



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE MARABÁ
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

Bárbara Thays Rodrigues de Almeida

**Caracterização mecânica de Compósitos híbridos de
resina poliéster reforçada com fibras de Babaçu
(Orrbignya speciosa) e particulados argilosos.**

MARABÁ
2013

Bárbara Thays Rodrigues de Almeida.

Caracterização mecânica de Compósitos híbridos de resina poliéster reforçada com fibras de Babaçu (*Orrbignya speciosa*) e particulados argilosos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Márcio Paulo de Araújo Mafra

MARABÁ
2013

Bárbara Thays Rodrigues de Almeida.

Caracterização mecânica de Compósitos híbridos de resina poliéster reforçada com fibras de Babaçu (Orrbignya speciosa) e particulados argilosos.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.
Orientador: Prof. Márcio Paulo de Araújo Mafra

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca examinadora:

Prof. M.Sc. Marcio Paulo Araujo Mafra – UFPA - Orientador

Prof. Dr. Elias Fagury Neto – UFPA - Membro interno

Prof. Dr. Edemarino Araujo Hildebrando – UFPA - Membro interno

Dedico este trabalho à minha família por sempre serem o meu tudo...
Amo vocês!

Agradeço primeiramente e principalmente ao meu Senhor Jesus Cristo, por ter me abençoado todos os dias, por ter me dado o privilegio de cursar esta graduação e por sempre se fazer presente em minha vida.

Quero agradecer e dizer aos meus pais Enilson e Walkíria que em tudo na vida, se hoje enxergo mais longe é porque sempre tive como apoio seus ombros fortes! E aos meu irmãos Joppye, Amanda, Isadora e Talita, por tudo.

Agradeço a Faculdade de Engenharia de Materiais e a Universidade Federal do Pará, incluindo todos os professores, todos os técnicos, todos os colaboradores e enfim a todos os alunos que colaboraram direta ou indiretamente neste trabalho.

Agradeço ao GEPC, pois foi onde pude realizar este trabalho com o apoio de todos os seus integrantes.

Agradeço aos professores Simone Paz e Rômulo Angélica e ao instituto de geociências da UFPA por todo apoio e realização dos ensaios de caracterização e difração de raios X do material argiloso.

Agradeço a meu orientador Marcio Mafra por todo apoio e ensinamento dado durante toda a minha graduação.

Agradeço especialmente a Femat 2009 pelos amigos e irmãos que conheci nesta jornada de cinco anos, os quais serão para toda a minha vida , neste período choramos, sofremos, sorrimos, aproveitamos, nos conhecemos, brigamos, nos aproximamos, enfim, nos amamos!

Agradeço em particular a algumas pessoas que sempre estiveram comigo de alguma forma, saibam que são todos muito especiais, Ronaldo Gama, Jhol Souza, Bruna Soares, Lourival Rodrigues, Leticia Gomes, Tulio Alves, Adriano Costa e Micael Paiva.

Enfim, saibam que sou muito grata e feliz por tudo que passei durante estes anos dentro da faculdade e desejo a todos toda a sorte de bênçãos existentes.

Obrigada!

"...:Até aqui nos ajudou o Senhor."
1º Samuel 7.12

"Grandes coisas fez o Senhor por nós, e por isso, estamos alegres."
Salmos 126.3

RESUMO

Com o intuito de atender a grande demanda de materiais ecologicamente corretos e de conduzir a uma maior variedade de processos na área de compósitos através da viabilização e da valorização dos recursos naturais existentes e provenientes da Região Amazônica, decidimos então, criar um compósito utilizando resina poliéster insaturada, argila regional e fibras longas naturais oriundas do invólucro do palmito da palmeira do Babaçu (*Orrbignya speciosa*), portanto tendo como principal objetivo a valorização de matérias primas da região. O processo baseia-se na mistura da resina com a argila e a fibra formando placas para a confecção dos corpos de prova contendo as proporções de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% em peso de cada reforço. Dessa forma, depois de realizados os ensaios, ficou claro que o compósito híbrido proporciona uma grande utilização do material com um potencial elevado de aplicação tecnológica e uma excelente viabilidade ecológica e econômica. Para estudo das propriedades mecânicas realizou-se os ensaios de flexão, microdureza e a análise da morfologia de superfície através da Microscopia Eletrônica de Varredura. Logo, os resultados demonstraram que o compósito da argila com a fibra do invólucro do palmito do babaçu tem grande potencial como reforço na resina poliéster.

Palavras-chave: Compósitos, argila regional, fibra natural de Babaçu, resina poliéster, Caracterização mecânica.

ABSTRACT

In order to meet the high demand of environmentally friendly materials and lead to a greater variety of processes in the area of composites through the viability and recovery of natural resources and from the Amazon region, we decided to produce a composite using unsaturated polyester resin, clay and long fibers derived from casing the hull of babassu concept, was the main objective was recovery of raw materials from the region. The process was based on mixing the resin with the clay and the fibers forming plates for the preparation of the samples containing maquert of 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Thus, the tests performed after it became clear that the hybrid composite provide a promising use as material with a high potential for technological application and a great ecological and economic viability. To study the mechanical properties, the bending strenght tests, and microhardness analysis of the surface morphology by scanning electron microscopy were parformeq. Thus, the results showed that the composite fiber clay babassu fibers shawad great potential as reinforcement in polyester resin.

Keywords: Composites, Clay, Babassu fibers, polyester resin, mechanical characterization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fluxograma da metodologia empregada na obtenção dos compósitos	26
Figura 2.	Catalisador e resina utilizados	27
Figura 3.	Fibras do palmito de Babaçu in natura.	28
Figura 4.	Argila com granulometria de 400#.	29
Figura 5.	Molde utilizado para a confecção das placas de compósitos.	30
Figura 6.	Placa sendo confeccionada em uma prensa hidráulica sob pressão por 24 horas.	30
Figura 7.	Placas confeccionadas dos compósitos híbridos.	32
Figura 8.	Dimensões dos corpos de prova para ensaio de tração e flexão, respectivamente.	33
Figura 9.	Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão.	34
Figura 10.	Microdurometro digital PROCEQ.	34
Figura 11.	Gráfico de difração de raios-x da amostra.	36
Figura 12.	A) Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu não tratadas. Aumento de 150 e 300x respectivamente.	38
Figura 13.	Gráfico de Força de Ruptura no compósito com argila.	39
Figura 14.	Gráfico de Força de Ruptura dos compósitos de fibras	40
Figura 15.	Gráfico de Força de Ruptura do compósito de argila e fibra.	40
Figura 16.	Gráfico comparativo de todos os compósitos feitos.	41
Figura 17.	Gráfico de Resistência a Flexão no compósito com Argila.	42
Figura 18.	Gráfico de Resistência a Flexão no compósito com Fibra.	42
Figura 19.	Gráfico de Resistência a Flexão no compósito Híbrido.	43
Figura 20.	Gráfico comparativo das Resistências a Flexão nos compósitos.	43
Figura 21.	Gráfico de microdureza do compósito com argila.	44
Figura 22.	Gráfico de microdureza do compósito de argila e fibra.	45
Figura 23.	Gráfico comparativo das Microdurezas de compósitos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Compósitos de Argila.	31
Tabela 2.	Compósitos de Fibras.	31
Tabela 3.	Compósitos híbridos de Argila e Fibras.	32
Tabela 4.	Componentes e concentrações da argila caracterizada.	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS GERAIS:	14
2.1 Objetivos Específicos:	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	15
3.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.	16
3.3 REFORÇOS	17
3.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS NATURAIS.	18
3.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR PARTÍCULAS OU COMPÓSITOS PARTICULADOS.	19
3.6 COMPÓSITOS HÍBRIDOS.	20
3.7 RESINA POLIÉSTER (MATRIZ).	21
3.8 AGENTES DE CURA.	22
3.9 INTERFACE MATRIZ-FIBRA	23
3.10 FIBRAS DO BABAÇU	24
3.11 ARGILAS	24
4. METODOLOGIA	26
4.1 MATRIZ POLIMÉRICA	27
4.2 FIBRAS DE BABAÇU	27
4.3 MATERIAL ARGILOSO PARTICULADO.	28
4.5 CONFECÇÃO DAS PLACAS E DOS CORPOS DE PROVA	30
4.6 ENSAIOS MECÂNICOS.	33
4.6.1 Ensaios de Flexão	33
4.6.2 ENSAIOS DE MICRODUREZA.	34
4.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS NÃO TRATADAS	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 <i>CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO PARTICULADO.</i>	36
5.3 ENSAIOS DE FLEXÃO.	39
5.3.1 Força de Ruptura.	39
5.3.2 Resistência a Flexão.	42
6. CONCLUSÕES	47
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

Compósitos são definidos como uma nova classe de materiais, que podem conter em sua estrutura, uma pequena quantidade de partículas e/ou fibras. A utilização de pequenas quantidades de cargas inorgânicas, como os filitos e de fibras de variadas espécies vem sendo utilizada para melhorar as propriedades das resinas, tais como resistência mecânica, estabilidade térmica, óptica, magnética e elétrica, além de proporcionar uma maior resistência à chama e propriedades de barreira, e até uma melhor estética.

Pela literatura, um compósito pode ser definido como sendo uma combinação de dois ou mais materiais, onde está presente uma fase contínua, constituída pela matriz, e a fase descontínua, o reforço, sob a forma de fibras, partículas esféricas ou plaquetas, embebidas na matriz, sendo que cada qual permanece com suas características individuais. (CALLISTER, 2008).

Dentre os tipos de materiais utilizados para a confecção de compósitos destacam-se as argilas, fibras vegetais e a resina poliéster. As argilas são materiais que apresentam estrutura em multicamadas, elevada razão para melhorias de aspecto e propriedades dos materiais. A argila utilizada neste trabalho é proveniente do município de Marabá, no estado do Pará.

As fibras vegetais são materiais que possuem boas propriedades mecânicas combinadas com baixa densidade, o que as tornam um bom componente para a aplicação em compósitos e desenvolvimentos de materiais de baixo custo. Servem para melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, pois a substituição de polímeros com fibras naturais diminui o custo do produto e a utilização de fontes não renováveis, a exemplo a resina poliéster usada neste trabalho, o que industrialmente se torna um dos principais motivos para crescentes e relevantes pesquisas na área de compósitos poliméricos. (GONZÁLEZ, 2004).

As fibras utilizadas neste trabalho foram extraídas da planta *Orrbignya speciosa* da família botânica *Palmae*, popularmente conhecida como Babaçu.

O palmito é o mais importante produto proveniente do babaçu, no entanto as amêndoas dentro dos seus cocos são fontes de óleos para a indústria de cosméticos, o tronco e os restos das cascas do fruto da palmeira são utilizados na produção de carvão. É importante ressaltar que uma vez derrubada, o aproveitamento da palmeira se dar por completo (ANDRADE, 2009).

A resina poliéster é amplamente utilizada em diversas aplicações industriais devido às suas excelentes propriedades mecânicas e químicas, além de baixo custo e facilidade de processamento (NOBREGA, 2007).

Pela carência de estudos e pesquisas na área do solo na região amazônica, surgiu-se a idéia de se utilizar a argila para a confecção de polímeros com incorporação em resina, de modo a se aproveitar as características dos mecanismos presentes nos dois principais compostos estudados.

Dentre as vantagens do desenvolvimento de compósitos reforçados com argila regional e fibra natural está a possibilidade de criação de novos setores na economia do país, o que trará novos empregos e facilitará a compra e utilização desta tecnologia; outra vantagem significativa é a da utilização destes novos materiais para aplicações que ajudem o meio ambiente e harmonizam as características regionais, onde são realçados os materiais da própria região.

