

ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO COMPÓSITO A BASE DE BAQUELITE REFORÇADO COM MANTA DE FIBRA DE COCO

Sanderson Rafael Da Cunha Ferreira¹, Manoel Quirino Da Silva Junior²

¹ Graduando do curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: sandersonrafael-35@hotmail.com

² Professor Doutor, RN – UFRSA, Mossoró – Rio Grande do Norte. E-mail: manoel.quirino@ufrsa.edu.br

Resumo: A evolução tecnológica nunca esteve tão rápida. A demanda das pessoas por inovação se mostra cada vez mais elevada e, para atender a essa necessidade, os recursos naturais são vastamente explorados cotidianamente. Devido a este uso descontrolado das riquezas do planeta, os recursos se tornarão cada vez mais escassos. Pensando nessa situação, aumenta-se aos poucos a conscientização e busca de novos materiais renováveis. Com foco nessa ideia, o trabalho em questão busca estudar a alteração das propriedades de uma resina com a adição de manta fibrosa natural, formando um corpo compósito, além de analisar o comportamento de suas peças através de ensaio destrutivo de compressão. Foram produzidas, através de um método de fabricação desenvolvido no trabalho, 15 corpos de prova. Os resultados obtidos mostram alguns benefícios comuns à sintetização de materiais reforçados com fibras naturais, como a redução de massa específica, mas devido à disposição destas, algumas características mecânicas como a resistência à compressão foram prejudicadas, tornando o novo material menos eficiente para resistir a cargas aplicadas.

Palavras-chave: baquelite, manta de fibra de coco, compósito, reforço, resistência mecânica.

1. INTRODUÇÃO

Na sociedade atual, aumenta-se aos poucos a conscientização das pessoas em relação à utilização dos recursos e materiais do planeta, visando a não escassez destes para as futuras gerações. Baseado nesta premissa, aumentam-se cada vez mais os produtos que possuem em sua composição insumos sustentáveis, que não agredem de forma severa o meio ambiente e se apresentam como matérias-primas facilmente renováveis.

Os materiais compósitos, aqueles formados por matrizes associadas a insumos, têm sua pesquisa e desenvolvimento amplamente aprofundados. Através de sua produção, é possível obter-se produtos que possuem qualidades antes não alcançadas ou a melhoria de algumas de suas características específicas, como aumento de resistência mecânica, diminuição de custos, etc [1].

Atrelando-se a sustentabilidade à crescente busca e desenvolvimento de compósitos, há um interesse mundial acerca da produção de materiais compostos por matrizes de resinas poliméricas como a baquelite, reforçadas com fibras renováveis como as vegetais, levando-se em conta suas demasiadas aplicações, apresentadas na construção civil, aeronáutica, embarcações, transportes em geral e bioengenharia [1].

O trabalho a seguir possui como objetivo o estudo das alterações das propriedades da baquelite, com a produção de material compósito através do embutimento de mantas formadas com fibra de coco e látex numa matriz de baquelite, além de se obter um material menos prejudicial ao meio ambiente. Para tal, serão realizados ensaios destrutivos, de compressão diametral, nas peças cilíndricas, analisando características visuais e os dados gráficos, produzidos pelo aparato e software de testes.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Referencial teórico

Um material pode ser considerado compósito quando se apresenta de forma multifásica, adquirindo significativamente as propriedades de ambas as fases que o sintetizam e obtendo-se a melhor combinação delas. A partir deste princípio de ação combinada, são criadas as melhores combinações de propriedades das duas ou mais substâncias [1].

No projeto de materiais compósitos, cientistas e engenheiros realizam a combinação de diversos metais, cerâmicas e polímeros com o intuito de produzir novos materiais excepcionais. Geralmente, os compósitos são produzidos com a finalidade de alcançar uma melhora nas características mecânicas, como tenacidade, rigidez, resistências às tensões e temperaturas elevadas [1].

Ainda disposto em [1], os compósitos em grande parte dos casos possuem somente duas fases, que são conhecidas como a fase matriz, cuja qual se apresenta de forma contínua e envolve a outra fase, que é denominada

de fase dispersa. As propriedades finais da peça obtida dependem bastante das propriedades dos seus constituintes, quantidade e também da sua geometria. Há três tipos de classificações para os compósitos, que se dão de acordo com o tipo de reforço e como este se relaciona com a matriz. Dentre eles, encontram-se os compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e os compósitos estruturais.

As matrizes poliméricas possuem duas classificações principais: termorrígidas e termoplásticas. Os polímeros são os materiais mais comuns a serem reforçados para a indústria. Como exemplos, podem ser citadas as resinas epóxis e poliésteres, que já são usadas há vários anos, como abordado em [2].

