

COMPÓSITO DE MADEIRA PLÁSTICA (CMP) - POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD)/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL

Filipe Metran Pinto (IC) e Terezinha Jocelen Masson (Orientador)

Apoio: PIVITI Mackenzie

RESUMO

O presente trabalho estudou compósitos híbridos, tendo como matriz, o polietileno de baixa densidade (PEBD) e, como fase dispersa, a fibra de Buriti (F_B), uma carga de origem natural vegetal, tratada com hidróxido de sódio e o pó de madeira (WF), uma carga particulada, tratada com titanato de bário. Materiais híbridos são aqueles em que substâncias inorgânicas de dimensões nanométricas são dispersas numa matriz polimérica. Estas substâncias inorgânicas são cargas de enchimento e apresentam área superficial elevada, promovendo uma melhor dispersão na matriz polimérica e, portanto, acarretando melhoria das propriedades físicas do compósito, que dependem da homogeneidade do material. Os compósitos híbridos foram obtidos assim obtidos: C_1 (matriz com 100% de PEBD); C_2 (90% PEBD+5% F_B +5%WF); C_3 (80% PEBD+10% F_B +10%WF) e C_4 (70% PEBD+15% F_B +15%WF). A fibra de buriti e o pó de madeira foram incorporados ao PEBD utilizando-se o misturador MIX. O material foi preparado em uma extrusora de rosca dupla, co-rotacional, equipada com dois alimentadores e posteriormente os corpos de prova foram injetados. Os compósitos foram caracterizados pelos ensaios reológicos (índice de fluidez); ensaios mecânicos (resistência à tração, à flexão, ao impacto e dureza); térmicos (HDT e Vicat). Constatou-se que os compósitos podem ser processados em condições similares ao polietileno de baixa densidade puro e foram obtidos corpos-de-prova homogêneos, com aspecto visual satisfatório, com boa qualidade superficial.

Palavras-chave: Compósito-Madeira Plástica. Polietileno de baixa densidade. Reforços fibrosos e particulados.

ABSTRACT

Clique aqui para digitar o texto, de 200 a 250 palavras. O abstract é a tradução para a língua inglesa do resumo. O aluno é responsável pela tradução do texto

Keywords: Digite seu texto contendo 3 palavras

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresentou o desenvolvimento e a caracterização do Compósito Híbrido de Madeira Plástica (CMP), um nanocompósito formado por uma matriz polimérica de polietileno de baixa densidade (PEBD) com diferentes concentrações de fibra de buriti (F_B) e pó de madeira (WF).

A fabricação de madeira plástica para utilização na construção civil como substituto a madeira convencional, é um fator de desenvolvimento sustentável e um grande aliado do meio ambiente. O interesse nesse tipo de compósito está baseado em algumas das suas vantagens quando comparado a outros materiais, incluindo a redução no impacto ambiental, além do baixo custo, reciclabilidade e aplicações em diversos ramos da indústria, como no setor automotivo e de construção civil. Para o desenvolvimento da madeira plástica, pode-se utilizar diversos tipos de plásticos: PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEAD (Polietileno de Alta Densidade), PET (Politereftalato de Etila), PVC (Policloreto de Vinila), PP (Polipropileno) (TAVARES et al, 2017).

Os polímeros vêm substituindo os materiais tradicionais, pois apresentam alto grau de confiabilidade com muitas vantagens sobre os materiais convencionais. Sua baixa densidade é essencial para a redução do consumo de combustíveis, proporciona maior flexibilidade de projeto e economia na produção.

O termo material compósito designa uma estrutura formada por uma ou mais fases descontínuas, dispersas em fases contínuas (matriz polimérica ou resina), para formar um material que tenha alto desempenho. A característica da fase contínua (matriz polimérica ou resina) é, em geral, ter propriedades mecânicas inferiores aos materiais da fase descontínua ou dispersa (que é mais resistente), também denominada reforço (MASSON, 1998).

Quando se utiliza mais de um tipo de reforço em uma mesma matriz, o produto final denomina-se Conjugado Híbrido, que atualmente vem despertando grande interesse para a pesquisa, pois permite obter-se um material com propriedades diferenciadas em relação ao conjugado comum. A hibridização tem ampliado as possibilidades de aplicação dos polímeros modificados e o desenvolvimento tecnológico atual está voltado principalmente para a modificação dos polímeros existentes, com o propósito de encontrar aplicações de novos materiais, modificados fisicamente.

A busca pela utilização de materiais naturais para o reforço de materiais poliméricos tem se destacado, pois além de reforçar o polímero, são biodegradáveis, leves (devido à baixa densidade das fibras), conferindo à fibra um caráter hidrofílico, que é incompatível com a natureza hidrofóbica da matriz polimérica, não possuem característica abrasiva (menor desgaste dos equipamentos de processamento, facilitando o processo de moldagem), e boa

resistência mecânica (OLIVEIRA, 2014, BALZER et al, 2009). As fibras naturais são resistentes, abundantes, não-tóxicas, de baixo custo e provêm de fontes renováveis de matéria prima, podendo servir como um ótimo agente de reforço para os polímeros (TROMBETTA, 2010).

A aplicação da fibra de buriti (F_B) em materiais compósitos vem sendo estudada, devido ao seu custo/benefício, facilidade de fabricação e a sua facilidade de degradação sem emissão de poluentes (ZANATA et al 2008; REEBERG, 2010). O buriti é uma palmeira de ampla ocorrência na América do Sul, de utilização extremamente versátil. No Brasil os principais produtos são a fibra, na Amazônia, a polpa e o óleo cosmético, no Cerrado (SARAIVA, 2009, AFONSO, 2011). Atualmente, os compósitos poliméricos contendo fibras naturais têm recebido grande atenção por parte de pesquisadores e da indústria, pela sua variedade de aplicações.

Entende-se por materiais particulados, qualquer carga de baixa granulometria, que seja passível de ser incorporada a uma matriz polimérica. A incorporação em termoplásticos tem sido investigada com a finalidade de reduzir custos e/ou modificar as propriedades mecânicas de acordo com as características da carga, as condições de processamento e as propriedades do polímero. A ação reforçadora pode ser atribuída a diversas causas, entre elas a formação de ligações químicas e a interação interfacial entre carga e polímero.

O pó de madeira (WF) é obtido por um processo de beneficiamento da serragem que é qualquer rejeito obtido no processo de industrialização da madeira.

O polietileno de baixa densidade (PEBD) possui propriedades diferenciadas como tenacidade, boa resistência ao impacto, flexibilidade alta, fácil processabilidade, propriedades elétricas notáveis e estabilidade. É um polímero semicristalino, flexível sintetizado a partir do etileno pelo processo de polimerização via radicais livres em condições de alta pressão e temperatura (OLIVEIRA, FERRETO, LUGÃO, 2011). Apresenta densidade variando de 0,91 a 0,93 g/cm³, massa molar de 20.000 a 45.000 g/mol e ponto de fusão de 100 a 120°C (COUTINHO; MELLO, SANATA MARIA, 2003). O PEBD pode ser processado por extrusão, sopro e injeção.

De acordo com as propriedades físico-químicas do PEBD é normalmente utilizado para produzir embalagens industriais e agrícolas, embalagens de alimentos sólidos e líquidos, filmes laminados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utensílios domésticos, além de revestir tubos e produzir mangueiras de jardim (BARBOSA, et al, 2017).

Os corpos-de-prova C_1 (matriz com 100% de PEBD); C_2 (90% PEBD+5% F_B +5%WF); C_3 (80% PEBD+10% F_B +10%WF) e C_4 (70% PEBD+15% F_B +15%WF) foram caracterizados

por meio dos ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto Izod), ensaios térmicos (HDT e Vicat) e ensaios reológicos (índice de fluidez), realizados de acordo com as normas ASTM e ABNT.

A fibra de Buriti (F_B), tratada com NaOH, foi utilizada como material de reforço, pois acrescenta rigidez e dureza quando agregada a matriz polimérica e o pó de madeira (WF), tratado com titanato de bário ($BaTiO_3$), foi utilizado como reforço particulado pois quando as suas partículas são mescladas com resinas termoplásticas, há um aumento da rigidez do material modificado e podendo aumentar sua resistência química.

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar compósitos poliméricos híbridos de madeira plástica.