Neste projeto foram utilizadas, para o desenvolvimento de novos tipos de compósitos reforçados com argila, metodologias de desenvolvimento de produto, que visam dar maior agilidade ao fluxo de informações e desenvolver o projeto de forma conjunta, ou seja, todas as áreas técnicas envolvidas (equipe multifuncional) participam de todas as etapas, diminuindo assim a possibilidade de que, em etapas futuras, o projeto tenha que retroceder, devido a incompatibilidades produtivas, tecnológicas, geométricas, quanto ao transporte, quanto ao armazenamento e estocagem, quanto à reciclagem, etc.

Também deve ser mencionado, que a natureza oca de fibras vegetais, que podem proporcionar o isolamento acústico, dependendo do tipo de matriz, promover determinadas propriedades de amortecimento. (SILVA, 2009).

A criação do projeto e do desenvolvimento deste trabalho se deu devido às boas propriedades mecânicas combinadas neste compósito híbrido tornando assim, a argila e as fibras naturais bons componentes para a aplicação em compósitos e desenvolvimento de materiais de baixo custo, tais como divisórias, cestos, luminárias, etc. Levando também em consideração que, além de melhorar as propriedades mecânicas dos materiais, as substituições de polímeros pelas argilas e fibras naturais diminuem o custo do produto e a utilização de fontes não renováveis, a exemplo temos a resina poliéster usada neste trabalho, o que industrialmente se torna um dos principais motivos das crescentes e relevantes novas pesquisas na área de compósitos poliméricos.

2. OBJETIVOS GERAIS:

Este trabalho teve como objetivo a incorporação e avaliação do comportamento da argila regional e da fibra natural de babaçu, *Orrbignya speciosa*, na matriz poliéster.

O desenvolvimento de novos compósitos à base de resina poliéster insaturada, reforçada por fibras longas do invólucro do palmito de Babaçu *in natura* e argila regional da Amazônia.

2.1 Objetivos Específicos:

- Estudar suas propriedades mecânicas a partir dos ensaios de flexão para diferentes teores de reforços;
- Avaliar a morfologia da superfície das fibras no compósito através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).
- Testar e viabilizar substituições de reforços convencionais pelas fibras com argilas estudadas no presente trabalho.
- Estudar as propriedades mecânicas dos compósitos confeccionados a partir dos ensaios de flexão e microdureza para diferentes teores do particulado.
- Levantar possíveis aplicações para os compósitos obtidos;
- Avaliar e comparar os resultados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Um compósito pode ser definido como sendo uma combinação de dois ou mais materiais, onde está presente uma fase contínua, constituída pela matriz, e a fase descontínua, o reforço, sob forma de fibras, partículas esféricas ou plaquetas, embebidas na matriz, sendo que cada qual permanece com suas características individuais (CALLISTER, 2007).

“Uma filosofia-chave na seleção de materiais compósitos é de que eles devem fornecer o ‘melhor dos dois mundos’, ou seja, as propriedades atraentes de cada componente.” (SHACKELFORD, 2008).

As propriedades dos compósitos são controladas, principalmente, pelas propriedades de seus materiais constituintes, teor de reforço, grau de dispersão, geometria do reforço, razão de aspecto (relação comprimento/diâmetro) e orientação das fibras. Estas propriedades controlam a homogeneidade do produto. As características de anisotropia de um compósito são influenciadas enormemente pela orientação do reforço. Compósitos longitudinalmente orientados são anisotrópicos por natureza e o máximo na resistência é obtido quando o material é testado na direção do alinhamento das fibras. Na direção transversal ao alinhamento das fibras, o reforço é virtualmente inexistente e, portanto o material falha em tensões muito baixas, (NETO, 2006).

Desta forma, as combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda são ampliadas pelo desenvolvimento de materiais compósitos. Assim, de maneira geral, um compósito pode ser como qualquer material multifásico que exhibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos.

Um dos fatores mais importantes em materiais compósitos, com uma ou mais fases contínuas, é a interface entre o reforço e a matriz. A interface é a região onde ocorre o contato entre os componentes do compósito. As propriedades finais dos compósitos dependem fundamentalmente da forma como os componentes individuais interagem entre si, ou seja, dependem da interface entre as fases descontínua e contínua. Esta região é a principal responsável pela transferência da

solicitação mecânica da matriz para o reforço. A adesão inadequada entre as fases envolvidas na interface poderá provocar o início de falhas, comprometendo o desempenho do compósito. Portanto, além das propriedades individuais de cada componente do compósito, a interface deve ser a mais adequada possível para otimizar a combinação das propriedades envolvidas (PENHA et al, 2006).

Dessa forma, serão discutidos neste trabalho, temas acerca dos compósitos poliméricos, os quais serão explanados a seguir, com observações sobre os compósitos poliméricos reforçados por partículas, por fibras naturais e os compósitos híbridos.

Será explanado também, sobre a matriz poliéster para compósitos, os agentes de cura, e finalmente sobre a argila e a fibra do Babaçu, utilizadas como reforços em materiais compósitos, que enfim é o tema deste trabalho.

3.2 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS.

Os compósitos com matriz polimérica, na sua vertente estrutural, em meados do século XX, são constituídos basicamente de uma resina polimérica como a fase matriz plástica adesiva macia e relativamente dúctil (que pode ser poliéster ou epóxi) tendo como meio de reforço fibras e/ou partículas.

Esses materiais são usados na mais ampla diversidade de aplicações dos compósitos, assim como nas maiores quantidades, em função das suas propriedades à temperatura ambiente, a sua facilidade de fabricação e do seu custo (CALLISTER, 2007).

Em compósitos produzidos com matriz polimérica, a fase contínua é, normalmente, constituída por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturada

(ortoftálica, tereftálica isoftálica ou bisfenólica), dissolvida em solvente reativo com o estireno ou ainda uma resina éster vinílica ou epóxi. Já o reforço pode ser feito com partículas, fibras ou lâminas.

Vale ressaltar que a escolha de cada componente difere de acordo com a finalidade da pesquisa realizada e a aplicação requerida. Assim, na elaboração deste tipo de compósito, ocorre um processo de cura, que pode ser definido basicamente pelo endurecimento da resina e união definitiva de seus componentes.

As principais vantagens deste tipo de compósito são o baixo custo de aquisição de matéria prima, o preço acessível dos produtos gerados, além das boas propriedades mecânicas do compósito (SAVIOLI, 2008).

Para avaliar o desempenho total dos compósitos, é essencial conhecer individualmente o papel da matriz do material, visto que os danos iniciais em um compósito são controlados pelo trincamento da matriz. Dessa forma a estrutura interna dos compósitos e sua interação, a qual, por sua vez, é função da aderência entre fibra e matriz, influenciam de forma significativa no seu desempenho e na sua durabilidade (SILVA, 2002).

“Propriedades como leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência e adaptabilidade, transformam os compósitos poliméricos nos materiais do futuro” (SILVA, R. V. da, 2010).

3.3 REFORÇOS

Reforços são os constituintes que aumentam determinadas propriedades do compósito em relação à matriz polimérica. Podem ser considerados reforços desde cargas minerais, muitas vezes incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, até fibras de ultra-alta resistência. As cargas minerais proporcionam aumentos na rigidez, dureza e, algumas vezes, na resistência e temperatura de distorção térmica; os elastômeros proporcionam aumento na resistência ao impacto de matrizes poliméricas frágeis; as fibras, pelas suas características de elevada razão L/d, são os principais responsáveis pelo aumento nas propriedades mecânicas dos compósitos (CALLISTER, 2007).

Os reforços podem ser classificados:

a) Quanto à sua natureza:

Duros para promover aumento à dureza e a resistência à abrasão; resistentes à ruptura para proporcionar elevada resistência à tração, à flexão e ao cisalhamento; rígidos para incrementar o módulo elástico; flexíveis para aumentar a resistência ao impacto; resistentes termicamente para aumentar a estabilidade térmica.

b) Quanto às características geométricas:

As características do reforço que têm maior influência sobre as propriedades de compósitos são: constituição química, tamanho e razão de aspecto. A adesão entre os componentes de um compósito é de fundamental importância para que o reforço possa exercer sua função de forma efetiva e os esforços aplicados sejam divididos entre as duas fases (CAVALCANTI, 2006).

A quantidade do reforço é uma das principais variáveis a ser considerada no desenvolvimento do compósito. A qualidade do compósito final é função, dentre outros requisitos, do comprimento, razão de aspecto e dispersão do reforço na matriz polimérica e do grau de cristalinidade do compósito. No caso de compósitos reforçados por fibras longas ou contínuas, a qualidade do produto final também depende do método e condições de moldagem dos componentes (CAVALCANTI, 2006).

3.4 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR FIBRAS NATURAIS.

Questões ambientais estão assumindo cada vez mais destaque em nossa sociedade, principalmente no que diz respeito a desenvolvimento tecnológico. Na engenharia dos materiais, este papel se traduz em baixo consumo de energia, utilização de renováveis e biodegradáveis. Fibras naturais, tanto de origem animal quanto de origem vegetal lignocelulósicas, atendem a estes requisitos. Ou seja, suas utilizações as caracterizam como ambientalmente corretas em comparação com as fibras sintéticas como o náilon, vidro e carbono. Por esta razão, compósitos reforçados com fibras naturais, sobretudo as lignocelulósicas facilmente cultivadas, têm sido objeto de recentes investigações (TARGA, 2009).

Dessa forma, os compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais estão em destaque nos estudos nas últimas décadas, visto que a preocupação em preservar o meio ambiente é cada vez mais evidente

Logo, quando se utilizam cargas fibrosas, as tensões aplicadas ao sistema são transferidas pelo polímero à fibra por um mecanismo de transferência de tensão por cisalhamento. Para que haja transferência efetiva de tensões é necessário que a interface seja forte, ou seja, que haja boa adesão entre os componentes (LEE, 2006).

Fibras podem ser usadas como reforço em plásticos sempre que há a necessidade de propriedades mecânicas elevadas combinadas com baixo peso. No que diz respeito ao uso de fibras vegetais como reforço em compósitos poliméricos, o interesse maior é a substituição parcial ou total das fibras de vidro, extensamente usadas, além da obtenção de vantagens do ponto de vista de peso, custo e adesão fibra-matriz, especificamente com matrizes polares (PAIVA, 1999).

Vale ressaltar que o uso de fibras naturais tem como principais vantagens: o baixo custo; baixa abrasividade; atoxicidade, baixa densidade; baixo consumo de energia; propriedades mecânicas e termoacústicas adequadas.

Além disso, este tipo de fibra apresenta algumas vantagens sobre as sintéticas, as quais se referem aos aspectos ecológicos e sociais, em razão da reciclabilidade e biodegradabilidade e do aumento da qualidade de vida dos habitantes de regiões onde é realizado o cultivo (MARTINS, 2003).

3.5 COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS POR PARTÍCULAS OU COMPÓSITOS PARTICULADOS.

Os compósitos particulados são constituídos por partículas de um ou mais materiais dispersos numa matriz de outro material, podendo ser não metálicos e/ou metálicos, com variedade nas possibilidades de combinação.

E os compósitos reforçados com partículas apresentam, em sua maioria, uma fase particulada mais dura e mais rígida do que a matriz. De tal forma que as partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Além disso, o grau de ligação na interface matriz – partícula, a proporção entre eles e a uniformidade da distribuição do reforço na matriz interferem no comportamento mecânico do produto final. (ISHAI, 1993).

Neste contexto, ressalta-se que as cargas tendem a aumentar a viscosidade da resina e, geralmente, as quais são misturadas junto com corantes e pigmentos. Outra utilidade das cargas vale lembrar, que, em quantidades adequadas, podem reduzir os efeitos da contração das resinas durante a cura. (Mano, 1986).

Assim, as cargas inertes geralmente diminuem a resistência ao impacto e muitas vezes contribuem para a maior propagação de trincas, diminuindo também a resistência à fadiga. (CHAWLA, 1998).

Por outro lado a presença de cargas pode melhorar algumas propriedades da matriz polimérica como, por exemplo, estabilidade dimensional, menor retração no resfriamento durante o processamento e maior temperatura de distorção térmica.

