

**UNINORTE**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES*

CONFECÇÃO DE COMPÓSITO EM MATRIZ DE RESINA EPÓXI REFORÇADO COM FIBRA DE CURAUÁ.

Silva, Alexandro Soares¹
Silva, Stephannie Monteiro²
Garcia del Pino, Gilberto³

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo o desenvolvimento de um compósito polimérico de matriz epóxi reforçado com fibras de curauá, bem como avaliar a influência das fibras vegetais na resistência mecânica do compósito produzido. Para a confecção do material, as fibras de curauá foram penteadas, cortadas e submetidas a tratamento alcalino. Foram fabricados corpos de provas em um molde metálico, pelo processo de laminação, para o ensaio de tração, onde diferentes conteúdos de fibras foram testados. Os resultados obtidos mostraram que o aumento do teor de fibras no material proporciona um aumento no valor da resistência à tração, e que o tratamento alcalino realizado nas fibras aumentou a aderência fibra-matriz.

Palavras-chave: Fibra vegetal. Curauá. Compósitos poliméricos. Resina epóxi.

ABSTRACT

This article aims to conduct a study of the development of an epoxy matrix polymeric composite reinforced with curauá fibers as well as to evaluate the influence of the vegetal fibers on the mechanical resistance of the produced composite. For the

¹ Alexandro Soares da Silva, Graduando em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário do Norte – UNINORTE (Alexandro_soares_silva@hotmail.com).

² Stephannie Monteiro da Silva, Graduando em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário do Norte – UNINORTE (Stephannie_monteiro@hotmail.com).

³ Gilberto Garcia Del Pino, Mestrado, Doutorado e Pós-doutorado em Engenharia Mecânica, Mecatrônica e Metalúrgica pela USP (ggdelpin@usp.br).

preparation of the material, the curauá fibers were combed, cut and subjected to alkaline treatment. Testing bodies were fabricated in a metal mold by the rolling process for the tensile test where different fiber contents were tested. The results showed that the increase of the fiber content in the material provides an increase in the tensile strength value and that the alkaline treatment performed on the fibers increased fiber-matrix adhesion.

Keywords: Vegetable fiber. Curauá. Polymeric composites. Epoxy resin.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo é crescente a preocupação acerca dos impactos ambientais gerados pelo desenvolvimento econômico, o qual vem ocasionando o esgotamento gradativo dos recursos naturais de nosso planeta, tais como petróleo, madeira e outras matérias-primas [1]. Neste contexto, a exploração madeireira de nossas florestas e o surgimento de novas políticas ambientais desafia a sociedade atual a desenvolver produtos e tecnologias sustentáveis, que venham a substituir a madeira maciça em diversas aplicações, como na fabricação de móveis e elementos utilizados na indústria de construção civil [2].

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais vêm ganhando destaque dentre os produtos ecologicamente corretos, uma vez que, em sua maioria, são fabricados utilizando subprodutos vegetais, como fibras de origem vegetal (folha de bananeira, coco, curauá, piaçaba e outros) e aparas de madeira [3]. Tais subprodutos, por serem de origem vegetal, advindos de fontes renováveis e produzidos em abundância em países como o Brasil, rapidamente tornaram-se o foco de diversas pesquisas as quais promovem o avanço tecnológico aliado à sustentabilidade.

Dentre os resíduos de origem vegetal com potencial de aplicação como reforço em matrizes poliméricas, destaca-se o curauá, uma planta nativa da região amazônica cultivada principalmente no Estado do Pará [4]. Suas folhas, que podem chegar a 1,5 m de comprimento e 4 cm de largura, são duras, eretas e planas; cada

planta produz entre 12 a 15 folhas por ano, das quais são extraídos cerca de 2 kg de fibras [4].