1.2.2 Objetivos específicos

Desenvolver e caracterizar um compósito híbrido de madeira plástica (CMP), um compósito cuja matriz é o polietileno de baixa densidade (PEBD) reforçado com fibra de buriti (FB) tratada com NaOH e pó de madeira WF) tratado com titanato de bário.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2001), os produtos manufaturados com conteúdo de plástico superior a 50% em massa e que possuem genericamente as dimensões típicas dos produtos de madeira industrializada são denominados Madeira Plástica. Existem dois tipos de madeira plástica (ZOCH, 2013)::

- Madeira Plástica (MP) a partir de polietileno de baixa densidade (PEBD);
- Compósito de Madeira Plástica (CMP), utilizando compósitos a base de resina plástica e fibra de madeira (KOENIG; SYPKENS, 2002).

O CMP é um dos segmentos com maior crescimento nesse mercado, principalmente devido à necessidade de se reaproveitar o grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de polímeros e de madeira (ZOCH, 2013). Além disso, observa-se uma boa melhoria nas propriedades físicas do compósito pela adição das fibras de celulose, as quais apresentam baixa densidade, disponibilidade em uma grande variedade de espécies, facilidade de modelamento em diversos formatos, bem como a criação de renda no campo sem necessariamente trabalhar com produtos alimentícios (TAVARES, et al, 2017).

2.1 MATERIAIS POLIMÉRICOS

Polímeros são materiais que apresentam uma longa cadeia (alta massa molar) formadas pela repetição de pequenas unidades estruturais, ligadas por covalência, num determinado arranjo espacial. As unidades repetitivas (meros) de cada cadeia são grupos

relativamente simples de átomos, gerados a partir de pequenas moléculas (monômeros), que se apresentam em elevado número, constituindo uma macromolécula orgânica e podendo ser de origem sintética ou natural. Quando comparados a outros materiais apresentam vantagens e desvantagens, tais como (SANTOS e MARTINS, 2010; OMNEXUS, 2011):

- vantagens: baixo peso, baixo custo, boa resistência mecânica, elevada resistência a corrosão, moldabilidade, maleabilidade e flexibilidade, baixa absorção a água, bom isolante elétrico, alta resistência ao impacto em baixas temperaturas;

- desvantagens: suscetíveis ao *stress cracking*, alta permeabilidade aos gases, altamente inflamável, fraca resistência a temperaturas elevadas, baixo módulo de elasticidade, alta deformação, degradação UV, fluência e baixa dureza.

São materiais viscoelásticos, que podem apresentar-se com aspecto de um líquido viscoso, de uma borracha elástica ou de um sólido vítreo e quebradiço, dependendo da estrutura macromolecular, da temperatura e do intervalo de tempo da leitura (POLETTTO, 2017).

Os polímeros são formados por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e outros elementos não metálicos. A ligação química entre cada cadeia é covalente, enquanto que a ligação intercadeias é fraca. O grau de polimerização é definido como o número médio de unidades repetitivas que constituem as cadeias, macromoléculas que formam o material polimérico (ANTUNES, 2012).

As tecnologias atuais exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser atendidas pelas ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais e estudos ressaltam a necessidade de materiais mais rígidos, leves, resistentes, e que ao mesmo tempo não sejam facilmente corroídos. As combinações e as faixas dos valores das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas por meio dos materiais compósitos. Os compósitos podem ser considerados como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que os constituem de tal forma que seja obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

Os compósitos podem ser considerados como sendo qualquer material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que os constituem de tal forma que seja obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

Na construção civil utilizam-se principalmente os polímeros sintéticos, ou na forma de resinas com algumas adições, como é o caso dos selantes, tintas e adesivos, ou então na forma de plásticos.

2.2 POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD)

O polietileno (PE) é uma resina termoplástica parcialmente cristalina e flexível, obtida pela polimerização do etileno. Em temperatura abaixo de 60°C, o polietileno é parcialmente solúvel em todos os solventes. Segundo Munaro (2007), a densidade dos polietilenos na zona cristalina é de 1,0 g/cm³ e na zona amorfa 0,852 g/cm³. Deste modo as densidades dos polietilenos dependem da relação entre o material amorfo e cristalino, ou seja, semicristalino. A sua temperatura de total deformação e fusão é entre 110 e 115°C.

Os tipos de polietileno são diferenciados pelas condições de reação e do sistema catalítico empregado em seu processo de polimerização. Os principais tipos são: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno de baixa densidade linear (PEBDL).

O polietileno de baixa densidade (PEBD) possui propriedades únicas como tenacidade, boa resistência ao impacto, flexibilidade alta, fácil processabilidade, propriedades elétricas notáveis e estabilidade. Entretanto, mesmo sendo muito resistente à água, é atacado aos poucos por agentes oxidantes e os solventes alifáticos, aromáticos e clorados, podem causar inchamento mesmo em temperatura ambiente. O PEBD é pouco solúvel em solventes polares como cetonas, ésteres e álcoois (GRILLO, 2016). Sua permeabilidade mediante a água é baixa quando comparada com outros polímeros. A permeabilidade a compostos orgânicos polares (ex.: álcool ou éster) é bem mais baixa que aos compostos orgânicos apolares (ex.: heptano ou éter etílico).

O PEBD é obtido por meio do processo de polimerização via radical livre à alta pressão e temperatura. É um polímero parcialmente cristalino, sua densidade varia de 0,91 a 0,93 g/cm³, massa molar de 20.000 a 45.000 g/mol e com ponto de fusão de 100 a 120° C (COUTINHO *et al.*, 2003; BARBOSA, *et al.*, 2017).

O PEBD possui propriedades que são controladas durante sua fabricação, para garantir um bom desempenho do produto final. As análises de controle de qualidade mais frequentes no processo de fabricação são o índice de fluidez, densidade e aparência do filme tubular.

Dentre as aplicações do PEBD citam-se filmes para uso geral, frascos flexíveis, embalagens para alimentos e líquidos, veículos para *masterbatch*, tubos, elastômeros, embalagens descartáveis, eletrodomésticos, eletro-eletrônicos, fios e cabos, sopro, injeção, embalagens industriais e de consumo, *stretch*, sacaria industrial, filme técnico, sacolas, bobina picotada, revestimento por extrusão, agricultura, geomembrana, saúde pessoal e higiene e químicos (DOW, 2010).

A Tabela 1 apresenta algumas características do PEBD.

Tabela 1 – Propriedades Física do PEBD

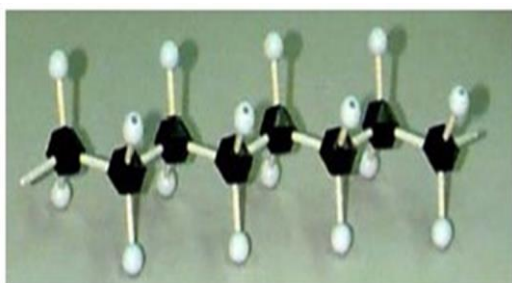
Propriedade	Unidade	Método ASTM	Valor
Densidade	g/cm ³	D 792	0,912 – 0,925
Temperatura de Fusão Cristalina	°C	-	102 - 112
Índice de Refração		D 542	1,51 – 1,52
Tração no Escoamento	MPa	D 638	6,2 – 11,5
Alongamento no Escoamento	%	D 638	100 – 800
Resistência à Tração	MPa	D 638	6,2 – 16,0
Alongamento no Máximo	%	D 638	100 – 800
Módulo de Elasticidade	MPa	D 638	102 – 240
Dureza Shore D		D 676	40 - 50

De acordo com Barbosa e colaboradores (2017), o sistema de produção de PEBD abrange três seções: unidade de compressão, reator e os sistemas de separação do produto. O processo consiste na compressão do gás eteno, com elevada pureza, até o reator tubular a alta pressão (1000 a 3000 atm). A seguir é aquecido até a temperatura controlada (140 a 330°C) de iniciação da reação.

O reator é onde tem início a reação de polimerização via radicais livres. A estrutura cristalina do PEBD é a mais simples dentre os polímeros (LEGUENZA,1999). Ela possui estrutura cristalina em zig-zag, sendo constituída pela repetição do monômero (CH₂)_n e finalizada com grupos CH₃, conforme apresenta a Figura 1.