3.6 COMPÓSITOS HÍBRIDOS.

Compósitos híbridos são materiais produzidos pela combinação de dois ou mais tipos de carga em uma única matriz. Nesses, o uso de fibras ou cargas híbridas possibilita a combinação de propriedades que muitas vezes não podem ser obtidas utilizando somente um dos reforços individualmente. (KORD, 2011).

“Os híbridos possuem melhor combinação global de propriedades do que os compósitos que contém um único tipo de reforço”. (CALLISTER, 2008).

Trabalhos com compósitos híbridos têm sido realizados de maneira que novos materiais neste ramo estão sendo testados para aplicação posterior. A fibra de coco, por exemplo, no contexto de materiais compósitos, é a mais famosa, estudada e já aplicada no mercado, (SILVA, 2010), no qual foi desenvolvido um compósito híbrido combinando a fibra de coco com a fibra de vidro, verificou-se que o laminado híbrido mostrou maior ductilidade devido ao efeito de descolamento e escorregamento da fibra de coco, que é um indicativo de fraca aderência interfacial fibra/matriz.

Há ainda a associação de um bom desempenho mecânico a um baixo custo obtidos pelo compósito, aplicações em painéis, reservatórios e divisórias, em substituição aos compósitos apenas com fibras de vidro ou à madeira.

Outro exemplo é o estudo que também vem sendo realizado com fibra de juta, fazendo um composto híbrido com adição de fibra de vidro obtendo uma camada de juta e uma de fibra de vidro, e um compósito só de juta para poder então realizar um estudo comparativo, como descreve o trabalho de Penha, 2006.

A partir dessa pesquisa, foi constatado melhor rendimento do composto híbrido em relação ao composto normal.

3.7 RESINA POLIÉSTER (MATRIZ).

Segundo Fagury (2005) as resinas poliéster possuem grupos ésteres como elementos fundamentais em suas cadeias moleculares. Resultam da reação de condensação de um diol com um diácido e, dependendo do tipo do ácido empregado, o poliéster pode ser saturado (termoplástico) ou insaturado (termofixo).

Os poliésteres saturados são obtidos pela reação entre um diol e um diácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por ligações simples entre átomos de carbono. Possuem moléculas longas e lineares, e não são sujeitos a reações de reticulação, podendo ser encontrados em forma de fibras ou filmes (ASKELAND, 2008).

Os poliésteres insaturados são obtidos a partir de diácidos insaturados, um diácido saturado e um diol, resultando num pré-polímero, cuja cadeia molecular é composta por ligações simples e duplas entre os átomos de carbono. O pré-polímero é diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização. Inicialmente o sistema encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, as ligações duplas no pré-polímero são ativadas e o monômero vinílico polimeriza formando “pontes” entre as cadeias do pré-polímero que se solidificam formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível. (ASKELAND, 2008).

Os grupos funcionais que caracterizam os ésteres são elementos fundamentais nas cadeias moleculares do poliéster. Estes resultam da reação de condensação de moléculas de um poliálcool com outras de um ácido poli carboxílico. Assim, dependendo do tipo do ácido policarboxílico empregado, o poliéster pode resultar em um termoplástico ou termofixo (FAGURY, 2005).

E quando o ácido em questão é um diácido saturado, o resultado é um éster saturado, onde as ligações entre os átomos de carbono da cadeia são simples.

Porém, se for insaturado, forma-se um pré-polímero, em que ligações simples e duplas interceptam os átomos de carbono. Ressalta-se que o pré-polímero é diluído num monômero vinílico inibido para facilitar sua estocagem e posterior utilização. Vale lembrar ainda que, inicialmente, o sistema encontra-se no estado líquido e após a adição de um agente de cura, as ligações duplas no pré-polímero são ativadas e o monômero vinílico polimeriza formando “pontes” entre as cadeias

do pré-polímero se solidificando e formando uma estrutura termofixa irreversível, reticulada e infusível. (ASKELAND, 2008).

3.8 AGENTES DE CURA.

As resinas de poliéster são fornecidas ao moldador na forma de um líquido viscoso o qual se transforma em um sólido rígido infusível (termorrígido) por meio de uma reação química exotérmica de polimerização ou cura promovida por um catalizador. (SOBRINHO, 2005).

Para a cura de resinas vinil éster, os iniciadores utilizados geralmente são peróxidos orgânicos e hidroperóxidos, incluindo peróxido de metil etil cetona, peróxido de benzoila e hidroperóxido de cumeno.

Porém, a cura de uma resina poliéster insaturada, como são classificadas as resinas vinil éster, em temperatura ambiente pode não ser realizada por um peróxido orgânico sozinho, a rápida decomposição dos iniciadores pode ocorrer por aquecimento ou pelo uso de promotores, tais como aminas terciárias e sais de metais como octoato ou naftanato de cobalto, ou seja, para que o peróxido desempenhe suas funções, é necessário um promotor de cura ou acelerador que promova a sua decomposição. O peróxido de metil-etil-cetona decompõe-se na presença de octoato de cobalto ou naftanato de cobalto. Essa combinação do peróxido com seu respectivo acelerador é chamada de sistema de polimerização (SOBRINHO, 2005).

O MEKP (*Methyl Ethyl Ketone Peroxide*) utilizado neste trabalho, não possui fórmula quimicamente definida, sendo conhecido comercialmente como uma mistura de vários peróxidos e hidroperóxidos. A diferença de atividade entre os iniciadores se dá pela diferença de proporção desses peróxidos e hidroperóxidos, que varia de fabricante para fabricante.

Assim, os "agentes de cura" são os catalizadores que proporcionam a polimerização adequada para cada tipo de resina, diferindo na composição de acordo com as características desta e processos diferentes de cura.

Os radicais livres deste atacam as insaturações do poliéster ou nos monômeros de baixa massa molar, estireno, por exemplo, para iniciar a reação de polimerização de cadeia, a qual dá origem um copolímero estireno-poliéster, formando assim uma rede tridimensional termorrígida.

Para cura à temperatura ambiente, o catalisador mais utilizado é o peróxido de metil-etil-cetona (MEKP), utilizado juntamente com os aceleradores naftenato de cobalto (CoNap), ou Dimetilnilina (DMA), na proporção de 0 a 0,3 % em massa. Ressalta-se que esse peróxido de MEKP é, na realidade, uma mistura de peróxidos, que possibilita variar a reatividade do produto modificando as proporções de cada componente. Assim, as resinas de poliéster insaturado são comercializadas com acelerador de tal forma que o sistema reativo seja obtido pela mistura pré-acelerada com o catalisador.

Nesta mistura, a quantidade de acelerador, e catalisador controla a velocidade de reação e, portanto, o tempo de gel e a temperatura máxima atingida durante a reação.

Portanto, na prática, sistemas de cura à temperatura ambiente não atingem cura total, sendo necessário efetuar uma pós cura, a uma determinada temperatura e em um determinado tempo para completar a reação.

3.9 INTERFACE MATRIZ-FIBRA

As principais desvantagens no emprego de fibras em compósitos poliméricos são relacionadas à natureza polar e hidrofílica bem como à susceptibilidade a ataques de fungos e bactérias. A natureza hidrofílica das fibras vegetais proporciona uma boa adsorção da matriz polimérica em sua superfície, resultando em fraca adesão interfacial polímero-fibra no compósito final. A qualidade da interface fibra-matriz é significativa para a aplicação de fibras vegetais como reforço para plásticos (NÓBREGA, 2007).

É bem conhecido que o comportamento de diversos sistemas multicomponentes tais como materiais compósitos, blendas poliméricas e camadas pigmentadas, depende não somente da composição, morfologia e das propriedades dos constituintes, mas também da natureza da região interfacial (SHACKELFORD, 2008).

A adesão entre carga-matriz é um dos principais fatores que caracterizam o comportamento físico e mecânico de um compósito. A adesão inadequada entre as fases envolvidas poderá provocar o início de falhas interfaciais, comprometendo o desempenho do compósito (SHACKELFORD, 2008).

Em compósitos com matrizes poliméricas a falha deveria ocorrer na matriz. Na prática, a adesão nunca é perfeita e o processo de ruptura é gerado na interface. Portanto, na maioria dos casos, a falha do polímero reforçado ocorre por cisalhamento na região interfacial. A falha ocorre em função de debilidade das ligações atômicas ou intermoleculares entre a superfície da matriz e a superfície do reforço. Um dos fatores que favorece a interação interfacial é o fenômeno de contração que a matriz polimérica sofre durante a sua cura ou a sua solidificação.

Para que ocorra uma melhor distribuição de tensões sobre a superfície do reforço, durante o fenômeno de contração, é necessário que ocorra um molhamento perfeito do reforço pela resina (CAVALCANTI, 2006).

3.10 FIBRAS DO BABAÇU

A celulose, principal componente da parede celular da fibra vegetal, é um polissacarídeo linear, constituído por um único tipo de unidade de açúcar (1,4- β -D-glucopyranose).

As propriedades mecânicas das fibras vegetais dependem do tipo de celulose, uma vez que, cada tipo de celulose tem sua geometria celular particular e as condições geométricas é que determinam as propriedades mecânicas.

As fibras do babaçu tornam-se uma incógnita, uma vez que existem poucos estudos na caracterização química de tal matéria prima. Por determinação visual, as principais características das fibras do babaçu oriundas do invólucro do palmito são sua alta resistência mecânica, possuem comprimento longo e certa uniformidade no que diz respeito comprimento/diâmetro.

3.11 ARGILAS

A argila é um material proveniente da decomposição, durante milhões de anos, das rochas feldspáticas, muito abundantes na crosta terrestre.

O mineral básico das argilas é a caulinita. A argila é um silicato de alumínio hidratado, composto por alumínio (óxido de alumínio), sílica (óxido de silício) e água.

Argilas são rochas e sua composição química mais comum é o silicato aluminoso hidratado. São espalhadas pela superfície da terra chegando a

basicamente 75% das rochas sedimentares do planeta. Há uma grande variedade de materiais possíveis de classificação neste grupo, quase todos possuem composição semelhante, mas há pequenas variações.