Apresentando propriedades mecânicas específicas similares às fibras inorgânicas, como elevada resistência à tração e rigidez [5], as fibras de curauá já despertam o interesse de diversos setores industriais no Brasil, da indústria automotiva à têxtil. A utilização combinada das fibras de curauá em matrizes poliméricas dá origem a materiais compósitos com boas propriedades mecânicas e, ao mesmo tempo, baixo custo de produção [6]. .

Com base no exposto, o presente artigo tem como objetivo a utilização da fibra de curauá no desenvolvimento de compósitos poliméricos fabricados com resina epóxi, assim como avaliar sua qualidade através da determinação da resistência à tração do material produzido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Compósito polimérico é um material resultante da mistura de dois ou mais constituintes, diferentes em forma e composição química, insolúveis um no outro, cuja finalidade é a de se obter qualidades superiores às de seus componentes individuais. A matriz - meio de transferência da força aplicada - é um polímero, e a carga reforçadora - elemento que responde pela resistência ao esforço – pode ser um material particulado ou fibroso [4]. As propriedades dos componentes, a distribuição do reforço, as naturezas da interface fibra/matriz e a morfologia do reforço definem as propriedades específicas e o comportamento desses materiais [7].

As fibras vegetais têm sido utilizadas como reforço em materiais compósitos na indústria mecânica, automobilística, de equipamentos esportivos, naval, aeronáutica, civil, etc. O que as tornam tão interessantes é sua microestrutura, composta por uma mistura de polímeros de carboidratos, denominados celulose e hemicelulose, e uma estrutura contendo substâncias aromáticas denominada lignina, sendo esta última a responsável pela rigidez estrutural das fibras vegetais, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos. Além disso, a lignina possui caráter mais hidrofóbico que a celulose, aumentando assim a adesão fibra/matriz.

A utilização de fibras sintéticas para o reforço de plásticos e borrachas (polímeros) é uma técnica extensivamente empregada na indústria para a obtenção de materiais com melhor desempenho mecânico. A substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais é uma possibilidade bastante importante, pelo fato desta fibra ser de uma fonte renovável, biodegradável e de baixo custo e por provocar menor impacto ambiental, fazendo com quem, no atual cenário socioambiental, o uso de fibras de origem vegetal em substituição às fibras sintéticas ganhe destaque [8].

Um fator importante a ser observado e que favorece o emprego de fibras vegetais como insumos renováveis, é a perspectiva da economia de energia por meio da redução de peso dos componentes, bem como os aspectos ligados à recuperação das matérias-primas e reaproveitamento de materiais no final do ciclo de vida do produto [1-3].

As fibras de curauá possuem propriedades mecânicas específicas similares às fibras inorgânicas, como elevada resistência à tração e rigidez [9], o que é importante para o seu uso como reforço em compósitos poliméricos [9]. Neta e colaboradores [5], em um estudo desenvolvido no Estado do Amazonas, avaliaram a resistência à tração de fibras de curauá in natura, através de ensaios tensão-deformação, obtendo como resultado um valor maior que 515 MPa, Tomczak [10] realizou o mesmo estudo no Estado do Paraná, alcançando resultados de resistência à tração correlatos, no valor de 500 Mpa, constatando, assim, o potencial de utilização deste materiais como reforço em compósitos poliméricos.

São citadas as principais vantagens e desvantagens da utilização de fibras vegetais como material de reforço em compósitos poliméricos [11]:

Vantagens:

- Baixo peso específico, resultando em uma maior resistência específica e rigidez;
- São provenientes de fontes renováveis, e para sua produção necessita de pouca energia e baixa emissão de CO₂;
- Processo não desgasta ferramentas e não irrita a pele;
- Bons isolantes acústicos e térmicos;
- São biodegradáveis;
- Podem ser recicladas.

Desvantagens:

- Menor resistência, especialmente resistência ao impacto;
- Qualidade varia em função do tempo;
- Baixa resistência à umidade, o que faz com que as fibras inchem;
- Temperatura máxima de processamento restrita;
- Menor durabilidade e baixa resistência ao fogo;

No tocante à matriz polimérica empregada no desenvolvimento de compósitos, uma classificação simples as divide em termorrígidas, termoplásticas e elastômeros, sendo as três possíveis de serem misturadas com fibras vegetais [4].