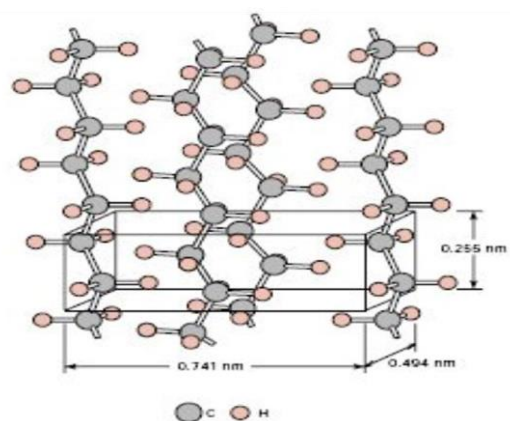
O comprimento das ligações de carbono é cerca de 0,154 nm, e o ângulo de ligação entre os mesmos é de 109,5° (CALLISTER, 2012). A Figura 2 apresenta Estrutura cristalina do PE com o modelo da célula unitária.

Figura 1 - Modelo representando a estrutura da molécula do polietileno



Fonte: Wasilkoski, 2002

Figura 2 - Estrutura cristalina do PE com o modelo da célula unitária



Fonte: Callister, 2012

Apesar de sua alta resistência à água e a algumas soluções aquosas, inclusive a altas temperaturas, o PEBD é lentamente atacado por agentes oxidantes, além de solventes alifáticos, aromáticos e clorados causarem inchamento a temperatura ambiente. É pouco solúvel em solventes polares como álcoois, ésteres e cetonas.

2.3 MATERIAIS DE REFORÇO

São materiais que modificam determinadas propriedades da matriz polimérica. Desde simples cargas minerais reforçantes que são incorporadas aos polímeros, muitas vezes também com o intuito de diminuir custos, até fibras de ultra alta resistência podem ser consideradas materiais de reforços. As cargas minerais reforçantes proporcionam aumento na rigidez, dureza e, algumas vezes, aumento na temperatura de distorção térmica. As fibras, pela sua característica unidirecional, incrementam acentuadamente a maior parte das propriedades mecânicas em determinadas direções.

Os materiais de reforço, ou fase descontínua do compósito, dividem-se em dois grupos distintos: os fibrosos e os particulados. Ambos conferem à matriz polimérica propriedades mecânicas superiores às do material polimérico sem reforço. São vários os tipos de reforços e compreendem materiais orgânicos e inorgânicos (MIRANDA, 1994).

Em termos práticos a diferenciação entre um material fibroso e um particulado é dada pela razão de aspecto (l/d , onde l é o comprimento e d é o diâmetro):

Se $l/d \leq 1$, o material é denominado particulado e se $l/d > 1$, o material é denominado fibroso.

As fibras podem ser contínuas ($l/d \rightarrow \infty$) ou curtas ($l/d < 100$). Ambos os reforços são envolvidos por uma matriz polimérica contínua. Os reforços particulados proporcionam reforçamentos isotrópicos enquanto que os reforços fibrosos e laminados favorecem a reforçamentos anisotrópicos.

2.3.1 Fibras de Reforço

A principal função das fibras de reforço no polímero é transferir uma dada carga ao longo da direção da fibra de reforço. As fibras geralmente conferem ao polímero, elevadas propriedades mecânicas (resistência e rigidez). Essas propriedades podem ser controladas através da distribuição e geometria das fibras (MIRANDA, 1994).

As fibras apresentam-se com pequenos diâmetros, arranjas de diversas maneiras, gerando uma interface química que promove a aderência entre a mesma e o plástico que está reforçando. Entre as fibras de reforços citadas nas literaturas, encontram-se as fibras de vidro E, fibras de vidro S, fibras de vidro C, fibras de carbono (alto módulo e alta resistência), fibras

de grafite, fibras de amianto, fibras de aramida, fibras vegetais, fibras de polietileno e fibras de polipropileno.

2.3.1.1 Fibra de Buriti (F_B) - *Mauritia Flexuosa*

As utilizações de materiais biodegradáveis, como a fibra de buriti, se destacam devido ao seu custo/benefício, sua facilidade de fabricação e a sua facilidade de degradação sem emissão de poluentes (ZANATA, 2008; REEBERG, 2010). A fibra de buriti, encontrada principalmente no norte do Brasil e em parte da América Latina, é uma das fibras cuja aplicação em materiais compósitos vem sendo estudada recentemente (BARBOSA, 2011).

A estrutura das fibras naturais é composta por três grupos principais: celulose, hemicelulose e lignina. Esses grupos conferem à fibra um caráter hidrofílico, que é incompatível com a natureza hidrofóbica da matriz polimérica (GIANELLI, FERNANDES, 2016).

Tabela 2: Valores de Algumas Propriedades Mecânicas para Fibras de Buriti.

Propriedade	Unidade	Valor Numérico
Densidade (ρ)	g/cm^3	0,63 – 1,12
Resistência à Tração	MPa	684
Tensão Máxima (σ)	MPa	129 - 254
Módulo de Elasticidade	GPa	36,26
Resistência Específica		97,70
Módulo Específico		5,18

2.3.2 Materiais Particulados

Entende-se por materiais particulados, qualquer carga de baixa granulometria, que seja passível de ser incorporada a uma matriz polimérica. Quanto a natureza, os materiais particulados podem ser classificados em: naturais, artificiais e sintéticos (MASSON, 1998).

- Os naturais são beneficiados a partir da natureza e geralmente são minerais, dentre os quais se destacam: talco; quartzo; carbonato de cálcio natural; alumina; caulim; mica; argila; entre outros.

- Os artificiais são aqueles obtidos a partir de modificações dos naturais. O principal exemplo é o carbonato de cálcio precipitado;

- Os sintéticos incluem desde elastômeros sintéticos até esferas de vidro ocas.

Carga mineral é um material sólido, inorgânico, apresentado normalmente na forma finamente dividida e que é empregado em proporções acima de 5%. As cargas minerais reforçantes são incorporadas à matriz polimérica com o objetivo principal de atingir um aumento perceptível em propriedades mecânicas e geralmente promovem um aumento em rigidez (módulo de flexão). Algumas vezes os materiais particulados agem como cargas

inertes. Os parâmetros que devem ser levados em conta para a seleção das cargas minerais utilizadas em termoplásticos são: Razão de aspecto; Tamanho e distribuição de tamanho das partículas; Natureza química da superfície; Fração volumétrica máxima de empacotamento; Pureza química.

2.3.2.1 Pó de Madeira (WF)

O pó de madeira (WF) é obtido por um processo de beneficiamento da serragem que é qualquer rejeito obtido no processo de industrialização da madeira (MASSON, 1998).

É proveniente da madeira, que é um complexo polimérico natural e sobretudo um recurso renovável, importante fator do ponto de vista ecológico e diante da escassez de matérias-primas, de baixo custo, com grande facilidade de obtenção, pois pode ser originária de diversas fontes tais como: pó de madeira descarregado por indústrias de móveis; pó de madeira advindos de resíduos de madeira de demolição, resíduos de madeiras de fontes recicladas pós-consumidor, fontes pós-industrial limpas, árvores urbanas derrubadas, entre outras (COUTINHO, COSTA, 1998).

Quando as partículas de pó de madeira (WF) são mescladas com resinas termoplásticas, aumentam a rigidez do material modificado e podem aumentar sua resistência química, porém reduzem sua resistência e tenacidade, ou seja, há um decréscimo da resistência do material modificado especialmente quando se aumenta a concentração da carga.

O pó de madeira (WF) industrializado se obtém em geral em tamanhos de partículas que passem nas peneiras de 100 mesh com um teor de umidade entre 6% e 8%. Esta carga produz moldados de ótimas propriedades mecânicas e boa resistência à umidade.

Entretanto o pó de madeira é um aditivo diluente e causador de bolhas, por causa do alto teor de umidade que geralmente possui (aproximadamente 14% em equilíbrio ambiental). Para modificar polímeros termoplásticos, antes das operações de processamento, a serragem é cuidadosamente submetida a um processo de secagem.

Apesar do baixo custo dos compósitos obtidos com serragem, a presença de tal reforço sem um modificador de interface adequado pode conferir propriedades mecânicas pobres aos compósitos. No presente trabalho, foi tratada com titanato de bário.

2.4 TRATAMENTO SUPERFICIAL DAS CARGAS

É uma alteração química realizada na superfície da carga ou um recobrimento do reforço, ambas alteram a superfície da carga, permitindo um molhamento eficiente. O agente de acoplamento promove a união química entre as fases ou altera a energia superficial da carga para permitir um molhamento eficiente (MANO, 1991). Assim, a compatibilidade das

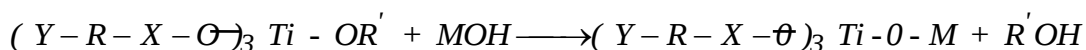
características superficiais do reforço e da matriz pode ser conseguida através de modificações superficiais do reforço. Tais modificações podem ser conseguidas através de tratamentos superficiais específicos no reforço.