A baquelite é um plástico termorrígido (ou termofixo) formado pela policondensação de compostos orgânicos, fenol (C_6H_5OH) e formaldeído (CH_2O), desde que a sua relação seja equimolar. Após o aquecimento da sua matéria prima, o pó da baquelite, ela amolece e sofre um processo de cura, que ocorre uma transformação química irreversível, adquirindo ligações cruzadas e, devido a isto, uma alta rigidez. Posteriormente ao seu primeiro aquecimento, as peças formadas pela resina não se tornarão maleáveis novamente, além de manterem-se insolúveis [3]. Possui densidade de aproximadamente 1390 kg/m^3 .

De acordo com o abordado em [1], quanto ao reforço (fase dispersa), o tipo com maior importância tecnológica é o formado por fibras. Os objetivos desse tipo de compósito incluem frequentemente a obtenção de uma alta resistência ou rigidez com pesos reduzidos. Os compósitos reforçados com fibras são subdivididos em classes de acordo com o comprimento e arranjo das fibras. Estas classes são nomeadas como: reforçados com fibras contínuas e reforçados com fibras descontínuas (curtas), alinhadas ou orientadas aleatoriamente. Isto é expresso na Figura 1 a seguir.

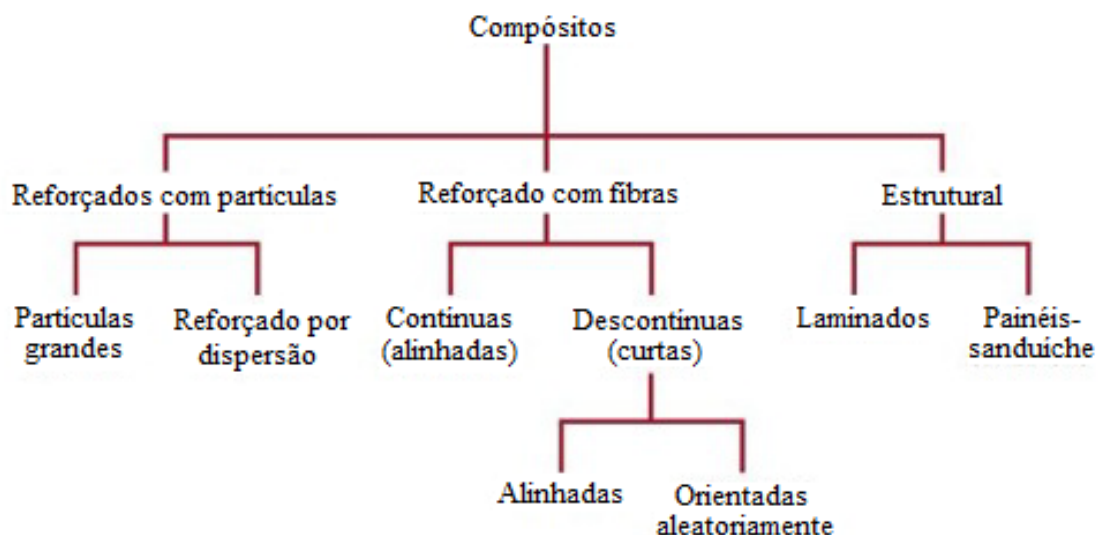


Figura 1. Classificação dos compósitos. Adaptado de [1]

As fibras utilizadas como fase dispersa podem ser naturais, como as vegetais (lignocelulósicas), ou podem ser sintéticas. As fibras sintéticas vêm sendo substituídas pelas naturais por apresentar algumas vantagens como baixo custo, baixa densidade e biodegradabilidade. Entretanto, suas propriedades muito variadas e também uma alta absorção de umidade, podem ser inconvenientes durante a sua escolha em vez de uma sintética, afetando na qualidade do compósito [4]. Um exemplo comum de fibra natural é a de coco, vastamente aproveitada em diversos ramos na indústria, com densidade de 1177 kg/m^3 , o que mostra ser um material leve em relação a outros [5].

Para que seja alcançado um aumento, consistente e perceptível, na resistência mecânica de um compósito formado por polímeros e fibras, as cargas mecânicas aplicadas devem ser transferidas da matriz para as fibras através de ligações covalentes. Diversos fatores têm influência nessa ligação, como: tamanho e orientação das fibras, características químicas da superfície das mesmas, a quantidade de vazios presentes no produto, qualidade do processo de cura, etc. Porém, o grau de ligação entre a matriz e a fase fibra é o que apresenta maior importância para a melhora das características físicas da peça [6].