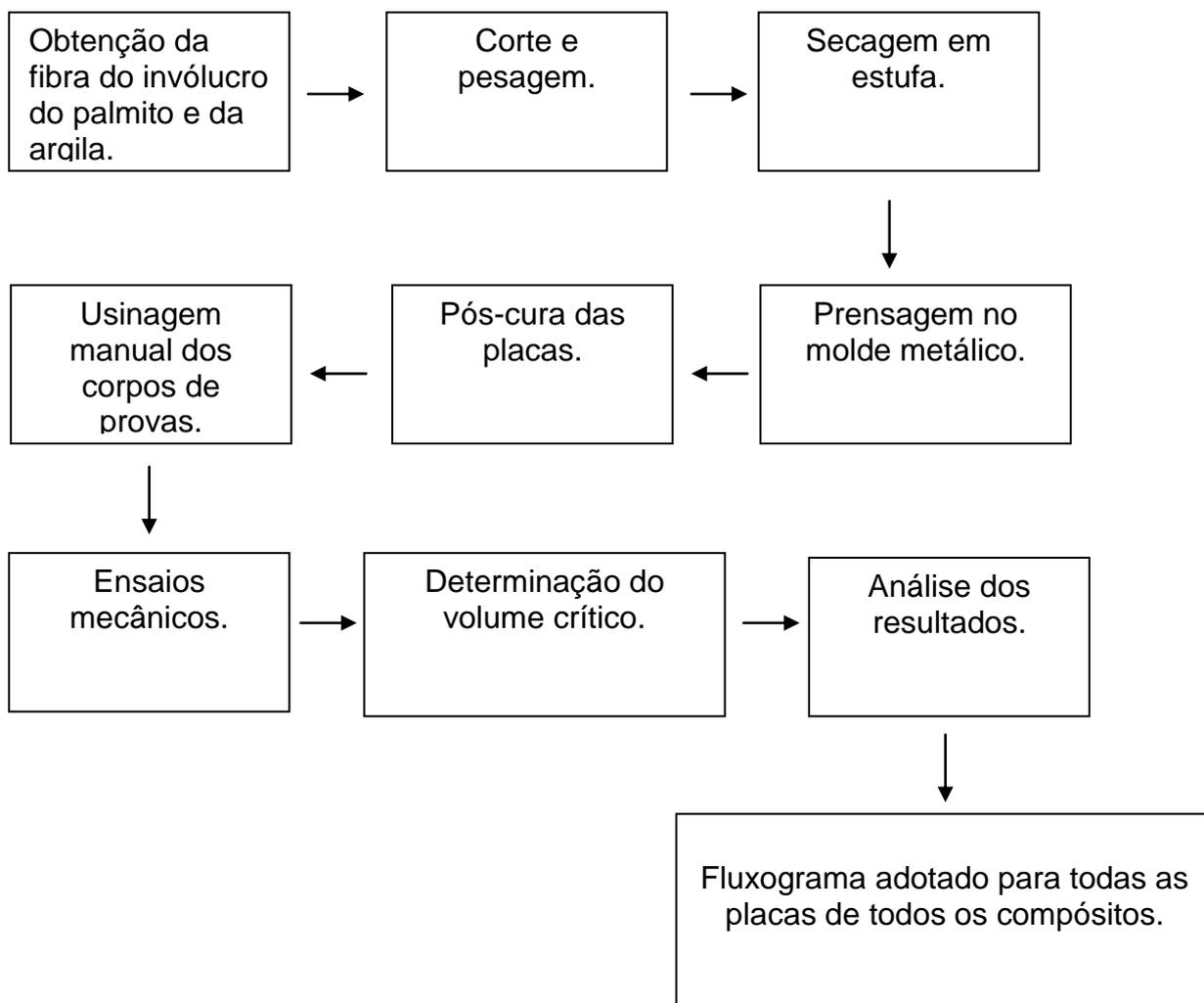
As argilas derivam em geral de rochas base do tipo cristalina e eruptiva como os feldspatos, granitos e basaltos que em um processo longo e lento de decomposição por efeito de agentes geológicos como vento, chuvas, temperaturas frias e quentes e a erosão pelas partículas de areia que carregadas pelo vento causam a fragmentação da rocha maciça em grãos de vários tamanhos.

Argilas são materiais plásticos, pois têm a propriedade de quando misturados com água em devidas proporções, apresentarem a possibilidade de serem amassados e trabalhados mantendo a forma que se quer, sendo que, quando secos ainda crus, basta adicionar água para que voltem ao estado de plasticidade.

4. METODOLOGIA

A figura 1 apresenta de forma sucinta, o fluxograma que representa a parte experimental utilizada para obtenção do compósito estudado, assim como sua caracterização mecânica.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia empregada para obtenção do compósito estudado.



Fonte: Autora.

4.1 MATRIZ POLIMÉRICA

Para a confecção dos compósitos, foi usada como matriz polimérica a Resina poliéster insaturada GAMA 313, fabricada pela Embrapol, do tipo ortoftálica pré-acelerada, reticulada com estireno; o peróxido de Metil-Etil-Cetona (MEK-P) em concentração de 1,5% em peso. A Figura 2 apresenta a resina utilizada no trabalho.

Figura 2. Catalisador e resina utilizados.



Fonte. Autora.

4.2 FIBRAS DE BABAÇU

As fibras foram retiradas do invólucro do palmito da palmeira comumente conhecida como Babaçu, na forma de mantas (Figura 3), estas foram deixadas de molho por 24 horas para facilitar o desfiamento.

Por fim as fibras de babaçu, foram secas e picadas em pedaços de aproximadamente 3 centímetros, que é o tamanho ideal para a utilização de forma aleatória em compressão no molde metálico; após isso foram levadas para estufa onde foram secas a 100° C por uma hora.

Figura 3. Fibras do palmito de Babaçu in natura.



Fonte. Autora.

4.3 MATERIAL ARGILOSO PARTICULADO.

A argila Regional foi inicialmente peneirada até se obter uma granulometria de $44\mu\text{m}$ (peneira de 400 mesh) e seca em estufa a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 2 horas. A Figura 4 apresenta a argila utilizada.

Realizou-se caracterização química da argila através da análise de Fluorescência de raios-X e a análise mineralógica por difração de raios-X, a mesma foi realizada em um difratômetro de raios-x modelo X' PERT PRO MPD (PW3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta) e com tubo de raios-X cerâmico de anodo de Cu ($K\alpha_1$ 1,5406 Å), modelo PW3373/00, foco fino longo, 2200W, 60kv. O detector utilizado foi do tipo RTM5,X' Celerator e a aquisição de dados foi feita com o software X'Pert Data Collector, versão 2.1, e o tratamento de dados com o software X'Pert HighScore versão 2.1b, também da PANalytical.

Figura 4. Material argiloso com granulometria de 400#.



Fonte. Autora.

4.4 PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Foram preparados compósitos apenas com argila, outros apenas com fibras e compósitos com argilas e fibras, a fim de se obter uma boa comparação entre os tipos de reforços.

A quantidade de fibras foi determinada por análise e estudos com base em outras literaturas existentes, tais como GUIMARÃES 2011, logo as composições foram de, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de fibra de babaçu previamente secas.

E o teor de argila foi determinado por análise prática, devido a uma boa incorporação sensorial ao decorrer da fabricação das placas, sendo as composições de, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% de particulado previamente seco.

Em seguida, pesou-se o material argiloso, a fibra e sempre 100g de resina, dessa forma criou-se a mistura para a confecção das placas com suas porcentagens específicas.

Utilizou-se um molde metálico, o qual foi untado com cera de polimento automobilístico para auxiliar à desmoldagem. Conforme demonstra a figura 5.

Figura 5 - Molde utilizado para a confecção das placas de compósitos.



Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

Na seqüência, o catalisador foi acrescentado à resina com a argila já misturada e após a mistura estar bem homogênea, esta foi vertida no molde, onde as fibras picadas foram acrescentadas aleatoriamente a mistura. Em seguida, o conjunto molde-compósito foi prensado com 9 ton e mantido por 24 horas a temperatura ambiente, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Placa sendo confeccionada em uma prensa hidráulica sob pressão por 24 horas.



.Fonte: Autora.

4.5 CONFECÇÃO DAS PLACAS E DOS CORPOS DE PROVA

Compósitos com teores variados em massa de particulado e fibras foram preparados; conforme apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3:

Tabela 1 Compósitos com particulado.

Placas	Material Argiloso (Reforço)
1 ^a	10 %
2 ^a	20 %
3 ^a	30 %
4 ^a	40 %
5 ^a	50 %

Fonte: Autora

Tabela 2 Compósitos de Fibras.

Placas	Fibra (Reforço)
1 ^a	10 %
2 ^a	20 %
3 ^a	30 %
4 ^a	40 %
5 ^a	50 %

Fonte: Autora

Tabela 3 Compósitos híbridos de Argila e Fibras.

Placas	Argila	Fibra
1 ^a	10 %	10 %
2 ^a	20 %	20 %
3 ^a	30 %	30 %
4 ^a	40 %	40 %
5 ^a	50 %	50 %

Fonte: Autora

Os compósitos híbridos são os materiais de maior interesse no trabalho, a Figura 7 apresenta as placas confeccionadas para este tipo de compósito.

Figura 7 – Placas confeccionadas dos compósitos híbridos.



Fonte: Autora.

As 15 placas, sendo cinco de fibras, cinco de argila e cinco híbridas de argila e fibras, tendo cerca de 140x170x3mm, foram submetidas a pós-cura na estufa por 48 horas a 50 °C, para posterior usinagem dos corpos de prova, totalizando 150 corpos, sendo 10 para cada tipo de placas, cujas as dimensões foram baseadas na norma ASTM D-790 para o ensaio de flexão, conforme Figura 8.

Figura 8: Dimensões dos corpos de prova para ensaio de flexão.



Fonte: Norma ASTM D-790, 1995.

4.6 ENSAIOS MECÂNICOS.

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades referentes ao comportamento de um material sujeito à ação de forças e esforços, que são expressos como função de tensões e/ou deformações. As tensões representam a resposta interna aos esforços externos que atuam sobre uma determinada área em um corpo (CALLISTER, 2008).

Para avaliação da influência do peso em massa de fibra e de argila nas propriedades mecânicas do compósito, foram realizados ensaios mecânicos de flexão e microdureza.

4.6.1 Ensaios de Flexão

O ensaio de flexão foi conduzido em uma máquina universal EMIC DL 10 KN em temperatura ambiente e em três pontos com uma velocidade de 1mm/min, com base na norma ASTM D 790. Como apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Máquina de ensaio universal, utilizada para os ensaios de flexão.



Fonte: Autora

4.6.2 ENSAIOS DE MICRODUREZA.

Os ensaios de Microdureza foram realizados para determinar a dureza dos compósitos em questão. Foi utilizado um corpo de prova de cada composição diferente para realização do ensaio.

As indentações foram feitas em um microdurômetro digital PROCEQ, modelo EQUOTIP 3 (Figura 10), com dispositivo de impacto D, com uma pré-carga de 10N e carga final de 50 N. Os testes foram realizados na direção vertical, resultando em três indentações de maneira aleatória ao longo de cada corpo de prova, como mostra a Figura 10.

Figura 10. Microdurometro digital PROCEQ.



Fonte. Negrão, 2013.

4.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS NÃO TRATADAS

Foram realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), nas fibras após sua incorporação no compósito, com o intuito de avaliar possíveis mudanças relevantes. O equipamento utilizado foi um microscópico modelo HITACHI TM 3000 acoplado a um EDS espectrômetro de energia dispersiva de raios- X modelo Swift ED3000.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DO PARTICULADO.

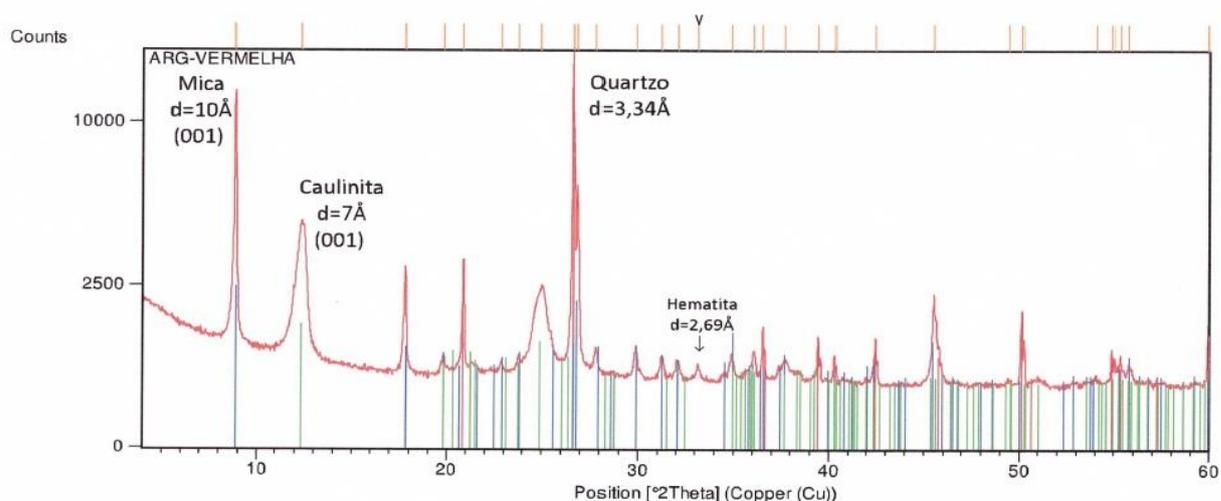
Através da caracterização química e mineralógica do particulado, é possível notar que o mesmo é rico em quartzo, mica e caulinita o que a faz ser considerada também como um filito, por sua composição e granulometria natural. Os outros componentes relevantes na composição da mesma são a mica, a caulinita e a hematita. Conforme apresenta a Figura 11 e a Tabela 4.