Em compósitos onde não existe possibilidade de encontrar uma substância que satisfaça a bifuncionalidade necessária, o tratamento de oxidação é utilizado para aumentar o poder de molhabilidade do reforço pela resina. A utilização de um agente de acoplamento aumenta o poder de molhabilidade em razão das similaridades químicas e favorece a possibilidade de ligação química entre o reforço e a matriz. Os principais agentes de acoplamento são (MANO, 1991): organo-silanos (ou silanos organofuncionais); titanatos orgânicos (ou titanatos); zirconatos; aluminatos; zircoaluminatos. Os mais utilizados comercialmente são os organo-silanos e os titanatos.

2.4.1 Agente de Acoplamento: Titanatos

Os agentes de acoplamento titanatos surgiram comercialmente na década de 1980. São agentes à base de titânio e reagem com prótons livres existentes na superfície inorgânica, reação esta que resulta na formação de camadas orgânicas monomoleculares sobre a superfície do reforço, de acordo com a reação da Figura 3, onde MOH representa a superfície do reforço mineral e MO o mineral orgânico propriamente dito. As letras Y, R e X representam grupos funcionais orgânicos específicos que reagem ou compatibilizam-se com a matriz polimérica.

Figura 3: Fórmula Geral dos Agentes de Acoplamento Titanatos e a Reação de Tratamento Superficial com estes Agentes de Acoplamento



A porção X representa grupos carboxila, sulfonila, fenólico, entre outros. A porção R tem como função proporcionar compatibilidade com a matriz. O grupo Y representa grupos funcionais que podem reagir quimicamente com a matriz como por exemplo os grupos aminos e os grupos metacrílicos.

Tanto o agente silano como o titanato não reagem quimicamente com matrizes poliméricas termoplásticas. Suas interações são a níveis intermoleculares secundárias. Portanto, a compatibilidade química entre o silano ou o titanato com o polímero da matriz é fundamental. Para as matrizes termoplásticas a molhabilidade perfeita é o principal fator responsável pela adesividade superficial.

2.4.2 Titanato de Bário (BaTiO3)

O titanato de bário é muito utilizado na fabricação de componentes eletrônicos, pois possuem propriedades dielétricas. Estes materiais dielétricos ou materiais isolantes,

caracterizam-se por oferecerem uma considerável resistência à passagem de corrente, comparativamente ao valor intrínseco correspondente dos materiais condutores (ULLOA, et al, 2009). Apresenta um comportamento semicondutor.

O titanato de bário (BaTiO_3) é um dos materiais ferroelétricos mais comuns, apresentando boas propriedades dielétricas à baixa temperaturas, porém quando aquecido a mais de 120°C essas propriedades pioram rapidamente.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os compósitos serão caracterizados pelos ensaios a seguir, que serão realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais da UPM, selos seguintes ensaios:

a) **Ensaio do Índice de Fluidez:** O índice de fluidez (IF) consiste na extrusão do polímero através de uma pequena matriz, sob determinadas condições de temperatura e de massa, que força a saída do polímero pela matriz. A unidade mais usual do índice de fluidez é g/10min. Os ensaios serão realizados conforme norma ASTM D 1238, com dez ensaios para cada formulação, utilizando a condição E, temperatura de 190°C e carga de 2,16kg.

b) Ensaio Mecânicos

- Ensaio de Tração: Serão realizados segundo a ASTM D 638-94, e consiste em submeter um material a um esforço que provoque uma elongação até que ocorra a ruptura deste material.

- Ensaio de Flexão: Serão realizados segundo a ASTM D 790-94 e objetiva determinar a capacidade de um material em resistir à flexão gerada por forças aplicadas perpendicularmente ao seu eixo longitudinal.

- Ensaio de Impacto Izod: Serão realizados segundo a norma ASTM D 256. O impacto representa a medida da tenacidade ou da energia necessária para o rompimento drástico de um material. Esta energia consumida é função da geometria do corpo-de-prova, da presença de falhas naturais ou artificiais e das condições do ensaio.

- Dureza Shore D: Constante da norma ASTM D 2240-97, permite a classificação de materiais plásticos, de acordo com a profundidade de impressão gerada por uma carga por meio de um impressor, onde a carga aplicada sobre um penetrador é aumentada de um valor mínimo (pré-carga) para um valor máximo de carga e então há um retorno ao valor mínimo.

c) Ensaio Térmicos

- Temperatura de Deflexão Térmica sob Carga (HDT): Os ensaios serão realizados segundo a norma ASTM D 648.

- Ponto de Amolecimento Vicat: Os ensaios serão realizados segundo a norma ASTM D 1525, e consiste em um banho de óleo ou uma câmara com circulação de ar, tendo controle sensível da temperatura e contendo um penetrador na forma de uma agulha fina, montada de forma a permitir o registro do grau de penetração através de um relógio apalpador de precisão.

3. METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

A Tabela 3 apresenta os materiais utilizados.

Tabela 3 – Materiais Utilizados no Presente Trabalho

Materiais		Características
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	Braskem SP20	Densidade: 0,915 g/cm ³ - ASTN D- 792 Índice de Fluidez: 31g/10 – ASTM D-1238
Reforço Fibras Fibra de Buriti	. Empresa Sisalsul Fibras Naturais	Diâmetro médio: $d_{50} = 3,5\mu\text{m}$; Teor de umidade: 0,3% Percentagem máxima de resíduo = 0,01%, Índice “mesh” 325 em peneira Tyler; densidade (aparente) $\rho = 0,20 \text{ g/cm}^3$ (solta) e $\rho = 0,60 \text{ g/cm}^3$ (compacta)
Reforço Particulado Pó de madeira	PINHOPÓ – Moagem de Madeira Ltda.	Denominação técnica: Farinha de Madeira (Wood Flour–WF). Índice “mesh” 140 em peneira Tyler (tamanho médio $d_{50} = 0,146 \text{ mm}$), percentagem máxima de resíduo = 0,01%, Densidade (aparente) $\rho = 0,2504 \text{ g/cm}^3$ (solta) Teor de umidade: 7%

A Tabela 4 apresenta a composição dos corpos de prova.

Tabela 4: Composição das formulações Experimentais Obtidas

Denominação	Formulações	Composição
C ₁ - PEBD _{puro}	Matriz Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	100% PEBD
C ₂	PEBD reforçado com 5% de fibra de buriti (F _B) e 5% de pó de madeira (WF)	90% PEBD +5%F _B +5%WF
C ₃	PEBD reforçado com 10% de fibra de buriti (F _B) e 10% de pó de madeira (WF)	80% PEBD +10%F _B +10%WF
C ₄	PEBD reforçado com 15% de fibra de buriti (F _B) e 15% de pó de madeira (WF)	70% PEBD +15%F _B +15%WF

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Tratamento da Fibra de Buriti

A fibra de buriti (FB) foi fornecida pela Empresa Sisalsul Fibras Naturais. Algumas características da Fibra de Buriti, se encontram na Tabela 5.

Tabela 5: Características Técnicas da Fibra de Buriti (MONTEIRO, et al, 2009)

Propriedade	Valor	Unidade
Densidade Aparente	0,63 – 1,12	g/cm ³
Tensão Máxima	129 - 254	MPa
Módulo Máximo (σ/ρ)	403	MPa.cm ³ /g

O procedimento para a preparação da fibra de buriti foi o seguinte (GIANELLI, FERNANDES, 2016):

a) Inicialmente, 360 g de fibra de buriti (F_B) foi cortada em um comprimento aproximado de 5,0cm;

b) O material foi colocado em uma bandeja contendo 3L de solução de hidróxido de sódio (NaOH 10%, m/v), conforme Fotografia 4;

c) Posteriormente, a fibra foi lavada com água destilada até que se atingisse pH neutro, conforme apresentado na Fotografia 5.

Fotografia 4: Fibra imersa em solução de hidróxido de sódio NaOH 10%, m/v.



Fotografia 5: Fibra tratada e lavada com água destilada



d) Em seguida a fibra de buriti foi seca em estufa por 24h com circulação de ar a 50°C.