A disposição das fibras possui grande influência para o ganho, ou não, de resistência. Fibras em arranjos unidirecionais promovem um bom aumento de resistência paralelamente ao seu alinhamento, apesar de baixo incremento de propriedades se as cargas forem aplicadas perpendicularmente à disposição delas (Figura 2, A). Essas fibras podem ser adaptadas para obtenção de características desejadas em várias direções ao se organizar arranjos com séries de fibras perpendiculares entre si ou, ainda, dispostas em ângulos de 45° (Figura 2, B). Uma maior variação, ou até aleatoriedade, na disposição da direção das fibras quando paralelas a um mesmo plano, promove maior incerteza referente ao incremento nas propriedades de um material [7].

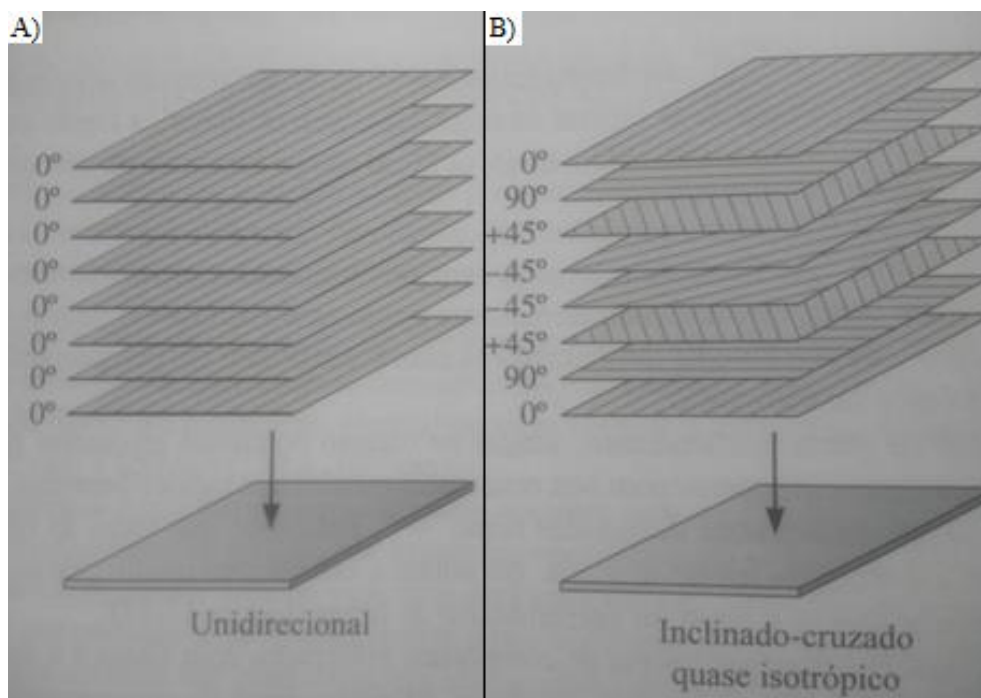


Figura 2. Disposição das fibras. Adaptado de [7]

Como indicado em [8], para a realização de um ensaio de compressão com corpo cilíndrico, ele deve ser um disco com razão de espessura/diâmetro, demonstrados na Figura 3, entre 0,2 e 0,75. O tamanho do corpo de prova final deve possuir no mínimo 10 vezes o do maior corpo constituinte no reforço e a amostra deve possuir superfície circunferencial lisa e reta a 0,5mm de tolerância. A velocidade de ensaio deve ser escolhida de modo que o tempo de ensaio seja entre 1 e 10 minutos.

