e o gráfico dos valores comparativos da energia absorvida podem ser visualizados na Figura 23.

Tabela 8 - Valores da energia absorvida.

Amostras	Energia absorvida (J)	Resistência ao impacto (kJ . m⁻²)
PP- Puro	1,90 ± 0,27	25,39 ± 2,97
E1.90PP/10C	1,50 ± 0,78	20,04 ± 8,58
E2.70PP/30C	1,30 ± 0,31	17,32 ± 3,41
E3.80PP/10C/10A	1,20 ± 0,13	16,03 ± 1,43
E4.60PP/30C/10A	1,70 ± 0,35	22,71 ± 3,85
E5.75PP/20C/5A	1,50 ± 0,25	20,04 ± 2,75

Fonte: do autor, 2017.

Figura 23 - Gráfico dos valores da energia absorvida no Impacto



Fonte: do autor, 2017.

O aumento do teor de CaCO_3 dos compósitos, E1.90PP/10C com o E2.70PP/30C, influenciou no valor da energia absorvida ao impacto nos compósitos. De acordo com GARAY, (2010), isto pode ser ocorrido devido ao fato do compósito ter ficado mais rígido em concentrações maiores de CaCO_3 e absorvendo menos energia durante o impacto e fraturando de forma frágil.

Entre os compósitos E3.80PP/10C/10A e E4.60PP/30C/10A, também pode se concluir que à medida que se aumentou a quantidade de CaCO_3 , ocorreu uma melhoria na absorção da energia, dado o uso do compatibilizante que, por sua vez, contribuiu com a adesão entre a carga e a matriz facilitando a transferência da energia de impacto.

Comparando o E3.80PP/10C/10A e E5.75PP/20C/5A pode-se constatar que, menor teor de compatibilizante em maiores quantidades de CaCO_3 promove uma boa interação entre carga e a matriz promovendo um aumento de 20% na absorção à energia de impacto.

5.5 Índice de Fluidez

A fim de avaliar a influência de diferentes teores de carga e compatibilizante na viscosidade das amostras, os valores quantitativos do ensaio foram obtidos

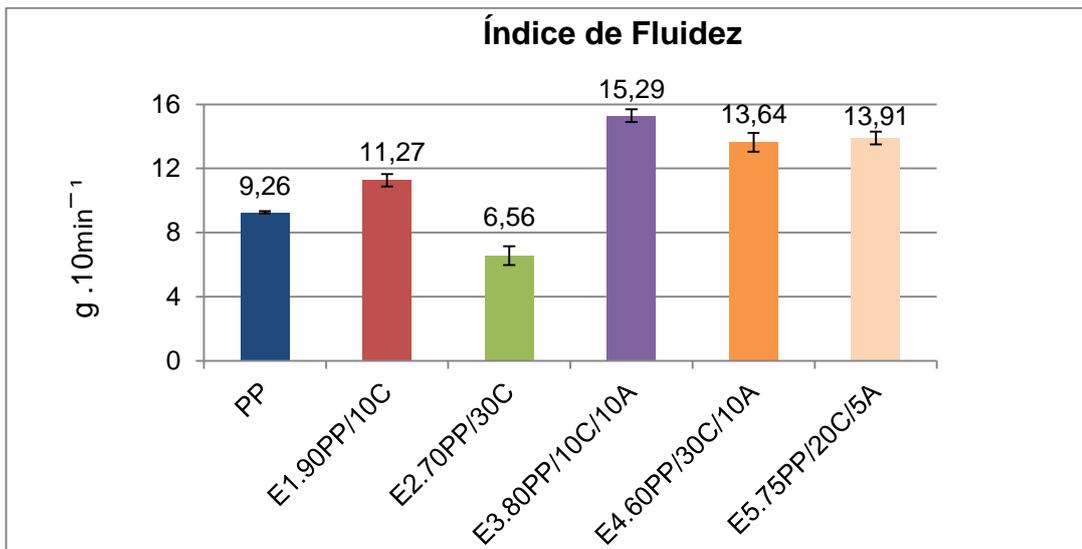
através da média de 05 amostras de cada experimento e do PP-Puro. Foi utilizada a temperatura de 230°C e peso de 2,160 kg, com tempo de corte de 30 s no material puro e de 15 s nas demais amostras. A tabela 9 e Figura 24 estão apresentados os respectivos resultados.