3.2.2 Tratamento do Pó de Madeira

Utilizou-se 540g de pó de madeira (WF), tratado com o seguinte procedimento:

- Foi preparada uma solução composta por 950 mL de água destilada, 50 mL de etanol (C_2H_6O) e 20 g de titanato de bário ($BaTiO_3$);
- Misturou-se 3 gotas de ácido acético e mistura da solução com o pó de madeira (540g);
- O material foi deixado em repouso por aproximadamente 5 minutos e em seguida levado a estufa para secagem por 24:00h a uma temperatura de (65°C).

3.2.3 Preparação dos corpos de prova

Após o tratamento da fibra de buriti e do pó de madeira, o material com a incorporação do PEBD passou pelo equipamento homogeneizador e foi separado em sacos plásticos com as devidas quantidades que irão fazer parte dos corpos de prova. Após o processo de trituração o material foi injetado para o desenvolvimento dos corpos de prova que serão caracterizados pelos ensaios mecânicos, térmicos e reológicos. As Figuras 6 e 7, apresentam o material dos compósitos C_2 e C_3 respectivamente.

A Tabela 6 apresenta a composição das formulações experimentais.

Figura 6 – Material do Compósito C₂Figura 7 – Material do Compósito C₃

Tabela 6: Composição das formulações Experimentais Obtidas

Denominação	Formulações	Composição
C ₁ - PEBD _{puro}	Matriz polietileno de baixa densidade (PEBD)	100% PEBD – 1,5kg
C ₂	PEBD reforçado com 5% de fibra de buriti (F _B) e 5% de pó de madeira (WF)	90% PEBD (1,35kg) +5%F _B (60,0g)+5%WF (90,0g)
C ₃	PEBD reforçado com 10% de fibra de buriti (F _B) e 10% de pó de madeira (WF)	80% PEBD (1,200g) +10%F _B (120g)+10%WF (180 g)
C ₄	PEBD reforçado com 15% de fibra de buriti (F _B) e 15% de pó de madeira (WF)	70% PEBD (1,05kg) +15%F _B (180g) +15%WF (270g)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

Os corpos de prova foram caracterizados pelos ensaios: reológicos (índice de fluidez), mecânicos (tração, flexão, dureza Shore D, impacto Izod) e térmicos (HDT e Vicat) de acordo com as normas ASTM e ABNT.

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ÍNDICE DE FLUIDEZ

Pelo ensaio do índice de fluidez, determina-se a taxa de fluxo de resinas termoplásticas por 10 minutos, por meio de um plastômetro de extrusão. Os ensaios para a medida referencial do índice de fluidez (IF) foram realizados num Plastômetro Tinius Olsen. A unidade usual do índice de fluidez é g/10min, conforme norma ASTM D-1238. Foram realizados 10 ensaios para cada composição, na condição L (T = 190°C e carga de 2,160 kg). Para os compósitos, o material utilizado estava na forma de grânulos, coletado após a etapa de extrusão das formulações em rosca dupla.

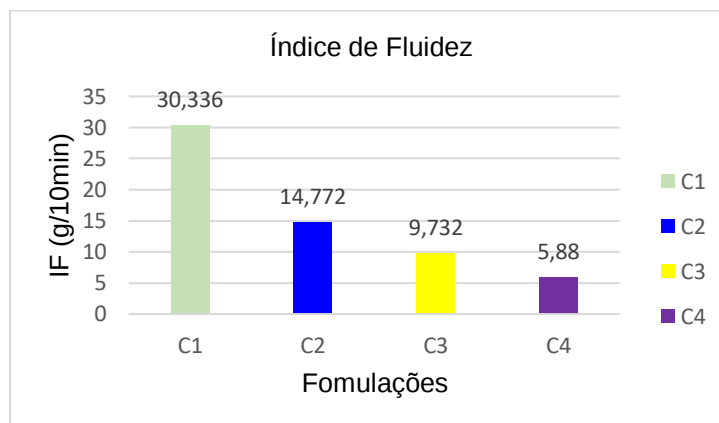
A Tabela 7 apresenta os valores médios entre os 10 ensaios do índice de fluidez obtidos para o polietileno de baixa densidade puro (PEBD) e para os compósitos C₁ (95% PEBD/5%FB), C₂ (90% PEBD/10%FB), C₃ (80% PEBD/20%FB).

Tabela 7 - Resultados dos Ensaio de Índice de Fluidez

Formulações	C ₁ PEBD _{puro}	C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF)	C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)
Ensaio	IF (g/10 min)	IF (g/10 min)	IF (g/10 min)	IF (g/10 min)
Valor Médio	30,336	14,772	9,732	5,880

A partir da Tabela 7, elaborou-se o Gráfico do Índice de Fluidez.

Figura 8 - Gráfico do Índice de Fluidez



De acordo com a Tabela 8 e o Figura 8, observa-se que, com o aumento da proporção dos reforços, os valores do índice de fluidez diminuem, ou seja, com um decréscimo de aproximadamente: 51% nos valores do IF do compósito C₂ em relação aos valores do PEBD puro; 69% de C₃ em relação aos valores do PEBD puro e de 80,6% de C₄ em relação aos valores do C₁.

4.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS MECÂNICOS

4.2.1 Resultados dos Ensaio de Tração – Resistência à Tração

Os ensaios de tração foram realizados segundo a ASTM D 638-94, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinado a resistência à tração na ruptura σ_T (MPa), o alongamento na ruptura - ε_B (Mpa) e módulo de tração na ruptura - ε_T (Mpa). A unidade utilizada nas determinações foi MPa. As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaio – Zwick / Roell, com pré-carga de 0,1Mpa, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da UPM.

A Tabela 8 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão das propriedades: resistência à tração na ruptura - σ_T (MPa); alongamento na ruptura - ε_B (Mpa); módulo de tração na ruptura - ε_T (Mpa) obtidos para o PEBD_{puro} e as formulações

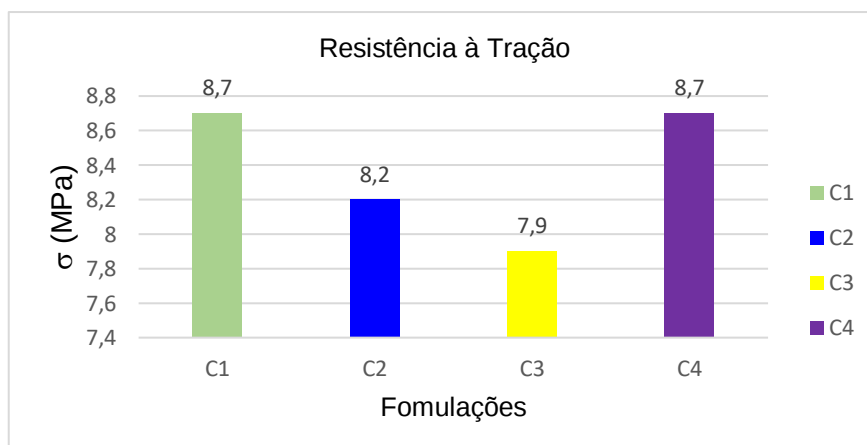
C₂ (90% PEBD +5%F_B +5%WF), C₃(80% PEBD +10%F_B +10%WF) e C₄ (70% PEBD +15%F_B +15%WF)

Tabela 8 - Resultados de Resistência à Tração (MPa), do Alongamento na Ruptura (MPa) e do Módulo de Tração na Ruptura (Mpa).

Formulações	Resistência à Tração na Ruptura - σ_T (MPa)	Alongamento sob Tração na Ruptura - ε_B (%)	Módulo de Tração na Ruptura - ε_T (%)
C ₁ : PEBD _{puro}	8,7 ± 0,3	84,0 ± 0,2	76,0 ± 0,4
C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF)	8,2 ± 0,6	51,0 ± 0,7	46,0 ± 0,9
C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	7,9 ± 0,7	22,0 ± 0,9	11,0 ± 0,3
C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)	8,7 ± 0,4	10,0 ± 0,5	6,3 ± 0,8

Da Tabela 8, construiu-se o Gráfico 9, dos ensaios de resistência à tração.

Figura 9 – Gráfico da Resistência à Tração



Analisando-se os valores da Tabela 8, e do Figura 9, dos valores obtidos da resistência à tração para o PEBD_{puro} e para os compósitos C₂, C₃ e C₄ observou-se um pequeno decréscimo dos compósitos C₂ e C₃ (5,6% e 9,2% respectivamente) e os valores para o compósito C₄ foram iguais ao do PEBD_{puro}. No alongamento sob tração na ruptura e no módulo sob tração observou-se redução nos valores de C₂, C₃ e C₄ em relação ao do PEBD_{puro} com o aumento da percentagem dos reforços.