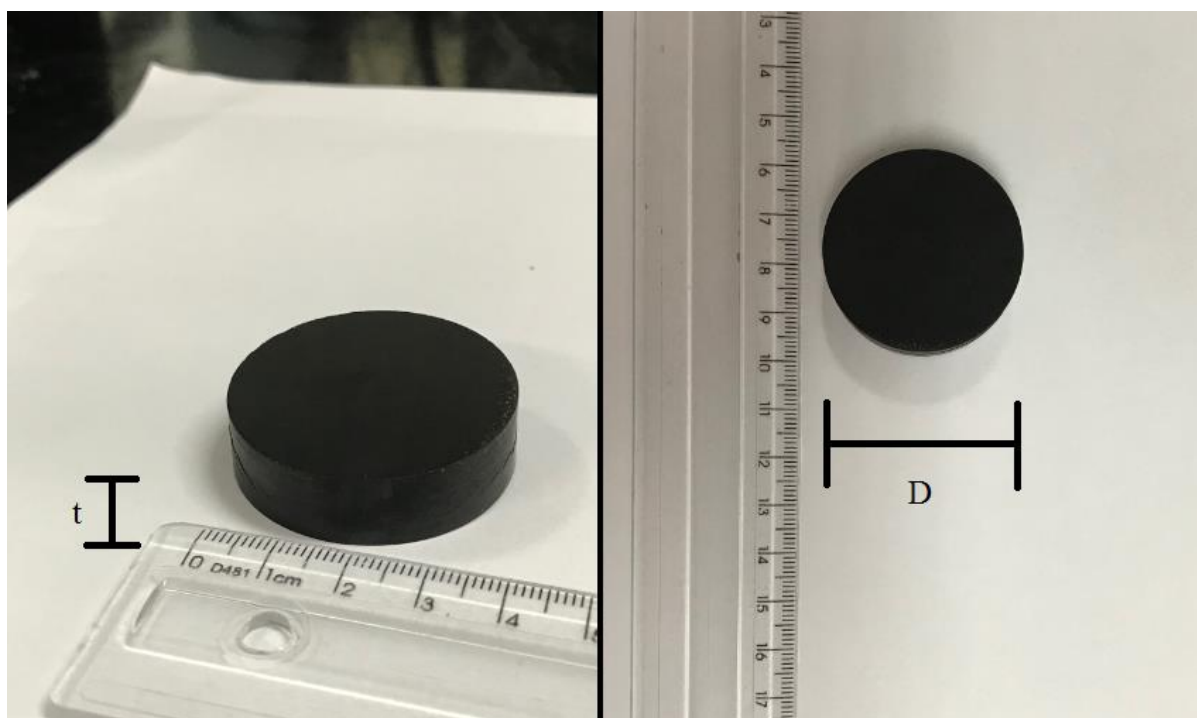


Figura 3. Espessura e diâmetro dos corpos de prova, respectivamente. (Autoria própria)

O resultado da resistência à tração através do teste de compressão diametral pode ser obtido utilizando a seguinte relação mostrada na equação 1:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi t D} \quad (1)$$

Os termos apresentados podem ser interpretados da seguinte maneira:

σ_t – Tensão máxima de tração, em MPa;

P – Carga máxima aplicada indicada pela máquina de ensaio, em N;

t – Espessura da amostra, em mm;

D – Diâmetro da amostra, em mm.

2.2. Metodologia

Os corpos de prova foram produzidos com uma matriz em baquelite, resina quimicamente estável que é fornecida em pó, formada por combinação de polimerização de fenol (C_6H_5OH) e formaldeído (CH_2O). O pó da baquelite foi adquirido através da empresa FORTEL®, identificado como: Baquelite em pó preto tipo MP 39 – 5 litros, disposto na Figura 4.



Figura 4. Baquelite em pó preto. (Autoria própria)

A fibra utilizada como material de reforço foi a de coco, apresentada em forma de manta, adquirida através da empresa SISALSUL Fibras Naturais®, identificada como: Manta de fibra de coco 100% natural Bouclê Native, como visto na Figura 5.



Figura 5. Pedacos recortados da manta de fibra de coco. (Autoria própria)

Para a produção das amostras, foi utilizada uma máquina de embutimento metalográfico, EM40D, fornecida pela empresa TECLAGO® Indústria e Comércio Eireli-ME – Metalografia. Onde a resina de baquelite era depositada, em quantidades mais próximas possível de 20 gramas quando somado à massa da fibra do coco, com

uma camada da manta colocada entre duas faces de aproximados 10 gramas do pó, obtendo-se peças de 40mm de diâmetro com aproximados 11mm de espessura. O tempo de embutimento foi determinado de modo automático, pelo próprio aparato, que leva cerca de 25 a 30 minutos entre o início do aquecimento, aumento da pressão na peça, temperatura limite de 170 graus Celsius alcançada, resfriamento e retirada da peça. O processo de fabricação das peças descrito é representado pela Figura 6.

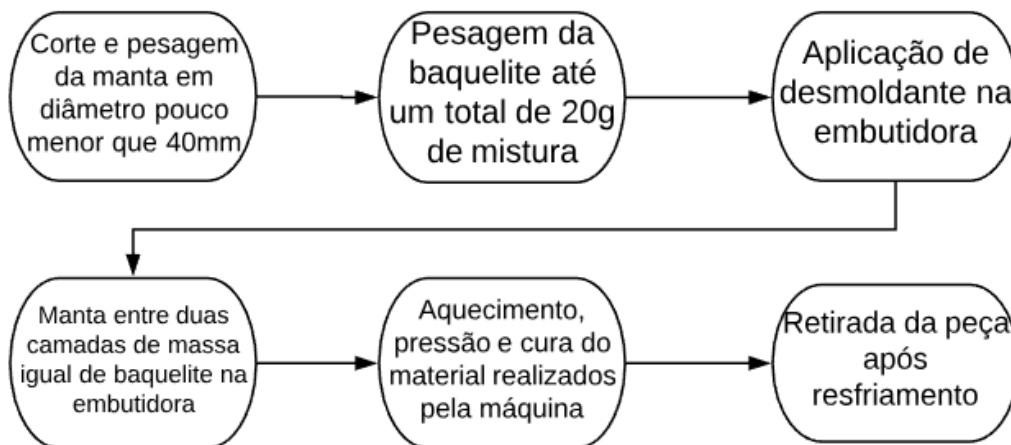


Figura 6. Fluxograma do processo de produção dos compósitos. (Autoria própria)

Para medir a quantidade de massa de cada componente dos corpos de prova, foi utilizada a balança analítica FA2204B, da Bioscale®, cuja sensibilidade é de 0,0001g e capacidade máxima de 220g. Os materiais tiveram suas massas medidas com a utilização de um béquer de vidro.