Tabela 9 - Índice de Fluidez

Amostras	Índice de Fluidez (g. 10min ⁻¹)
PP	9,26 ± 0,07
E1.90PP/10C	11,27 ± 0,39
E2.70PP/30C	6,56 ± 0,05
E3.80PP/10C/10A	15,29 ± 0,16
E4.60PP/30C/10A	13,64 ± 0,59
E5.75PP/20C/5A	13,91 ± 0,40

Fonte do autor, 2017.

Figura 24 - Gráfico dos resultados do Índice de Fluidez.



Fonte: do autor, 2017.

Analisando os resultados, ficou evidenciado que o uso do compatibilizante melhorou a fluidez em todos os compósitos e inclusive se destacaram consideravelmente em relação ao PP-Puro.

Comparando-se o E1.90PP/10C com o E2.70PP/30C ficou evidenciado que maiores teores de CaCO₃ ocasionaram uma diminuição da fluidez. O que pode ser confirmado em E3.80PP/10C/10A com o E4.60PP/30C/10A que, mesmo com a

presença do compatibilizante, a adição de maior teor de CaCO_3 promoveu uma diminuição da fluidez.

Em seu trabalho, Henriques (2015), o autor considerou o alto índice de fluidez obtidos nos experimentos realizados por ele uma vantagem técnica em relação aos compósitos convencionais pois, compósitos com maiores índices de fluidez, no processo de injeção, apresentam maior facilidade de preenchimento dos moldes, melhor processabilidade, ciclos mais rápidos, melhor acabamento superficial e podem ser usados em máquinas injetoras menores com menor pressão disponível.

5.6 Análise Termogravimétrica (TGA)

A termogravimetria (TGA) foi utilizada para verificar a estabilidade térmica e degradação dos compósitos, com teores de CaCO_3 comparados com o PP e a influência do agente compatibilizante. Esta caracterização tornou-se importante pois permitiu classificar as possíveis aplicações do material. Na Figura 25, são mostradas as curvas termogravimétricas dos compósitos e o PP-Puro e os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Figura 25 - Curvas Termogravimétrica do PP-puro e os compósitos com as suas proporções