Tabela 4- Componentes e concentrações do particulado.

Componentes	Concentração (%)
Al_2O_3	20,90
Fe_2O_3	5,73
K_2O	3,17
MgO	0,69
P_2O_5	<0,1
SiO_2	62,22
TiO_2	0,76
P.F	6,45

Fonte: autora

Figura 11- Gráfico de difração de raios-x da amostra.



Fonte. Autora.

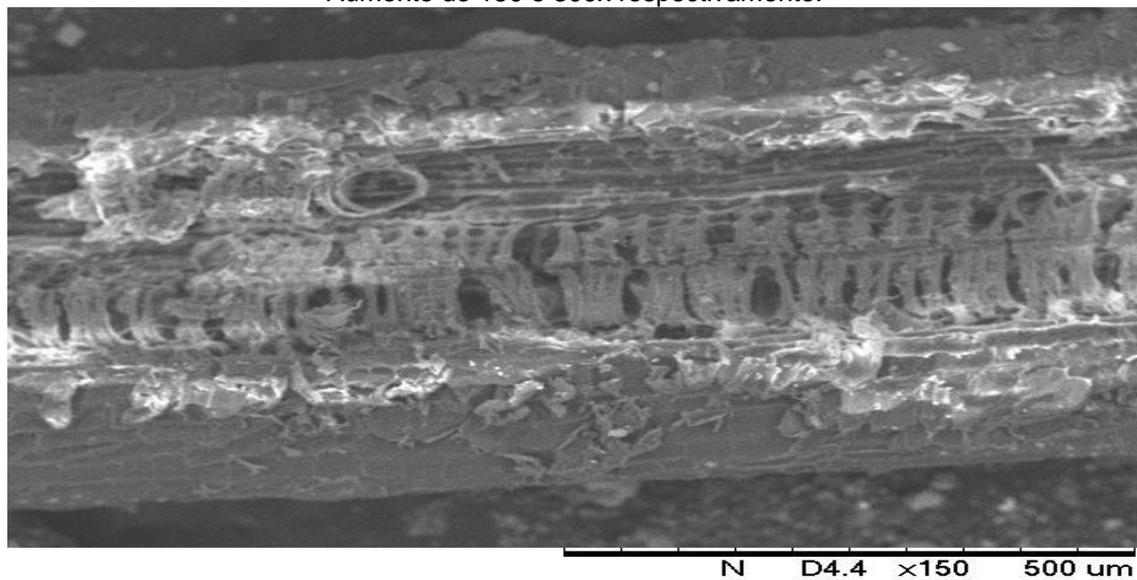
5.2 Morfologia das fibras sem tratamento.

A figura 12 apresenta as micrografias obtidas através da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde se observa a morfologia das fibras. De acordo com as conclusões de FILHO (2011), foi possível observar na figura 12 (a) uma região rica em microfibras, que nada mais são do que ramificações do corpo central que acabam diminuindo a área superficial de contato com a matriz, levando o compósito a apresentar pouca adesão entre a interface matriz/reforço.

Na figura 12 (b), pode se observar uma região que apresenta uma espécie de capa, nomeada na literatura como lignina, característico das fibras vegetais. A esse lignina é atribuída o controle da impermeabilidade e a característica de conferir rigidez e resistência a ataques microbiológicos na fibra (MARINELLI, 2008).

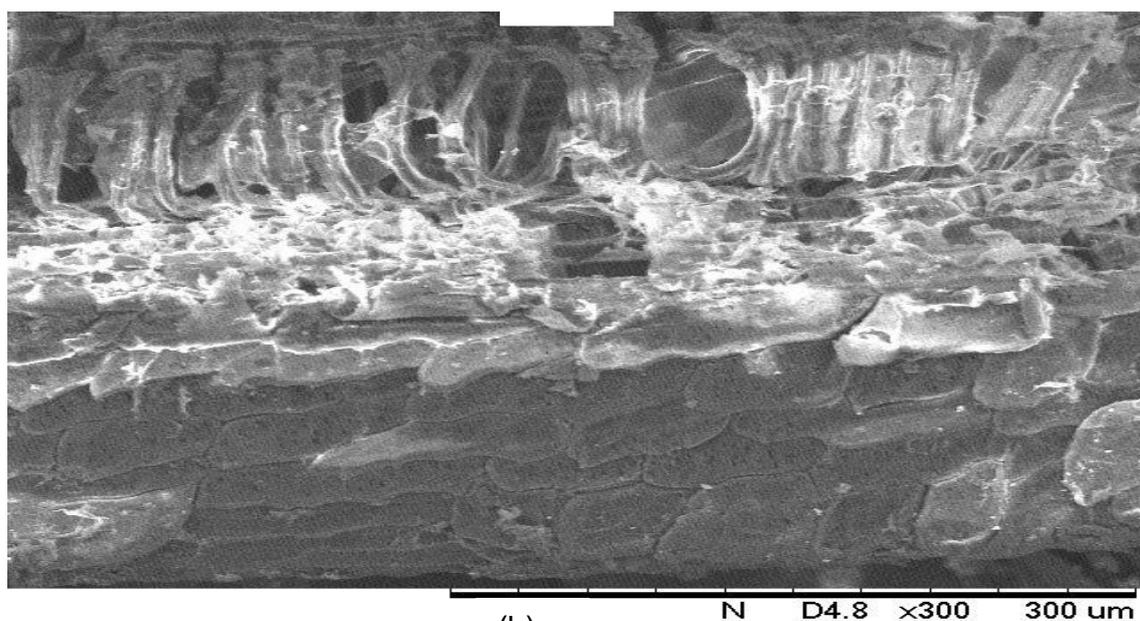
A homogeneidade desta região garante uma significativa adesão entre a interface em estudo.

Figura 12 (a) e (b) - Micrografia obtida por MEV da superfície de fibras de Babaçu não tratadas. Aumento de 150 e 300x respectivamente.



FEMAT-UFPA

(a)



FEMAT-UFPA

(b)

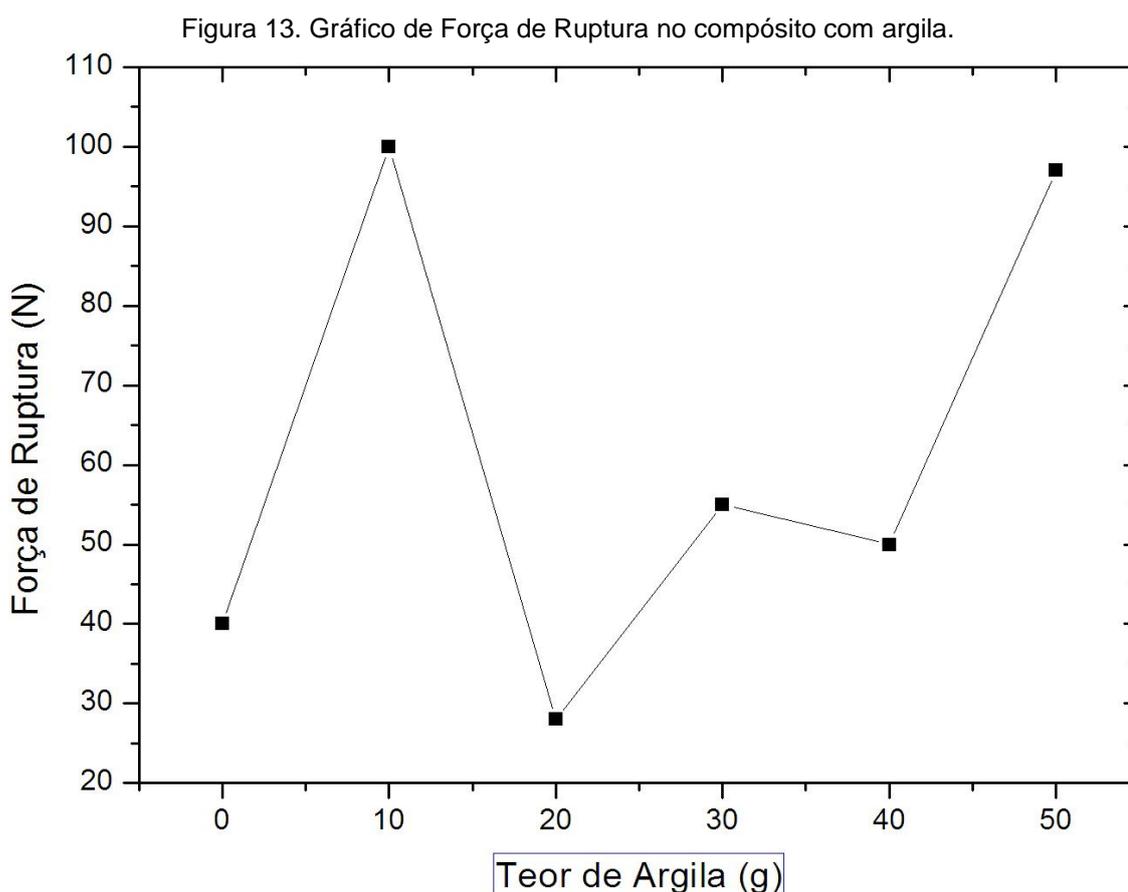
Fonte: GUIMARÃES FILHO, 2011.

5.3 ENSAIOS DE FLEXÃO.

Para uma avaliação das propriedades mecânicas do compósito (resina poliéster + fibras de babaçu + particulado), foi realizado o ensaio de flexão, o qual viabilizou e quantificou a força de ruptura em (N) e a resistência a flexão em (Mpa).

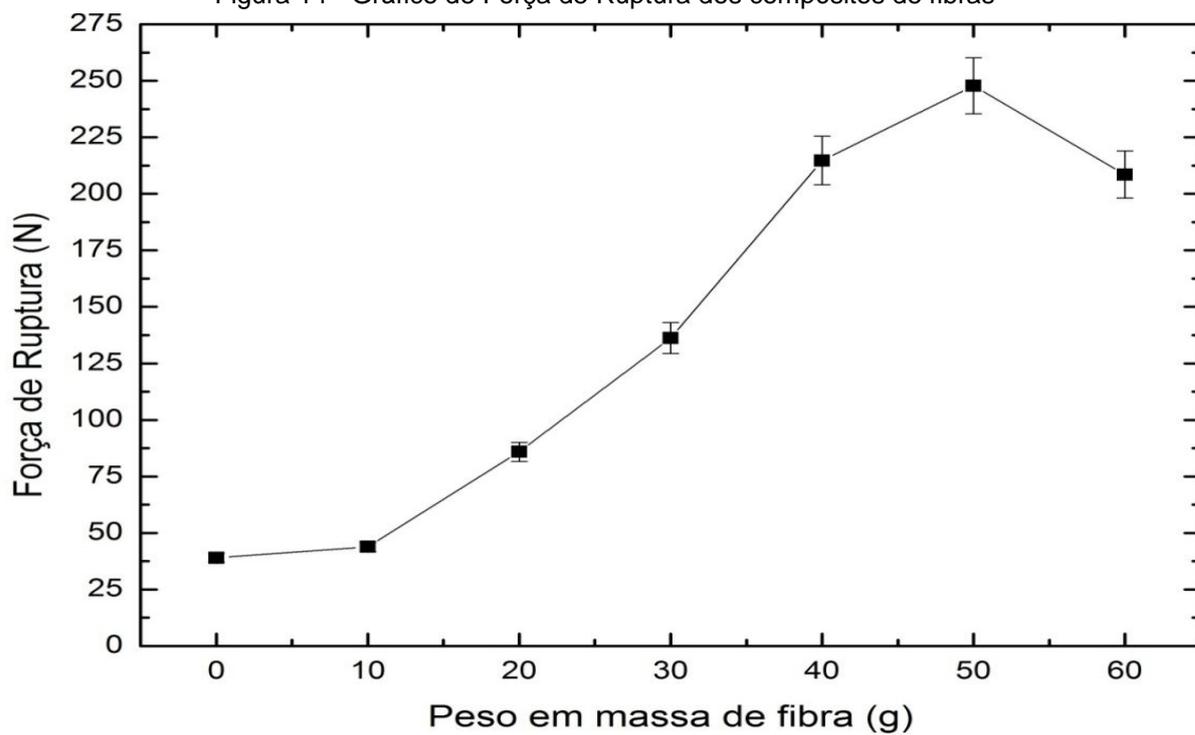
5.3.1 Força de Ruptura.