4.2.2 Resultados dos Ensaios de Resistência à Flexão

Os ensaios de flexão foram realizados segundo a ASTM D790, com 10 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinado a resistência à flexão - σ_F (MPa) e módulo de flexão - ε_F (Mpa). As medições foram realizadas em Máquina Universal de Ensaio – Zwick / Roell, com pré-carga de 0,1N, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

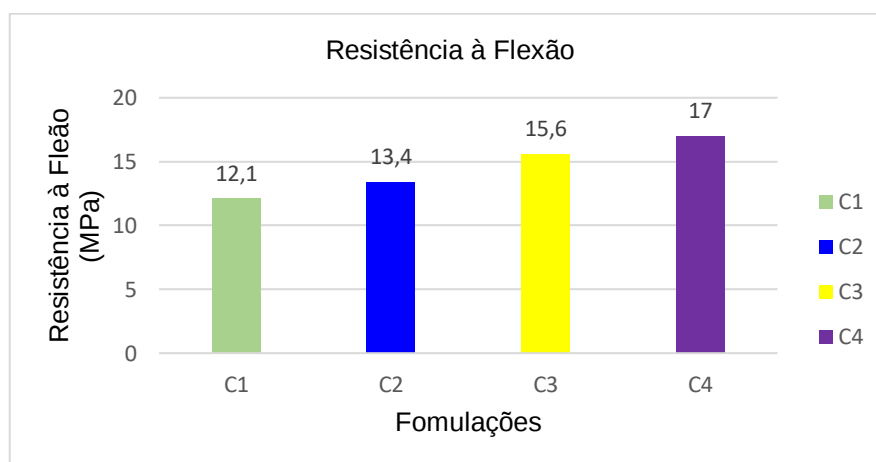
A Tabela 9 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da resistência à flexão e do módulo de flexão obtidos para PEBD_{puro} e as formulações C₂(90% PEBD +5%F_B +5%WF), C₃(80% PEBD +10%F_B +10%WF) e C₄(70% PEBD +15%F_B +15%WF)

Tabela 9 - Resultados de Resistência à Flexão(MPa) e do Módulo de Flexão na Ruptura (Mpa).

Formulações	Resistência à Flexão σ_F (MPa)	Módulo de Flexão ε_F (%)
C ₁ : PEBD _{puro}	12,1 ± 1,3	17,5 ± 0,3
C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF)	13,4 ± 0,9	16,0 ± 0,3
C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	15,6 ± 1,2	14,8 ± 0,3
C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)	17,0 ± 1,5	11,7 ± 0,3

A partir da Tabela 9, elaborou-se o Gráfico de barras apresentado na Figura 10, dos valores dos ensaios de resistência à flexão.

Figura 10 – Gráfico dos Ensaio de Resistência à Flexão



A partir da Tabela 9 e do Figura 10, observou-se um ganho significativo na resistência à flexão, de até 40,5% com o aumento da percentagem dos reforços.

Em relação ao PEBD_{puro}, os compósitos C₂, C₃ e C₄ apresentaram respectivamente um acréscimo aproximado de 10,8%, 29% e 40,5%. Os compósitos C₃ e C₄ apresentaram maiores valores de resistência à Flexão.

Com relação ao módulo de flexão, com o aumento dos reforços, observou-se decréscimos nos valores do compósito C₂, C₃ e C₄ em relação aos valores do PEBD_{puro}.

4.2.3 Resultados dos Ensaio de Dureza Shore D

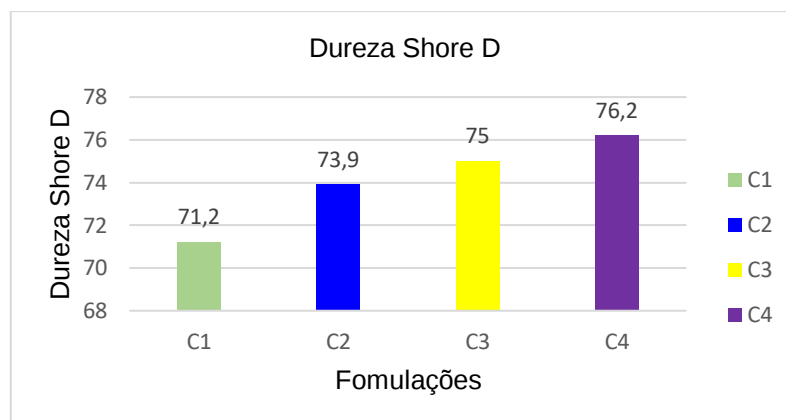
Os ensaios de dureza Shore D foram realizados segundo a norma ASTM D 2240-97, com 10 medidas para cada composição. A Tabela 10 apresenta os valores dos ensaios de dureza Shore D obtidos para o polipropileno reciclado puro para o PEBD_{puro} e as formulações C₂ (90%PEBD +5%F_B +5%WF), C₃(80% PEBD +10%F_B +10%WF) e C₃ (70% PEBD +15%F_B +15%WF).

Tabela 10 - Resultados dos Ensaio de Dureza Shore D

Formulações	C ₁ PEBD _{puro}	C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF)	C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)
Valor Médio	71,2 ± 1,1	73,9 ± 0,5	75,0 ± 0,9	76,2 ± 0,8

A partir da Tabela 10, elaborou-se o Gráfico de Barras da dureza Shore D, conforme a Figura 11..

Figura 11 – Gráfico da Dureza Shore D.



A partir da Tabela 10 e do Gráfico 11 observou-se, que em relação dos valores da dureza shore D do PEBD_{puro}, com o aumento da percentagem dos reforços, um pequeno aumento nos valores da dureza dos compósitos C₂, C₃ e C₄, ou seja, houve um acréscimo aproximado de 3,8%, 5,3% e 7,0% respectivamente em relação a C₁.

Observou-se um pequeno aumento na dureza dos compósitos em relação ao polipropileno puro. Isto confere aos compósitos uma maior resistência ao risco, o que deve ser útil em inúmeras aplicações.

4.2.4 Resultados dos Ensaio de Impacto Izod

Os ensaios de Impacto foram realizados segundo a norma ASTM D 2240-97, com 10 ensaios para cada composição.

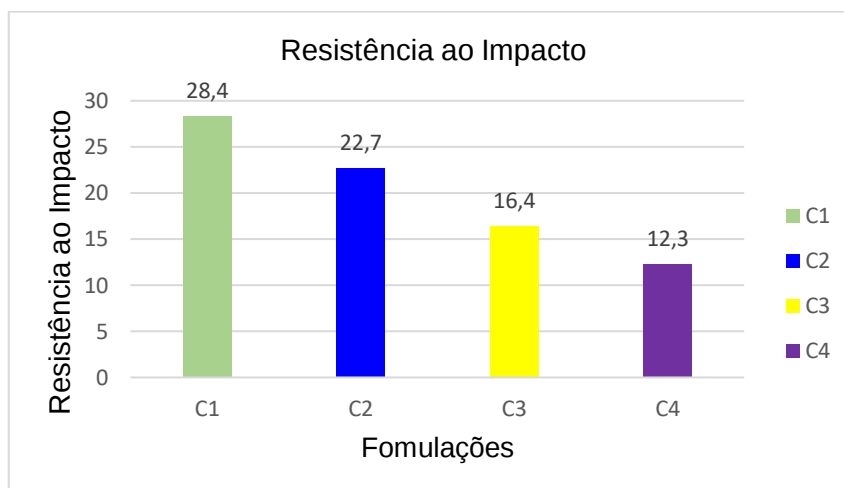
A Tabela 11 apresenta os valores dos ensaios de Impacto obtidos para o PEBD_{puro} e as formulações C₂ (90%PEBD +5%F_B +5%WF), C₃(80% PEBD +10%F_B +10%WF) e C₄ (70% PEBD +15%F_B +15%WF).

Tabela 11 - Resultados dos Ensaios de Impacto

Formulações	C ₁ PEBD _{puro}	C ₂ (90% PE BD +5%F _B +5%WF)	C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)
Valor Médio	28,4 ± 2,5	22,7 ± 1,9	15,4 ± 2,0	12,3 ± ,6

A partir da Tabela 11, construiu-se o Gráfico de barras da Resistência ao Impacto, conforme Figura 12.