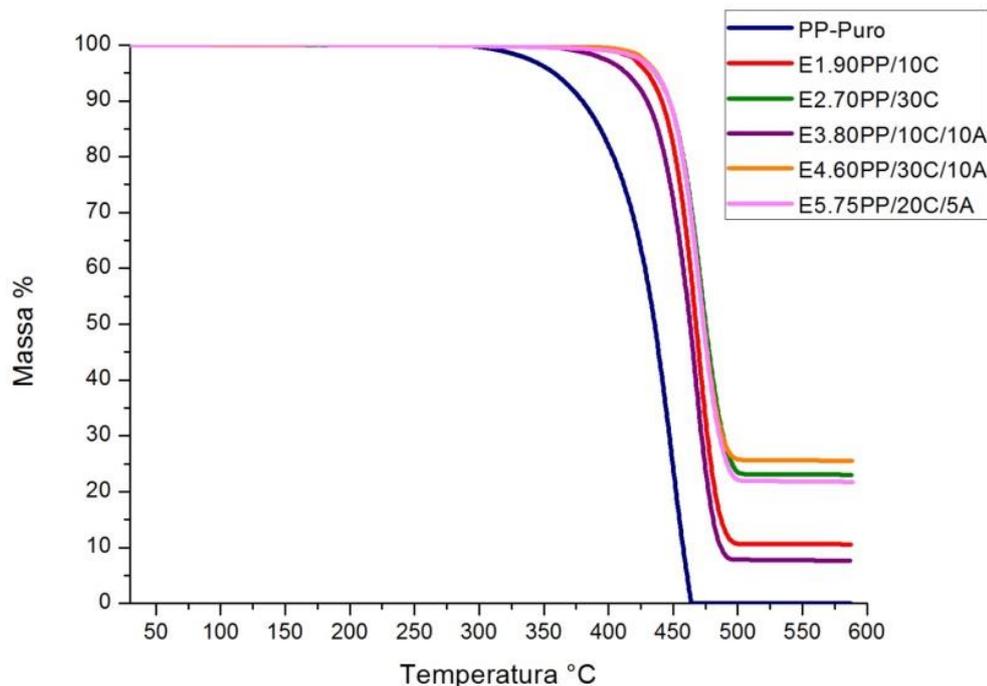


Tabela 10 - Resultados da Termogravimetria.

AMOSTRAS	Tonset °C	Tenset °C	Perda de massa (%)	Resíduo a 550 °C (% em massa)	Teor nominal de CaCO ₃ (% em massa)
PP. PURO	250	408,7	100,0	0	0
E1.90PP/10C	355,5	445,3	89,4	10,6	10
E2.70 PP/30C	349,7	448,4	76,9	23,1	30
E3.80PP/10C/10A	270,4	440,1	92,4	7,7	10
E4.60PP/30C/10A	336,1	447,8	74,5	25,6	30
E6.75PP/20C/5A	344	446,1	79,9	20,2	20

Fonte: do autor, 2017.

Entre os compósitos E1.PP/10C e 2.PP/30C de acordo com a $T_{inicial}$ houve um aumento de degradação que foi confirmado pela temperatura de T_{Onset} . Entretanto, como era esperado houve um aumento do resíduo de queima que foi proporcional a quantidade de carbonato acrescido.

Ao se analisar os compósitos 3.PP/10C/10A e 4.PP/30/10A com o acréscimo do compatibilizante houve uma diminuição da $T_{inicial}$, quando comparado com a temperatura do PP/CaCO₃. Entretanto, a temperatura inicial de degradação ainda foi muito superior à temperatura do polímero puro.

No compósito 5.PP/20C/5A Houve um aumento da temperatura se comparado ao PP/Puro. Quando comparado ao compósito E1.90PP/10C sua temperatura foi superior ao E3.80PP/10C/10A, confirmando que o compatibilizante diminuiu a temperatura de início de degradação.

6 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição do Carbonato de Cálcio (CaCO_3) no Polipropileno (PP) sobre algumas propriedades dos compósitos de PP reforçados com a referida carga mineral e sua possível aplicação na indústria automobilística.

A adição de CaCO_3 o no PP obteve-se um material com até 30% menos polímero e com propriedades mecânicas viáveis para determinadas aplicações do PP, em que o custo e a resistência térmica são mais importantes que a resistência ao impacto.

A partir das análises para a determinação do índice de fluidez, foi observado que o uso do agente compatibilizante e também a inserção de 10% de CaCO_3 provocou uma melhoria considerável no índice de fluidez do PP, tornando-se assim, sua viabilidade.

Quanto à caracterização dos compósitos, as principais conclusões foram:

O agente compatibilizante não contribuiu na melhoria da resistência a tração. O módulo de elasticidade foi aumentado em cerca de 35% com a adição de 10% e 30% em massa de CaCO_3 . O aumento da rigidez dos compósitos através do carbonato de cálcio foi evidenciado pelo elevado módulo de elasticidade dos ensaios de resistência a tração. Verificou-se, como esperado, o aumento da rigidez dos compósitos reforçados com carbonato de cálcio, acarretando no aumento da fragilidade dos compósitos.