Em relação aos ensaios mecânicos de flexão em três pontos e avaliando a força de ruptura, observou-se uma significativa melhora diferenciada nas propriedades com a adição das cargas de reforços separadamente, sendo o compósito híbrido o que apresentou o melhor resultado.



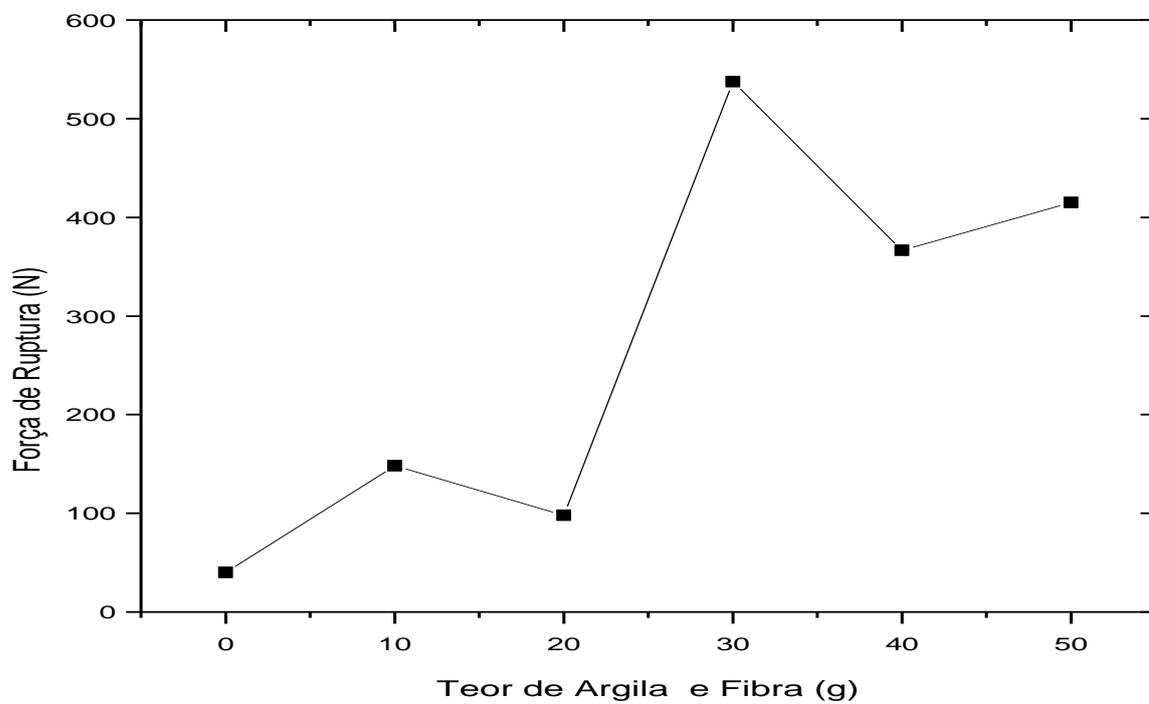
Fonte. Autora.

Figura 14 - Gráfico de Força de Ruptura dos compósitos de fibras



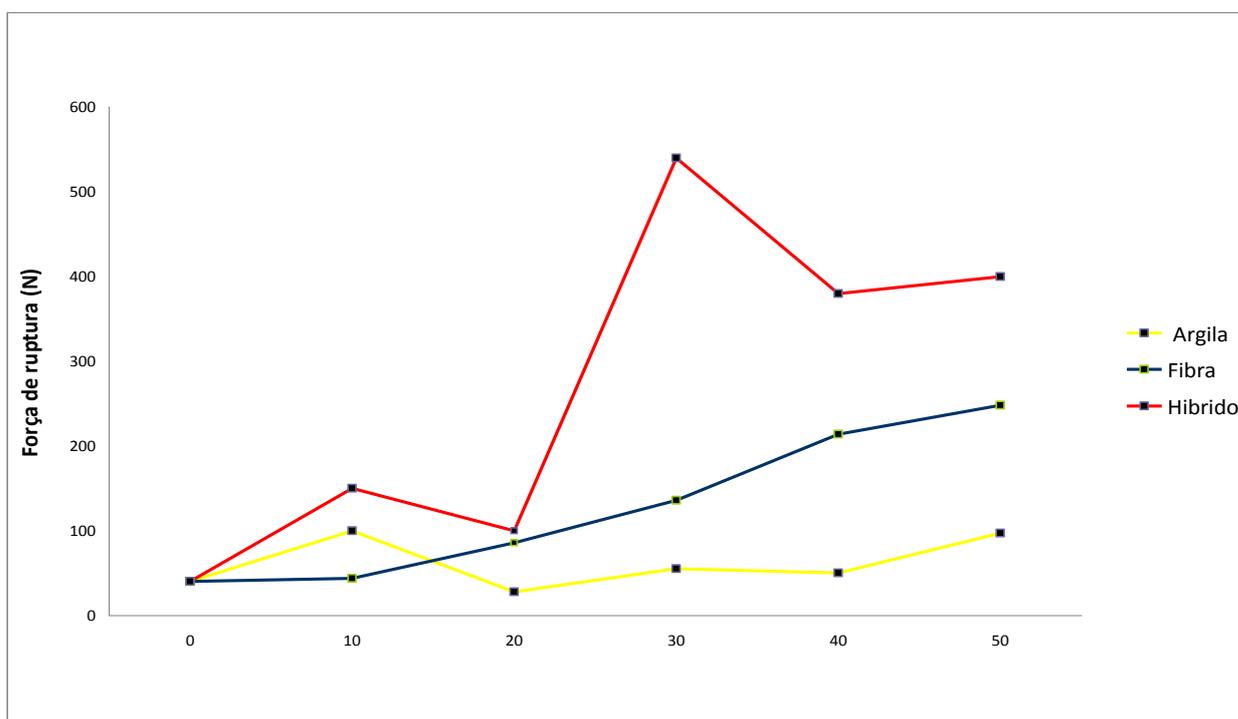
Fonte. GUIMARÃES FILHO.

Figura 15. Gráfico de Força de Ruptura do compósito de argila e fibra.



Fonte. Autora.

Figura 16. Gráfico comparativo de todos os compósitos feitos.



Fonte. Autora

É notório o fato de que houve um aumento da rigidez do compósito em relação à resina pura para o ensaio de flexão, permitindo concluir que o material particulado e a fibra se comportam como carga e também como reforços para plásticos reforçados.

Dessa forma, sugere-se a utilização dos compósitos produzidos para aplicações, onde seja necessária uma elevada dureza superficial e uma elevada força de ruptura.

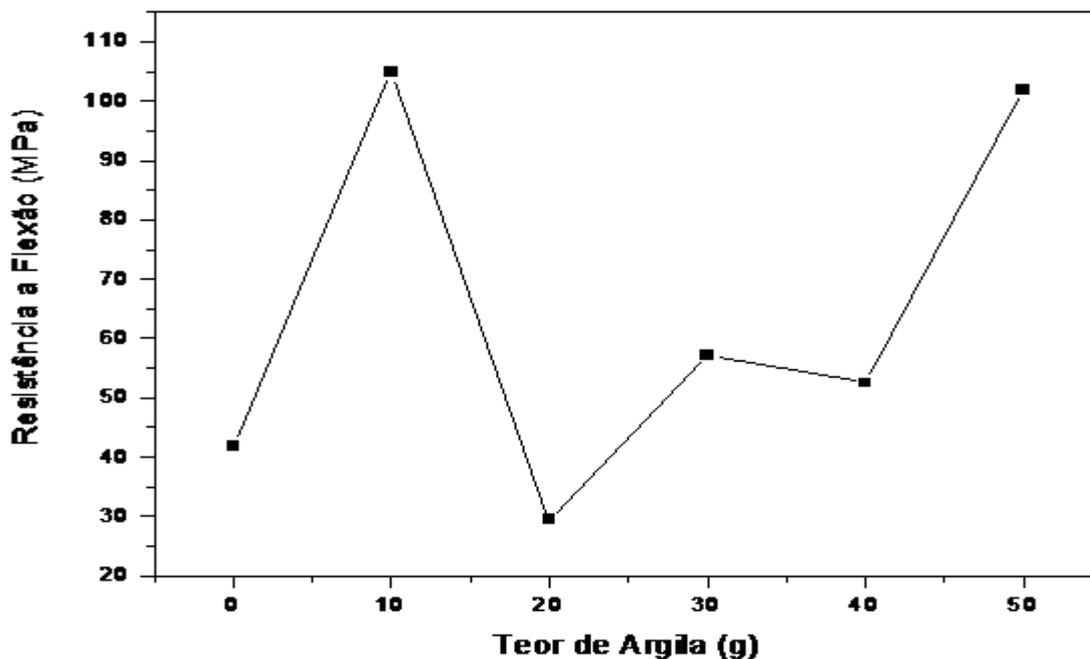
A melhor proporção recomendada é a de 30% de cada reforços, pois como foi possível observar nos ensaios, foi a que possuiu um melhor desempenho, para ambas as cargas. Conforme demonstrado na figura 16.

Realizaram-se os ensaios em amostras a partir de 50% em massa, mas verificou-se certa diminuição e estabilização na resistência mecânica devido à grande presença de bolhas e vazios, mostrando que há existência de um volume crítico de argila e fibra que atuam como reforços no compósito.

5.3.2 Resistência a Flexão.

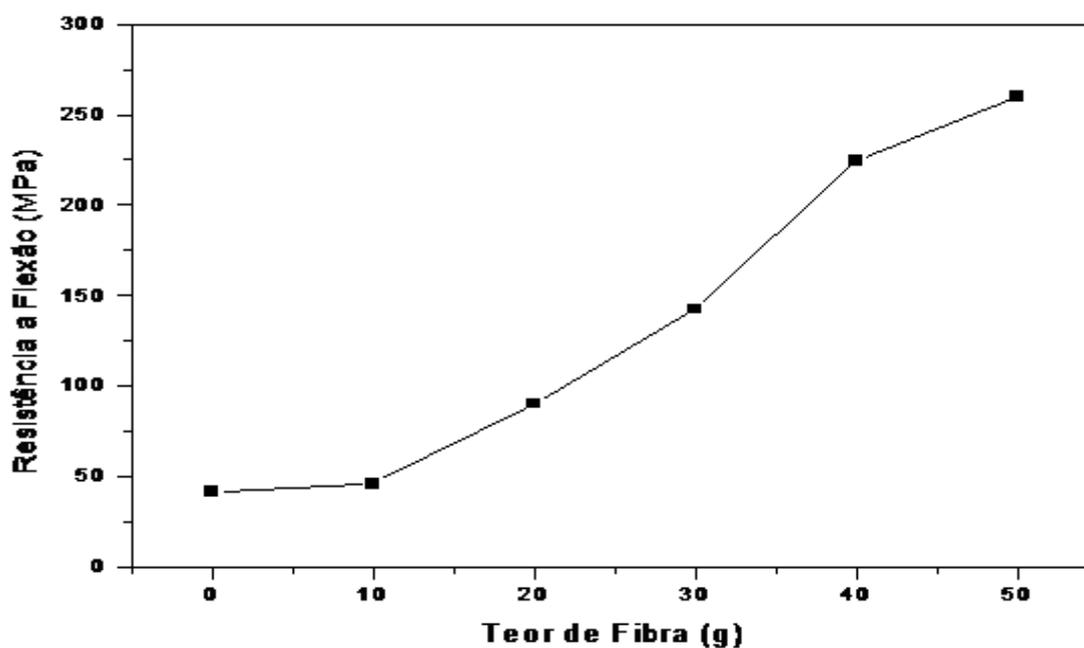
Avaliando a resistência a flexão, observou-se que houve um aumento dessa propriedade em relação à resina pura para os volumes de reforços adicionados separadamente, chegando ao ápice de 566,9 Mpa para os compósitos com 30% de cada reforços.