Figura 12 – Gráfico da Resistência ao Impacto



Da Tabela 11 e da Figura 12, em relação aos valores da resistência do impacto do PEBD_{puro}, observou-se que com o aumento da percentagem dos reforços uma redução nos valores dos compósitos C₂, C₃ e C₄, ou seja, aproximadamente, 20%, 42% e 57% respectivamente.

4.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS TERMICOS

4.3.1 Ensaios de Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

Os ensaios de Temperatura de Deflexão Térmica ou Distorção ao Calor (HDT) foram realizados segundo a ASTM D ASTM D790, com 5 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinada a Temperatura de Distorção ao Calor (HDT). As medições foram realizadas no Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca TINIUS OLSEN, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

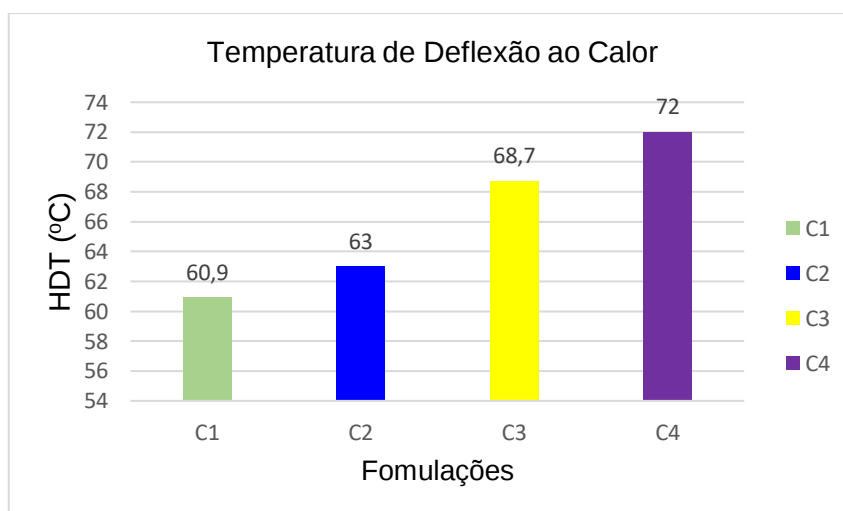
A Tabela 12 apresenta os valores médios, acompanhados pelo respectivo desvio padrão da Temperatura de Distorção ao Calor (HDT) dos valores obtidos para o PEBD_{puro} e as formulações C₂ (90%PEBD +5%F_B +5%WF), C₃(80% PEBD +10%F_B +10%WF) e C₄ (70% PEBD +15%F_B +15%WF).

Tabela 12 - Resultados de Temperatura de Deflexão ao Calor (HDT)

Formulações	C ₁ PEBD _{puro} (°C)	C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF) (°C)	C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF) (°C)	C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF) (°C)
Valor Médio	60,9 ± 0,4	63,0 ± 0,6	68,7 ± 0,7	72,0 ± 2,0

A Figura 13, apresenta o gráfico de barras da temperatura de deflexão ao calor.

Figura 13 – Gráfico da Temperatura de Deflexão ao Calor



A partir da Tabela 11 e da Figura 13, observou-se, em relação aos valores do PEBD_{puro}, um acréscimo do HDT com o aumento da percentagem de reforços. Houve uma redução de 3,4%, 12,8% e 18,2% nos valores dos compósitos C₂, C₃ e C₄ em relação aos valores do PEBD_{puro}.

4.3.2 Resultados dos Ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat

Os ensaios de Temperatura de Amolecimento Vicat foram realizados segundo a ASTM D 1525, com 5 ensaios para cada composição. Para cada corpo-de-prova foi determinada a Temperatura de Amolecimento Vicat. As medições foram realizadas no Medidor de Temperatura de Distorção Térmica (HDT) e Temperatura Vicat, marca TINIUS OLSEN, modelo HDT 6 Vicat P/N 6921, do Laboratório de Caracterização de Materiais do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie.

A Tabela 13 apresenta os valores médios, e seus respectivos desvios padrão da Temperatura de Amolecimento Vicat dos valores obtidos para o PEBD_{puro} e as formulações

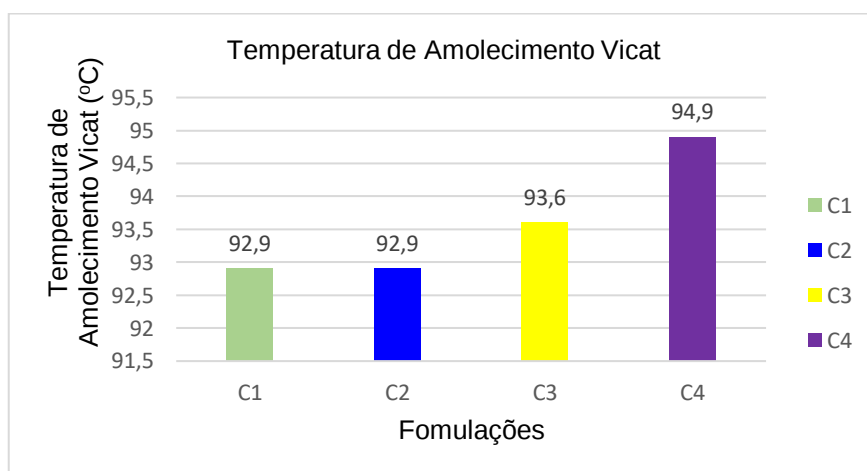
C₂ (90%PEBD+5%F_B+5%WF), C₃(80%PEBD+10%F_B+10%WF) e C₄(70%PEBD+15%F_B+15%WF).

Tabela 13 – Resultados dos Ensaio de Temperatura de Amolecimento Vicat.

Formulações	C ₁ PEBD _{puro}	C ₂ (90% PEBD +5%F _B +5%WF)	C ₃ (80% PEBD +10%F _B +10%WF)	C ₄ (70% PEBD +15%F _B +15%WF)
Valor Médio	92,9 ± 0,2	92,9 ± 0,3	93,6 ± 0,3	94,9 ± 0,5

A Figura 14 apresenta o Gráfico da Temperatura de Amolecimento Vicat.

Figura 14 – Gráfico da Temperatura de Amolecimento Vicat



A partir da Tabela 13 e do Gráfico 14 observou-se que em relação aos valores da temperatura de amolecimento Vicat, o compósito C₂ se manteve igual e o compósito C₃ apresentou um acréscimo de 0,8% e o compósito C₄ apresentou um acréscimo de 2%. Portanto, os valores se mantiveram praticamente constantes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos resultados obtidos nesta pesquisa, observou-se que:

- Fundamentado nos ensaios de processabilidade, realizados em Reômetro de torque Haake, constatou-se que os compósitos C₂, C₃ e C₄ podem ser processados em condições similares ao polietileno de baixa densidade puro (PEBD_{puro});
- A preparação dos compósitos em extrusora de dupla-rosca possibilitou que, na moldagem por injeção, fossem obtidos corpos-de-prova homogêneos, com aspecto visual satisfatório, com boa qualidade superficial, havendo boa interação entre os reforços (F_B e WF) e a matriz (PEBD);

- Os valores médios do índice de fluidez dos compósitos C₂, C₃ e C₃ foram inferiores ao índice de fluidez do polietileno de baixa densidade puro (PEBD_{puro}), pois a adição do material de reforço geralmente reduziu o índice de fluidez dos polímeros, pois a presença das fibras na matriz polimérica restringe a mobilidade das macromoléculas, dificultando o fluxo do polímero fundido e consequentemente aumentando a sua viscosidade.

- Os valores de resistência à tração dos compósitos C₂, C₃ e C₃ praticamente se equivaleram ao do polietileno de baixa densidade puro (PEBD_{puro});

- Em relação ao PEBD_{puro}, os valores da resistência à flexão dos compósitos C₂, C₃ e C₄ aumentaram com o aumento da percentagem dos reforços. Os compósitos C₃ e C₄ apresentaram maiores valores de resistência à Flexão. Com relação ao módulo de flexão, com o aumento dos reforços, observou-se decréscimos nos valores do compósito C₂, C₃ e C₄ em relação aos valores do PEBD_{puro};

- Os valores da dureza shore D dos compósitos C₂, C₃ e C₄, apresentaram um pequeno aumento com a incorporação dos reforços em do PEBD_{puro}. Isto confere aos compósitos uma maior resistência ao risco, o que deve ser útil em inúmeras aplicações.