O ensaio de compressão diametral foi realizado com o auxílio da máquina DL10000, da EMIC®, com capacidade de aplicação de forças de 100kN. Os dados obtidos durante cada ensaio foram fornecidos pelo software TESC. A velocidade de compressão definida para o ensaio foi de 1,2 mm/min.

Foram produzidas cinco peças de baquelite puro e dez peças de compósitos com a manta, cuja melhor classificação para o compósito sintetizado, apesar de reforçado com fibras, é a de painel sanduíche, com o núcleo (corpo central) formado pela manta e as faces pela baquelite.

2.3. Resultados e discussões

As 5 amostras da baquelite pura foram produzidas com 20 gramas do seu pó, com uma precisão de duas casas decimais zeradas na balança. A escolha deste número de peças foi devido à semelhança de todas elas, por serem formados somente pelo pó da baquelite.

A Tabela 1 que segue, apresenta os dados coletados de cada amostra curada da baquelite pura, como: deformação máxima, deformação de engenharia e tensão máxima.

Tabela 1. Dados da baquelite pura obtidos experimentalmente. (Autoria própria)

Amostras	Deformação máxima (mm)	Deformação de Engenharia (mm/mm)	Tensão máxima (MPa)
1	1,7089	0,0427	27,7537
2	1,8595	0,0465	26,7771
3	1,6168	0,0404	24,4129
4	1,5653	0,0391	23,7749
5	1,7593	0,0440	25,9480
Média	1,7020	0,04255	25,7333
Desvio padrão	0,1162	0,0029	1,6429
Variância	0,0135	8,4504x10 ⁻⁶	2,6992

É possível se observar que as variações dos dados não se mostram de forma muito discrepante, dados diversos possíveis erros experimentais, como variações na temperatura ambiente, tempo de cura do material que é escolhido de forma automática, pré-carga aplicada no material pela máquina, dentre outros. As médias obtidas representam relativamente bem os resultados das amostras como um geral.

A Figura 7 mostra o comportamento das peças puras de baquelite durante o ensaio de compressão diametral, em deformação de engenharia (mm/mm) por tensão (MPa).