A adição de maiores teores percentuais em massa do que 10% de CaCO_3 na matriz de polipropileno não compatibilizado ocasionou a redução da resistência a flexão. O Módulo de Elasticidade foi melhorado sem a adição de compatibilizante. O agente compatibilizante não apresentou influência na melhoria da propriedade.

O aumento do teor de CaCO_3 dos compósitos de acima de 10% em massa, influenciou na diminuição dos valores da energia absorvida ao impacto nos compósitos. A adição de carga mineral reduziu a tenacidade dos compósitos comparados ao polipropileno puro.

O agente compatibilizante melhorou a fluidez em todos os compósitos compatibilizados, em suas respectivas proporções comparado ao PP puro. O

carbonato de cálcio com 10% em massa ocasionou uma melhora na fluidez sem o uso do agente compatibilizante. O índice de fluidez diminuiu com o aumento da concentração de carbonato de cálcio.

O CaCO_3 aumentou a temperatura de degradação térmica proporcionalmente a quantidade acrescida. Entretanto, não houve alterações significativas na temperatura de T_{Onset} observada na função do polímero quando testada em TGA. A quantidade de resíduo variou proporcionalmente ao CaCO_3 acrescida ao compósito. Comparado com o acréscimo do agente compatibilizante houve uma redução na temperatura de início de degradação.

Possíveis aplicações no setor automobilístico:

Como exemplos de aplicações em peças internas em automóveis, podem-se citar aqueles utilizados nos revestimentos de para sóis, bancos, revestimento do teto, cobertura do estepe, revestimento do porta-malas, caixa da bateria, dutos de ar, entre outros e que não demande um percentual acentuado quanto a sua resistência ao impacto.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST, **Indústria brasileira de transformação de material plástico**. Perfil 2015. 2016. Disponível em <http://file.abiplast.org.br/download/2016/perfil_2015.pdf>. Acesso em: 10 Jan 2017.

ANDRADE, L. S. **Preparação e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras da casca de noz macadâmia**. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda-RJ.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 638**: Standard test method for tensile properties of plastics. United States, 2014.

_____. **ASTM D 790**: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. United States, 2015.´

_____. **ASTM D 1238**: Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. United States, 2013.

_____. **ASTM D6110**: Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics. United States, 2010.

_____. **ASTM E2550**: Standard Test Method for Thermal Stability by Thermogravimetry. United States, 2011.

BONFIM, I. P., **Câmara brasileira da indústria da construção**. Valor econômico 2012. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/industria-busca-novos-materiais>>. Acesso em: 12 jun 2016.

BRANDÃO, A. T. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar**. 2015. 58 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

CALLISTER, W. D. JR.; SOARES, S. M. S.; MIRANDA, P. E. V. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma introdução. Rio de Janeiro: LTC. 2006. 589 p.

CANEVAROLO Jr., S. V. **Ciência dos Polímeros**. 3. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2010, 280 p.

_____. **Técnica de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2007.

CARVALHO, E. A., ALMEIDA, S. L. M. **Caulim e carbonato de cálcio: competição na indústria de papel**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. n. 41. (Série Estudos e Documentos).

COSTA, H. M. da et al. Análise térmica e propriedades mecânicas de resíduos de polietileno de alta densidade (PEAD). **Polímeros**, São Carlos, v. 26, n. spe, p. 75-81, 2016. Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282016000700012&lng=en&nrm=iso. access on 26 Mar. 2017. Epub Jan 19, 2016.

CHONG, T. H., SHEIKHOESLAMI, R. Thermodynamics and kinetics for mixed calcium carbonate and calcium sulfate precipitation. **Chemical Engineering Science**, v. 56, n. 18, p. 5391-5400, 2001.

DALPIAZ, Giovanni. **Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2006.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro – 2015**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015>> Acessado em: 08 jan. 2017.