- O impacto Izod dos compósitos C₂, C₃ e C₄ apresentaram redução nos seus valores com o aumento da percentagem dos reforços em relação aos valores da resistência do impacto do PEBD_{puro};

- O desempenho térmico dos compósitos, avaliado pelos ensaios de temperatura de distorção ao calor sob carga – HDT e pela temperatura de amolecimento Vicat foram superiores aos obtidos para o PEBD_{puro};

- A fibra de buriti (F_B) tratada com NaOH acrescentou rigidez e dureza quando agregada a matriz polimérica e o pó de madeira (WF) tratado com titanato de bário (BaTiO₃) utilizado como reforço particulado apresentou um aumento da rigidez do material modificado aumentando sua resistência química.

6. REFERÊNCIAS

AFONSO, S. R. Análise Preliminar das Cadeias do Pequi e do Buriti, em nível Nacional e Identificação de Territórios Estratégicos. **Relatório** corresponde ao Produto 2 do Projeto PNUD BRA 99/025, 2011.

ANTUNES, M.C., **Durabilidade mecânica de Compósitos de Polipropileno com Reforço Híbrido de Fibra de Coco e Talco**. Dissertação. (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012.

ARAUJO, J. R. Compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibra de curauá obtidos por extrusão e injeção. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Estadual de Campina - UNICAMP. Campinas – S.P., 2009.

BALZER P. S., VICENTE L.L., BRIESEMEISTER, R., BECKER, D., SOLDI, V., RODOLFO JR., A., FELTRAN, M.N., Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. **Polímeros**, volume 17, nº 1, São Carlos, SP, 2008, <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282007000100004>.

BARBOSA, A.P., **Características Estruturais e Propriedades de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Buriti**. Tese. (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes – RJ, Rio de Janeiro, 2011.

BARBOSA, L.A.; DREGER, A.A.; SCHNEIDER, E.L.; MORISSO, F.D.P.; SANTANA, R.M.C. Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações. **Revista Espacios**, Vol. 38 (Nº 17), ISSN 0798 1015. 2017.

BEDIN, M. G., Compósito com Polietileno de Baixa Densidade e Fibra de Coco *in natura* e Modificada. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Centro de Ciência e Tecnologia. Campos dos Goytacazes-RJ, 2014.

CALLISTER, W.D., RETHWISCH, D.G., **Ciência Engenharia de Materiais** - Uma Introdução. 8ª Ed., Editora LTC, 2012.

CARMO, J. B.; FILOSO, S.; ZOTELLI, L. C.; SOUSA NETO, E. R.; PITOMBO, L. M.; DUARTE-NETO, P. J.; VARGAS, V. P.; ANDRADE, C. A.; GAVA, G. J. C.; ROSSETO, R.; CANTARELLA, H.; NETO, A. E. & MARTINELLI, L. A. - **GCB Bioenergy**, 5, p.267 (2013).

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003
Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v13n1/15064.pdf> . Acesso em 20/02/2020.

COUTINHO, M. B.; COSTA, T. H. S.; New Horizons in Environment and Application of Polypropylene-Wood Fiber Composites. In: **SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES – ISNaPol/98**, Atibaia-SP, 1998.

DOW Chemical Company. Dow Brasil - Plásticos. Disponível em: Acesso em 25/01/2010.

ENGLISH, B.; STARK, N. CLEMONS, C.; Weight Reduction: Wood versus Mineral Fillers in Polypropylene; In: **FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOODFIBER-PLASTIC COMPOSITES**, p. (237-144), Madison, Wisconsin, 1997.

GIANELLI, I.A., FERNANDES, N.L, Reciclagem de Polipropileno Reforçado com Fibra Natural para Objetos Injetados de Uso Geral. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2016.

GRILLO, C.C., **RECICLAGEM DE REJEITOS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo. Lorena, SP, 2016.

KOENIG, K. M.; SYPKENS, C. W. Woodplastic composites for market share. **Wood and Wood Products**, v.107, n.5, p.49-58, 2002.

LEGUENZA, E. L. Influência do negro de carbono (carbon black) nas propriedades dielétricas do polietileno envelhecido sob radiação UV. Dissertação (Mestrado em física), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 1999..

MANO, E.B., **Polímeros Como Materiais de Engenharia**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1991.

MASSON, T. J., Desenvolvimento e Reciclagem do Polipropileno Modificado pela Presença De Cargas Híbridas. Tese. (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo – SP, 1998.

MIRANDA, L. F., Estudo Comparativo das Propriedades Mecânicas de Poliésteres Insaturados Reforçados com Fibra Curta de Aramida e Penas de Aves, Dissertação. (Mestrado). Universidade de São Paulo - IPEN, São Paulo-SP, 1994.

MONTEIRO, S.N.; LOPES, F.P.D.; FERREIRA, A.S.; NASCIMENTO, D.C.O. Nature of fiber polymer-matrix composites: cheaper, tougher, and environmentally friendly. **JOM**, V. 61, N.1, 2009.

MUNARO, M. Desenvolvimento de blendas de polietileno com desempenho aperfeiçoado para utilização no setor elétrico. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Setor de Tecnologia- Universidade Federal do Paraná, 2007.

OLIVEIRA, A.C.F.; FERRETO, H.F.R.; LUGÃO, A.B.; Caracterização do Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) Processado e Modificado pela Radiação Gama. In: International Nuclear Atlantic Conference – INAC, 2011 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA NUCLEAR – ABEN, Belo Horizonte, M.G., Brazil, 2011.

OLIVEIRA, R.M., PAIVA, J. M. F., BOTARO, V.R., Compósito de poliuretano elastomérico reforçado com fibras de juta: estudo das propriedades dinâmico-mecânicas e viscoelásticas. **Revista Iberoamericana de Polímeros** Volumen 15(5), Septiembre de 2014.

OMNEXUS – Plastics & Elastomers - Solutions. **Força e as limitações de PEBD - Polietileno de Baixa Densidade**. Acesso em 10/11/2019. Disponível em: <<http://www.omnexus.com/tc/polymerselector/polymerprofiles.aspx?id=215&us=0&tab=1>>.

POLETTI, M., Compósitos termoplásticos com madeira - uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada-Ricca**. ISSN 2525-3824, Vol. 2, nº 4, 2017.

REEBERG, J.H., **SEBRAE** - Unidade de Acesso a Mercado, Distrito Federal, Brasília, 2010.

SARAIVA, N. A. Manejo Sustentável e Potencial Econômico da Extração do Buriti nos Lençóis Maranhenses, Brasil. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável)- Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Acesso em outubro/2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/4168>

SANTOS, R.; MARTINS, J. G. **Materiais de Construção Plásticos. Série Materiais**. 2ª Edição 2010. Universidade Fernando Pessoa. Acesso em 20/03/2020. Disponível em: <http://www2.ufp.pt/~jguerra/PDF/Materiais/MCI%20-%20Plasticos_2010.pdf>.

TAVARES, P.H.C.P., FARIA ANDRADE, A.C., BELÉM, A. P. C., DORNELLAS, M. R., GOMES, N. G. D. Eco-Compósito de Madeira Plástica Produzido com Acabamento Rústico da Superfície por Gravação à Laser. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Ponta Grossa-PR, Brasil, dezembro, 2017.

TROMBETTA, E., **Utilização de Fibra Natural de Pinus (serragem) como reforço em componentes automotivos compostos de polipropileno**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). UFPR, Curitiba - PR, 2010.

ULLOA; MIRANDA; ANDRADE E SILVA. Estudo da Radiação Ionizante em Compósito de Polipropileno/fibra de vidro “longa”. *Compósitos*. In: Anais do 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS – Foz do Iguaçu, PR – Outubro/2009.

ZOCH V.P. **Produção e Propriedades de Compósitos Madeira-Plástico Utilizando Resíduos Minimamente Processados**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ZANATTA, C.F., MITJANS, M., URGATONDO, V., ROCHA FILHO, P.A., Low cytotoxicity of creams and lotions formulated with buriti oil (*Mauritia flexuosa*) assessed by the neutral red release test. **Food and Chemical Toxicology**, v.46, p.2776-2781, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691508002238>>. Acesso em: março/2020. Doi:10.1016/j.fct.2008.05.001.

WASILKOSKI, C. M. **Caracterização do polietileno de baixa densidade através da técnica de análise dinâmico-mecânica e comparação com a análise por impedância**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2002. Acesso em 18/09/2019. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/trabalhos/trabalhos/Dissertacao_Cleuza.pdf>.

Contatos: filipemetranp@gmail.com, tmasson@mackenzie.br