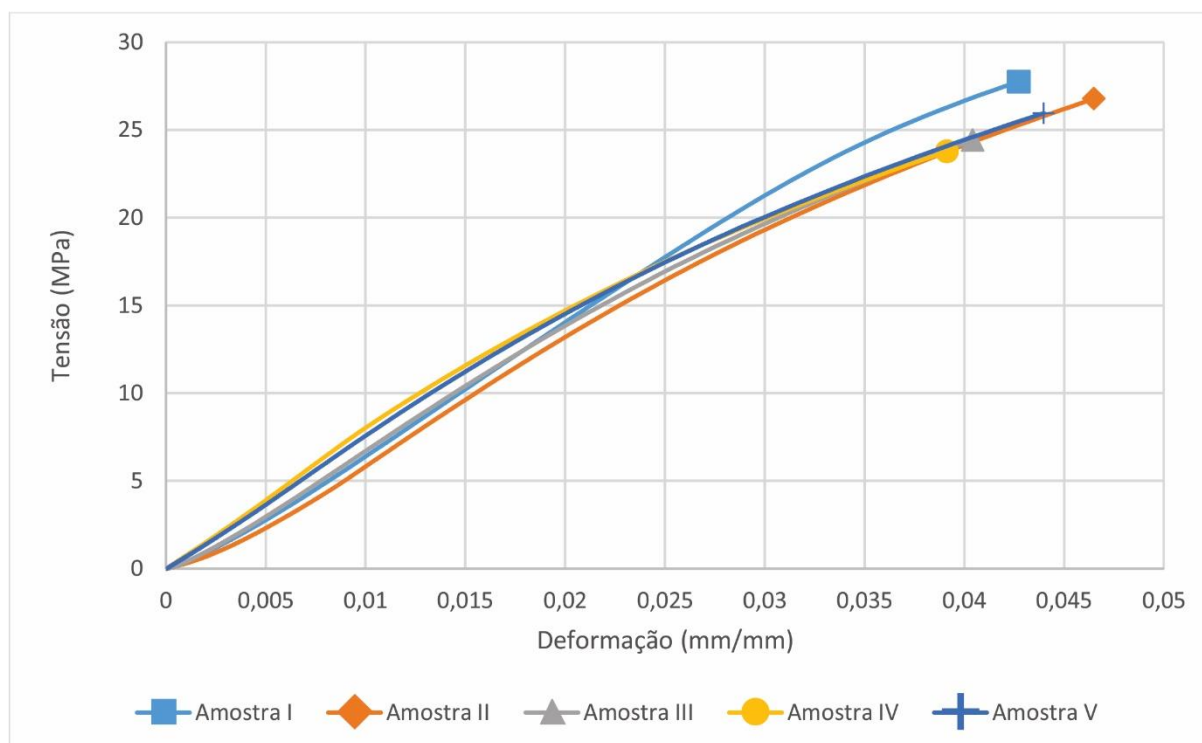


Figura 7. Comportamento das amostras puras durante ensaio de compressão diametral. (Autoria própria)

Todas as amostras compósitas foram fabricadas com 20 gramas, somando-se a massa do pó da baquelite e da manta de fibra de coco. Ou seja, devido ao formato da manta, é mais dificultoso ter um maior controle da massa, uma vez que é cortada em formato circular, assim como a baquelite após enrijecida. A porcentagem das massas da manta utilizadas em cada amostra testada, assim como suas deformações máximas, deformações de engenharia e tensões máximas, com suas médias, desvios padrões e variâncias, estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2. Dados do compósito formado por baquelite e manta de fibra de coco obtidos experimentalmente. (Autoria própria)

Amostras	Porcentagem da manta nas misturas (%)	Deformação máxima (mm)	Deformação de Engenharia (mm/mm)	Tensão máxima (MPa)
1	1,9260	1,6887	0,0422	24,7848
2	2,0785	1,6306	0,0408	24,9439
3	2,4425	1,1982	0,0300	14,3565
4	1,9670	1,8206	0,0455	24,9859
5	1,7060	1,1862	0,0300	17,8702
6	1,8900	1,4464	0,0362	22,3193
7	1,7850	1,4781	0,0370	21,9142
8	1,9450	1,1403	0,0285	18,3491
9	1,5675	1,3434	0,0336	21,5973
10	1,9355	1,6835	0,0421	24,5301
Média	1,9243	1,4616	0,0365	21,5651
Desvio padrão	0,2334	0,2406	0,0060	3,6351
Variância	0,0545	0,0579	3,6194x10 ⁻⁵	13,2140

Os resultados obtidos nas peças compósitas apresentaram variação maior em relação às peças puras. É possível se observar uma discrepância maior em dados como a deformação máxima e força máxima, além de piores resultados como o das tensões, que obtiveram valores menores em geral e na média, mostrando que essa fase fibra pode ser considerada ineficiente na função de reforço para compressões diametraais. Possivelmente devido à característica de aleatoriedade da disposição das fibras embora alinhadas em um mesmo plano, como citado em [7]. É pertinente constatar também a característica de não homogeneidade na extensão manta, como pôde ser visto na Figura 5.

A Figura 8 mostra o comportamento das peças compósitas formadas pela baquelite e a manta da fibra de coco, durante o ensaio de compressão diametral, em deformação de engenharia (mm/mm) por tensão (MPa).