Figura 17. Gráfico de Resistência a Flexão no compósito com Argila.



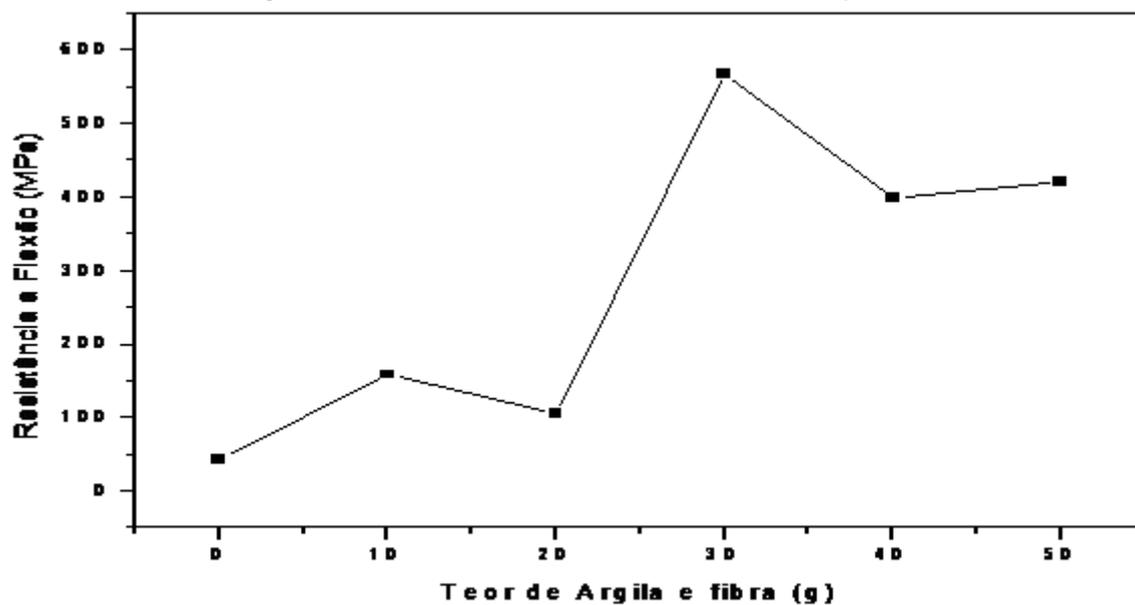
Fonte. Autora.

Figura 18. Gráfico de Resistência a Flexão no compósito com Fibra.



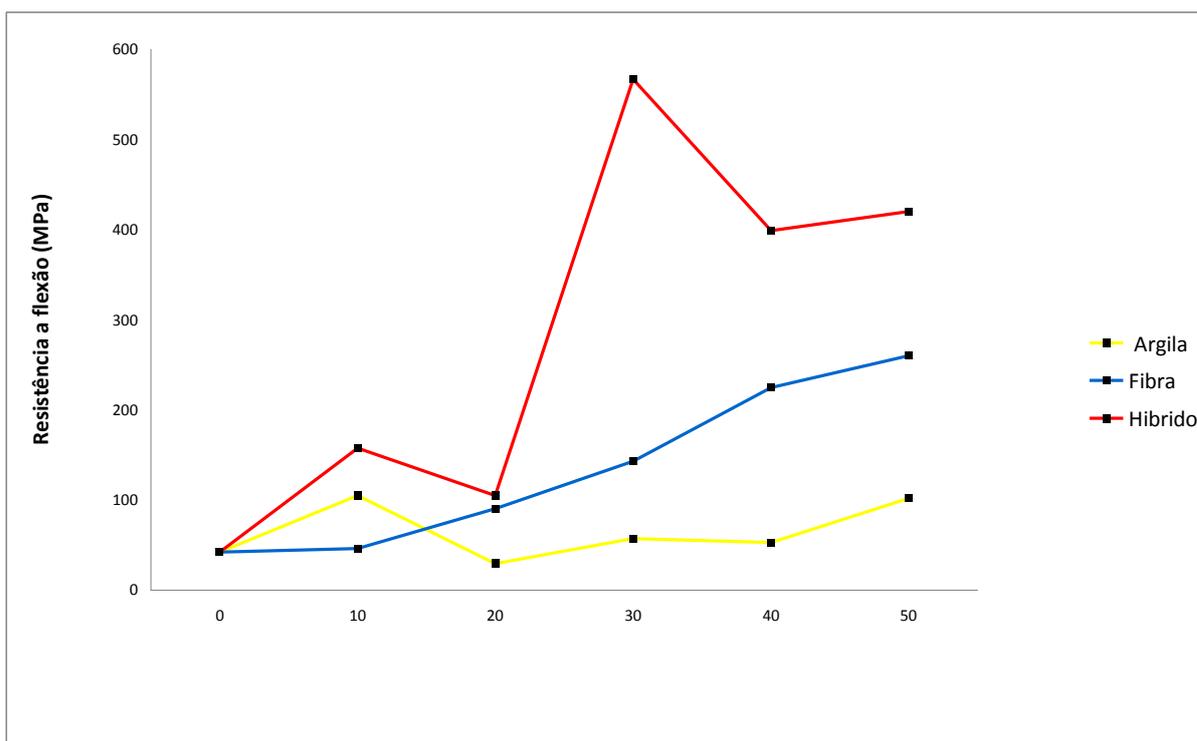
Fonte. Autora.

Figura 19. Gráfico de Resistência a Flexão no composto Híbrido.



Fonte. Autora.

Figura 20. Gráfico comparativo das Resistências a Flexão nos compostos.



Fonte. Autora.

Os compósitos reforçados a partir de 50% de reforços tiveram uma redução no limite de resistência, porém seu valor se encontra ainda muito superior ao da resina pura; isto é devido às características particulares das fibras longas de Babaçu, que aumentam a resistência a flexão e a argila, que aumenta a dureza superficial, (NÓBREGA; ANDRADE, 2010).

O ensaio de flexão também demonstrou que os compósitos híbridos reforçados apresentaram um desempenho satisfatório para forças de ruptura, levando em conta valores menor que 60% de fibras, havendo um ganho da carga em relação à resina pura, as fibras funcionam como ponte de transferência de tensões quando submetidas ao carregamento, sendo assim os compósitos não sofrem ruptura brusca proporcionando ao compósito maior capacidade de deformação.

5.4 ENSAIOS DE MICRODUREZA

Os valores encontrados pelos ensaios de microdureza dos compósitos particulados (Figuras 21, 22 e 23), nota-se que há um aumento significativo da dureza, para tanto se observa que é mais interessante apenas a avaliação da microdureza nos compósitos com a adição do particulado como reforço, com ou sem fibras, pois a mesma fragiliza a matriz, mas aumenta a dureza.

Figura 21. Gráfico de microdureza do compósito com argila.

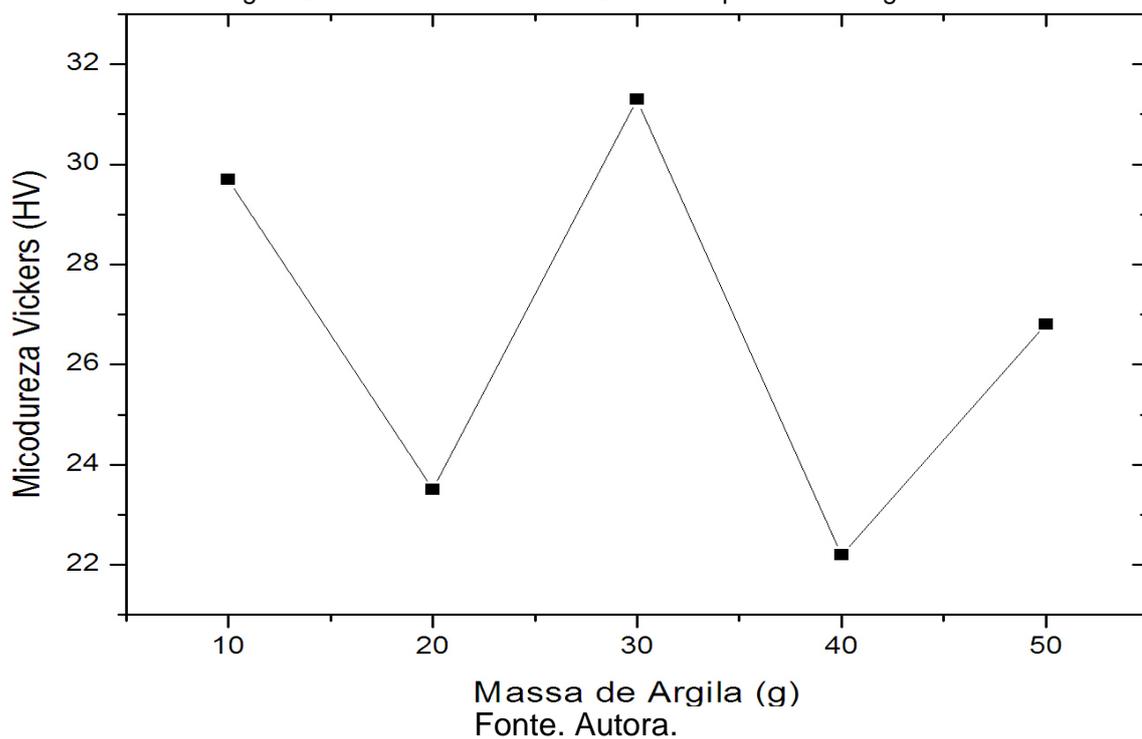


Figura 22. Gráfico de microdureza do compósito de argila e fibra.