GARAY, C. A. **Efeito da adição de carbonato de cálcio em compósitos poliméricos moldados por RTM e RTM-Ligth**. Dissertação de Mestrado Programa de pós graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre. 2010.

HEMAIS, C. A. **Polímeros e a indústria automobilística**. **Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 107-114, Jun. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010414282003000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso: 25 jun. 2015.

HENRIQUES, L. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de compósito de polipropileno de alta cristalinidade reforçado com talco para aplicações automotivas em ambientes de alta temperatura “under the hood”**. 2015, 89p Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – São Paulo.

LEVY, L. C.; PARDINI, F. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. 1 ed. São Paulo: Edgar Blucher Editora, 2006.

LIMA, A. B.T. **Aplicações de cargas minerais em polímeros**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-27062007-185421. Acesso em: 10 abr. 2016.

LUZ, A. B.; LINS, F. **Rochas e Minerais Industriais**. 1. ed. CETEM.2009.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a Polímeros**. Rio de Janeiro: Editora Edgard Blücher Ltda, 2012.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: Fundamentos e tecnologia**, 1ed. São Paulo, Editora Artliber, 2011.

MARKZUK, V. C., **Reaproveitamento de pallets industriais para preparação e caracterização mecânica de compósitos poliméricos**. 2015. 67f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha – Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

MARTINS, F.R. Caracterização do fresamento de chapas de compósito **polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC)**. 2014. 161 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000931949>>. Acesso em: 2 abr. 2017.

MOORE, E.P. **Polypropylene Handbook: Polymerization, Characterization, Properties, Processing**, 1st edition, Hanser Gardner Publications, NY.1996.

MULINARI, D. R. **Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açúcar**. 2009, 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP.

OLIVEIRA, F.V. **Processamento de carbonato de cálcio para aplicação nas indústrias de papel e de plástico**. 63p. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas (Dissertação de Mestrado).Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

OLIVEIRA, H. N. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos para aplicação em deck**. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

OLIVEIRA, J. L. **Processamento e caracterização de compostos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda-RJ.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/058.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2016.

PAOLI, M A. **Degradação e estabilização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2009.

PASQUINI, N.; ADDEO, A. **Polypropylene Handbook**: Hanser, 2005.

PEREIRA, G. B. **Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística**. 2016. 50f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

ROCHA, M. C. G; COUTINHO. F. M. B.; BALKE. S. Índice de fluidez: uma variável de controle de processos de degradação controlada de polipropileno por extrusão reativa. **Polímeros**. 1994.

RODA, Daniel Tietz. **Tudo sobre Plásticos**. 2013. Disponível em: <<http://www.tudosobreplasticos.com/compostos/compostos.asp>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

SATO, A. K. **Desenvolvimento e caracterização de um compósito híbrido de polipropileno homopolímero e micro fibra de sílica amorfa e fibra de madeira, utilizando agente de acoplagem**. Campinas, SP: [s.n.], 2008. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

SHARMA, A. M. **Mechanical behavior, water absorption and morphology of wheat straw, talc, mica and wollastonite filled polypropylene composites**. 2012. 155 p. (Dissertação de mestrado), University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada.

SILVA, E. F., **Processamento e caracterização de compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com biomassa de casca e torta de pinhão manso**. 2016. 57f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha – Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

SILVEIRA, L. H. **Desenvolvimento de processo de incorporação de fibra de vidro orientada em matriz de polipropileno e obtenção de pellets com fibras longas.** 2008, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo.

WIEBECK, H; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações.** São Paulo: Artliber, 2012, 350 p.

WYPYCH, G. Handbook of fillers. 4. Ed. Toronto: ChemTec Publishing. 2016. 938p.

XIANG, L., XIANG, Y., WANG, Z. G., JIN, Y. Influence of chemical additives on the formation of super-fine calcium carbonate. **Power Technology**, v. 126, n. 2, p. 129-133, July 2002.