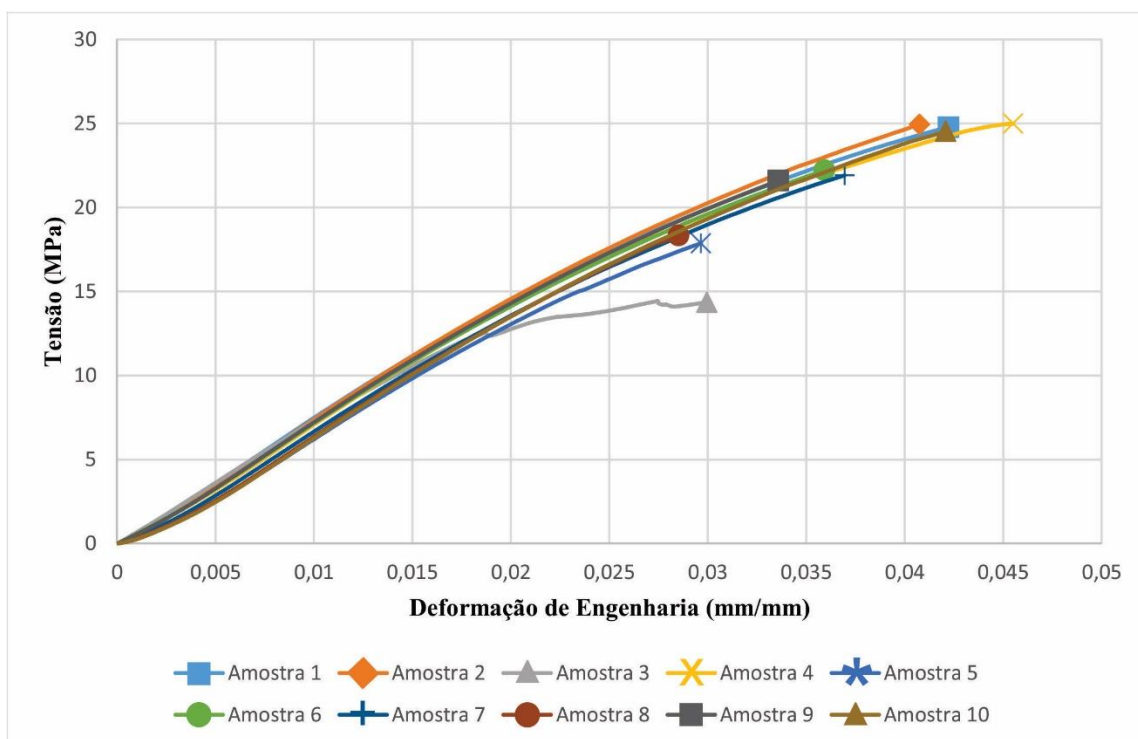


Figura 8. Comportamento das amostras compósitas durante o ensaio de compressão diametral. (Autoria própria)

Apesar dos resultados apontarem uma possível piora nas qualidades mecânicas do material, foi percebido que após o término dos ensaios de compressão as peças compósitas não sofreram o processo de estilhaçamento (divisão do material em diversos pedaços menores), mantendo-se unidas aparentemente pela manta em seu interior, diferentemente das peças em puro que se despedaçavam ao término de cada experimento. Esse aumento na adesão das peças pode ser observado na Figura 9 a seguir.

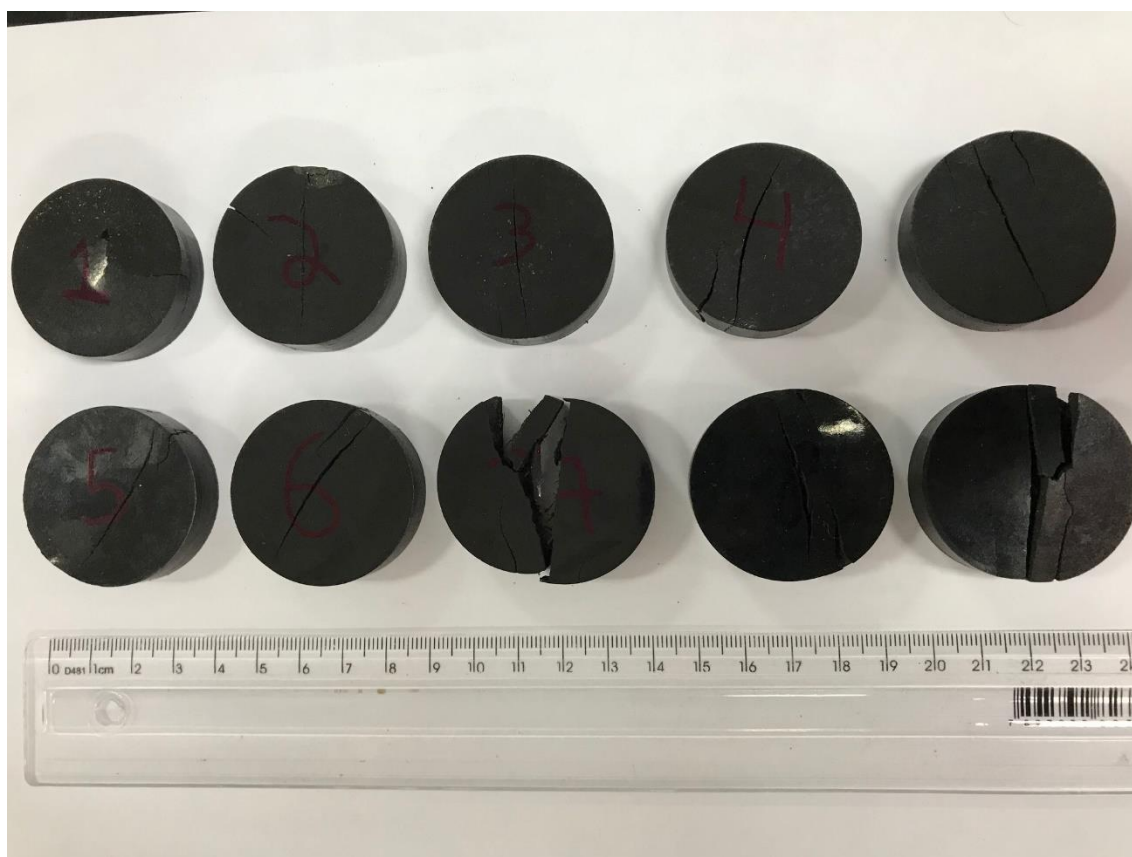


Figura 9. Peças compósitas após ensaio de compressão diametral. (Autoria própria)