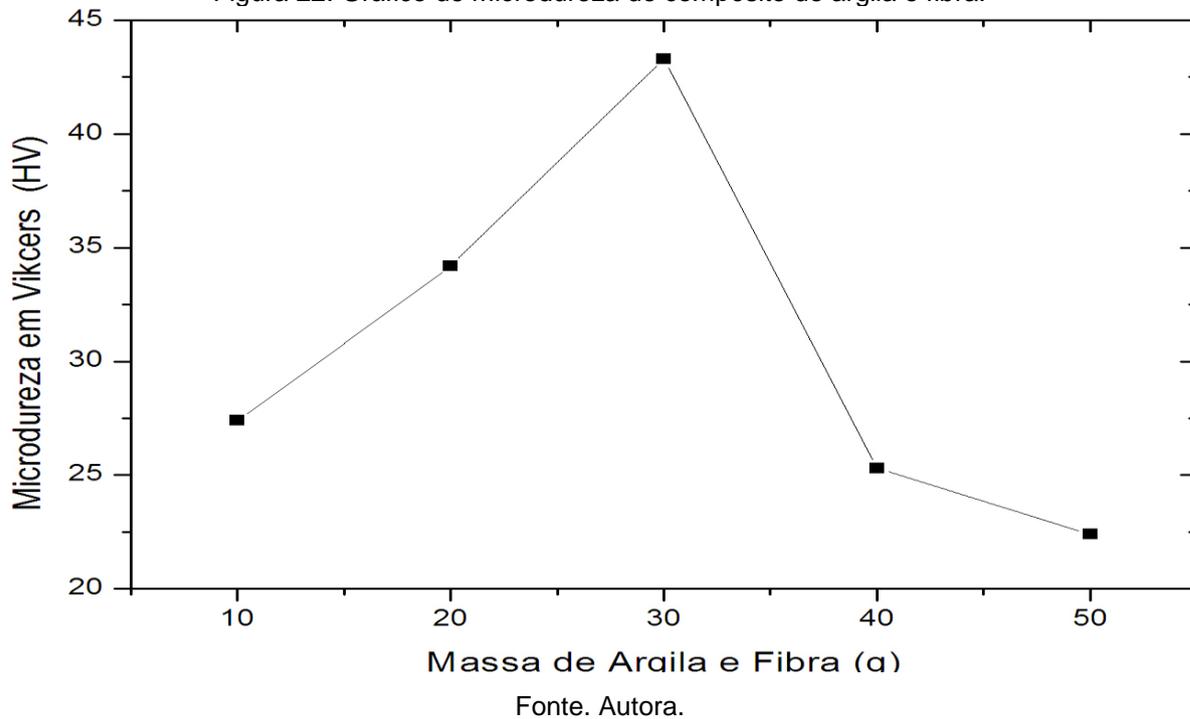
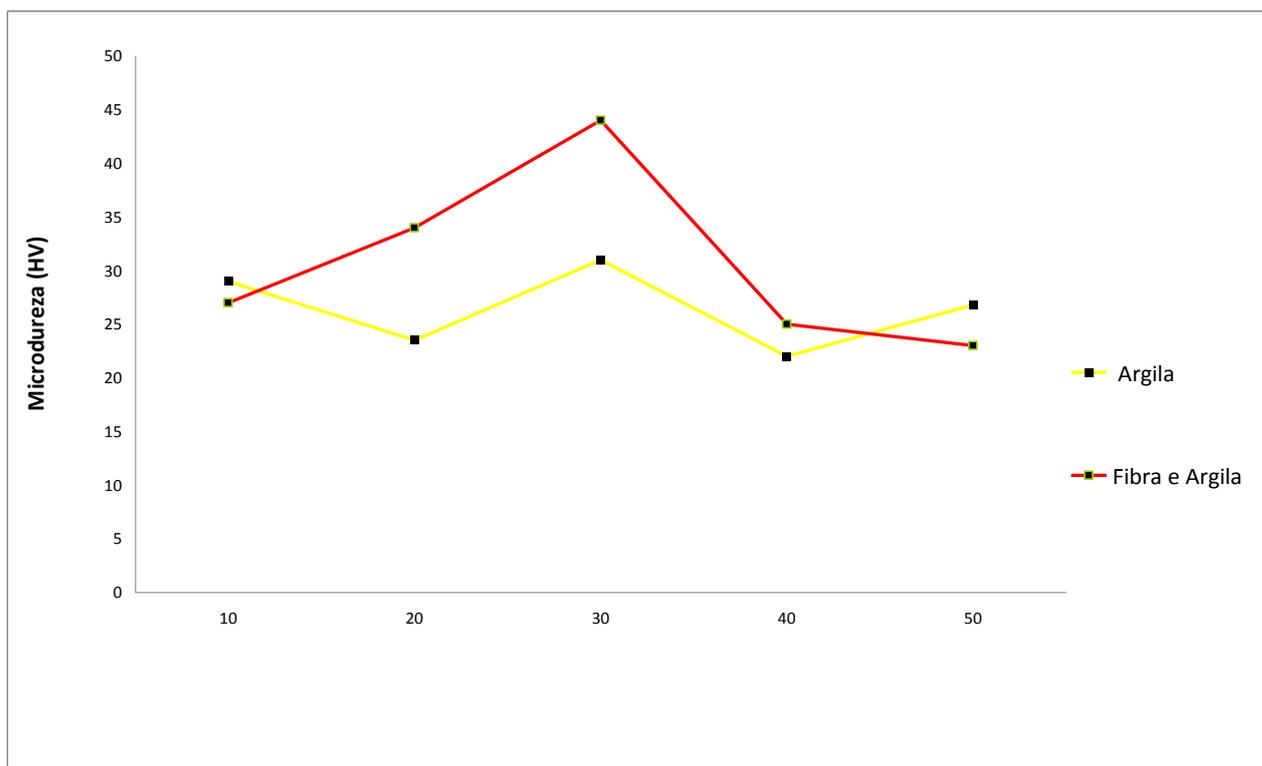


Figura 23. Gráfico comparativo das Microdurezas de compósitos.



Fonte. Autora.

Enfim, é possível notar que com a adição dos reforços as propriedades dos compósitos melhoram bastante. O compósito apenas com a argila possui uma alta dureza superficial, já o compósito híbrido possui uma dureza ainda maior, característica que se deve a junção das propriedades dos reforços.

A variação entre os resultados desses compósitos é pouca, o compósito com o teor de 30% em gramas apresenta o maior valor e o melhor resultado, o que nos faz concluir então que este é o volume ideal para o compósito híbrido.

6. CONCLUSÕES

Em relação aos ensaios mecânicos de flexão e de microdureza, observou-se um significativo aumento das propriedades com a adição das cargas de reforços.

Pode-se concluir então que houve aumento da rigidez do compósito em para o ensaio de flexão e o aumento da dureza para o ensaio de microdureza, os quais permitem concluir que a argila e a fibra se comportam como carga e também como reforços para matrizes poliméricas.

Sendo assim, sugere-se a utilização dos compósitos produzidos em aplicações, onde seja necessária uma elevada dureza superficial e uma resistência a flexão moderada. Sendo que a melhor proporção recomendada é a de 30% de ambos os reforços, pois como foi possível observar em todos os ensaios, foi a que possuiu um melhor desempenho.

Acima de 50% em massa, verificou-se uma pequena diminuição na resistência mecânica devido à grande presença de bolhas e vazios, mostrando que há existência de um volume crítico de argila e fibra que atuam como reforços no compósito, o qual pode ser considerado a partir de 40 %.

A maioria dos trabalhos com compósitos juntando com a tecnologia das argilas e o uso de fibras, ainda são recente na história da ciência e muitas possibilidades devem ser avaliadas nas próximas décadas.

No entanto, quando o assunto é compósito, determinadas espécies de partículas e fibras surgem como os materiais mais adequados para produzir os compósitos utilizados para enriquecer os polímeros. Por este motivo o uso destes, na fabricação de compósitos para a indústria de criação de novos materiais ainda é um ramo interessante, a viabilidade, o custo, e as aplicações ainda precisam passar por estudos mais aprofundados.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver compósitos híbridos, isto é, compósitos reforçados simultaneamente com fibras de Babaçu e outra fibra vegetal.
- Realizar estudos da biodegradabilidade dos compósitos obtidos.
- Implementar um meio mais sofisticado para o corte das fibras e usinagem dos corpos de prova, visando à diminuição dos defeitos;
- Fazer uma análise química das fibras e do particulado, com o intuito de conhecer sua composição;
- Realizar ensaios de impacto e absorção de água seguindo os procedimentos de confecção de placas.
- Fazer um estudo de análise de fratura dos compósitos;
- Implementar um teste de hipóteses, a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. Ciência e Engenharia de Materiais. Cengage Learning, 4a Edição. São Paulo, SP. 2008.

AMERICA SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (2005) Standards Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D790.

ANDRADE, E. C.; NÓBREGA, M. M. S. Estudo das Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Açaí (*Euterpe oleracea*). 65º Congresso Internacional da ABM (Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração). Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABM, 2010. 1 CD.

CALLISTER. W.D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução; LTC – Livros técnicos científicos. 7 ed. Rio de Janeiro, 2008.

CHAWLA. K.K. Composite Materials – Science and Engineering, 2nd Ed. Springer, 1998.

CALLISTER JR WILLIAM D. **Materials Science and Engineering an Introduction**. 6ª.ed. USA: John Wiley & Sons, Inc, 2007.

CAVALCANTI, W. S. Compósitos Poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água. 2006. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba-PB.

DANIEL, I.M; ISHAI, O. Engineering mechanics of composite materials. Dissertation (Master thesis) Victoria University of technology, Melbourne, 1993.

FAGURY, R. V. G. Avaliação de Fibras Naturais para a Fabricação de Compósitos: açaí, coco, ananás e juta. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na Área de Materiais e Processos, Universidade Federal do Pará – PA. 2005.

GONZÁLEZ, A. V.; FRANCO, P. J. H.; Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites. *Composites*: v. 35, n. 4, p. 339-345. 2004.

GUIMARÃES FILHO. M, A, S. Avaliação mecânica de compósitos de resina poliéster reforçada com fibras longas de babaçu antes e após a Mercerização. Universidade Federal do Pará, Marabá – PA. 2011.

KORD, B. Effect of Calcium Carbonate as Mineral Filler on the Physical and Mechanical Properties of Wood Based Composites. *World Applied Science Journal*, vol.13, p.129-132, 2011.

LEE, S. H.; WANG, S. Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. *Composites*. V. 3, n. 4, p. 80-91. 2006.

MARTINS, M.A.; JOEKES, I. Tire rubber-sisal composites:effect of mercerization and acetylation on reinforcement. *Journal of Applied Polymer Science*, Cleveland, v.89, n.9, p.2507-2515, 2003.

MARINELLI, A. L. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: uma contribuição para sustentabilidade amazônica, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MANO, E.B. Introdução a polímeros. Edigard Bluches, 2 ed. São Paulo, 1986.

NÓBREGA, M. M. S. Compósitos de Matriz Poliéster com Fibras de Caroá *Neoglaziovia variegata*: caracterização mecânica e sorção de água. Tese de Doutorado em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba-PB, 2007.

NETO, F. L. PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia. Editora: Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2006.

PAIVA, J. M. F.; SABARIZ; ANNUNCIADO. Compósitos de Matriz Termofixa Fenólica Reforçada com Fibras Vegetais. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 9, nº 4, p. 170-176, 1999.

PENHA, J. K.M.; DAMASCENO, M. A; FELIPE. R. C.T, S.; FELIPE, R. N.B Análise Comparativa entre as Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos Reforçados por Juta/ Vidro/ Juta e Juta/ Juta. 17 ° Cbecimat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.

PENHA, J. K.M.; DAMASCENO, M. A; FELIPE. R. C.T, S.; FELIPE, R. N.B. Análise Comparativa entre as Propriedades Mecânicas de Compósitos Poliméricos Reforçados por Juta/ Vidro/ Juta e Juta/ Juta. 17 ° Cbecimat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.2006.

SILVA, C. et all. Levantamento da utilização dos materiais compósitos reforçados com fibras naturais. 4º Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém – PA, 2009.

SHACKELFORD, J. F. Ciência dos Materiais. 4ª Edição. São Paulo-SP, 2008.

SAVIOLI, R. G; RIBEIRO, A. L. A; SÁNCHEZ, C. G; SANCHES, E. M. S. Avaliação das Propriedades Mecânicas e Térmicas do Compósito de Fibra de Bananeira em Matriz Polimérica de Poliéster Insaturado. In: 18ª Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Porto de Galinhas, Recife-PE, 2008.

SILVA, A. C. Estudo da Durabilidade de Compósitos Reforçados com Fibras de Celulose. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil na Área de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo-SP, 2002.

SILVA, R. V. da; Milagre, M. X. 5ª Jornada de Iniciação Científica III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. ES. 2010.

SOBRINHO, L. L. Desenvolvimento de Matriz Polimérica para Material Compósito Visando o Reforço de Dutos de Aços. Dissertação de Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro. (COPPE/UFRJ). 2005.

TEIXEIRA,W ; TAIOLI, F; ET all. Decifrando a Terra. Universidade de São Paulo, 1a Edição. São Paulo, SP. 2005.

TARGA, G.; MULLINARI; LEITÃO, E. S. Produção e Caracterização Mecânica de um Compósito de Fibra de Juta e Resina de Poliéster Insaturado. 10º Congresso Brasileiro de Polímeros. Anais... Foz do Iguaçu, PR: CBPol, 2009. 1 CD.