3. CONCLUSÃO

Como a densidade da fibra de coco é de 1177 kg/m³, enquanto que a da baquelite é de 1390 kg/m³ e a do látex presente na manta de fibra de coco é entre 975 kg/m³ e 980 kg/m³ [9], o resultado final dessa combinação é necessariamente um material que apresenta massa específica menor que a da resina pura. Um corpo com menor densidade possui maior aplicabilidade para situações onde se faz necessário ter uma boa resistência mecânica com massas menores, muito comum nas indústrias automobilística e aeronáutica.

Foi observado ainda que, o compósito obtido pode apresentar maior resistência à desagregação, como a que se dá no momento de ruptura da peça.

Apesar das dadas vantagens, o compósito produzido se mostrou com alguma instabilidade, dadas as variações das informações obtidas no ensaio de cada peça e diminuição de resistência à tensão de tração como um geral, em relação às peças de baquelite pura. É perceptível que a união desses componentes abordados no trabalho resulta num composto com algumas características mecânicas inferiores.

4. REFERÊNCIAS

- [1] CALLISTER JR, W.D.; RETHWISCH, D.G. Ciência de Engenharia de Materiais Uma Introdução. 8ª ed. Editora Eletrônica: Diagrama Ação. Rio de Janeiro – RJ, 2012.
- [2] MARINHO, J. R. D. Macromoléculas e polímeros. Editora: Manole. Barueri – 2005
- [3] CANEVAROLO JUNIOR, S.V. Ciência dos polímeros – Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 3ª ed. Editora: Artliber. São Paulo - SP. 2013.
- [4] PAULA, Paula Gomes de. FORMULAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS COM FIBRAS VEGETAIS E MATRIZ TERMOPLÁSTICA. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/DISSERTA%C3%87%C3%83O-IMPRIMIR.pdf>>. Acesso em: 15 março 2019.
- [5] DUARTE, D; IMAI, E.M; NII, P.M. Fibras naturais e sua aplicação na arquitetura. São Paulo: USP, 2009. Disponível em: <<http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0221/Trabalhos%20Finais%202009/Fibras%20naturais.pdf>>. Acesso em: 18 março 2019.
- [6] NEWELL, J. Fundamentos da moderna engenharia e ciência dos materiais. Editora: LTC. Rio de Janeiro - RJ, 2010.
- [7] ASKELAND, D.R.; PHULÉ, P.P. Ciência e engenharia dos materiais. Editora: Cengage Learning. São Paulo - SP, 2011.
- [8] ASTM D3967. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens 1. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [9] AGOSTINI, Deuber Lincon da Silva. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES DO LÁTEX E DA BORRACHA NATURAL QUE ESTIMULAM A ANGIOGÊNESE. 2009. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94503/agostini_dls_me_bauru.pdf?sequence=1>. Acesso em: 18 março 2019.



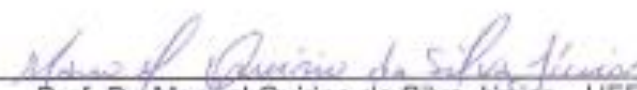
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

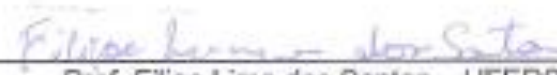
Às 08:00 horas do dia vinte e dois de março de dois mil e dezenove, na sala 24 do Centro de Engenharias, Campus Leste, da UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria do aluno **SANDERSON RAFAEL DA CUNHA FERREIRA**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2015021035**, com o título **“ESTUDO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO COMPÓSITO A BASE DE BAQUELITE REFORÇADO COM MANTA DE FIBRA DE COCO”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. Manoel Quirino da Silva Júnior, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho e Prof. Filipe Lima dos Santos, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **9,0; 9,0; 9,0**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi aprovado com média geral **9,0**. E para constar, eu, Manoel Quirino da Silva Júnior, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 22 de março de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Prof. Dr. Manoel Quirino da Silva Júnior – UFERSA
Presidente e orientador


Prof. Prince Azsemergh Nogueira de Carvalho – UFERSA
Membro


Prof. Filipe Lima dos Santos – UFERSA
Membro