As primeiras aplicações de compósitos poliméricos como materiais de engenharia utilizavam resinas termorrígidas como matriz - as quais atualmente ainda são amplamente utilizadas na construção civil. A necessidade de alta resistência mecânica conduziu à aplicação de resinas de base poliéster – alquílica e vinílica – e de base epoxídica como matrizes de muitos compósitos para uso em peças estruturais da construção civil. No entanto, quando se trata de compósitos reforçados com fibras vegetais utilizam-se muito mais os polímeros termorrígidos (poliéster, epóxi e fenólico) pela possibilidade de se realizar a polimerização a baixas temperaturas, reduzindo dessa forma, o risco de deterioração das fibras.

As resinas epóxi são muito utilizadas em aplicações estruturais, pois são de fácil manuseio, possuem boa resistência química, térmica e ainda demonstram elevada resistência e módulo de elasticidade. Quando no estado líquido, as resinas epóxi possuem baixa viscosidade, facilitando seu manuseio, podem ser curadas rapidamente na faixa entre 5 a 150°C, dependendo do agente utilizado, e, depois de curadas (dependendo do agente de cura) possuem boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos. Este fato favorece a utilização em inúmeras aplicações tendo como principal, a utilização em compósitos de fibras.

A força de ligação entre a matriz e a fibra reforçadora é um fator determinante no desempenho de muitos compósitos poliméricos. Compósitos com baixa força de ligação matriz/fibra falharão a tensões, relativamente baixas, quando ensaiados transversalmente às fibras. Existe uma série de tratamentos feitos na superfície das fibras com a finalidade de se aumentar a força de ligação entre matriz/fibra. O nível de tratamento aplicado na superfície das fibras em um material compósito pode ter um grande efeito sobre sua resistência mecânica. Estes aspectos relacionados com

o desenvolvimento de compósitos com matriz polimérica são de grande relevância para aplicações nos mais diversos setores da engenharia. Estes aspectos relacionados com o desenvolvimento de compósitos com matriz polimérica são de grande relevância para aplicações nos mais diversos setores da engenharia.

A adesão pode ser atribuída a cinco mecanismos principais que podem ocorrer na interface isoladamente ou em combinação para produzir a ligação fibra/matriz. Dentre os mecanismos, incluem-se [11]:

- Adsorção e molhamento - Quando duas superfícies eletricamente neutras são colocadas em contato, existe uma atração física que pode ser compreendida considerando o molhamento de superfícies sólidas por líquidos. Para um efetivo molhamento da superfície da fibra, o líquido deve cobrir todas as irregularidades da fibra para deslocar todo o ar contido nas reentrâncias da superfície.

- Interdifusão - É a ligação entre duas superfícies poliméricas pela difusão das moléculas de uma superfície sobre a outra. A resistência dependerá da quantidade de entrelaçamento molecular e do número de moléculas envolvidas. A interdifusão ocorre em presença de solventes e agentes plastificantes, e a quantidade de difusão depende da conformação molecular e dos constituintes envolvidos.

- Atração eletrostática - Forças de atração ocorrem entre duas superfícies quando uma delas está carregada positivamente e a outra negativamente, tais como nas interações ácido-base e de ligação iônica. A resistência da ligação dependerá da intensidade das cargas.

- Ligação química - O estudo das ligações químicas está relacionado com o uso de agentes de acoplamento, empregado nas fibras para produzir a ligação entre a fibra e a matriz. A ligação química é formada entre um grupo químico da superfície da fibra e um grupo químico compatível na matriz.

- Adesão mecânica - A ligação pode ocorrer pelo entrelaçamento das duas superfícies. A resistência dessa interface, tensionada, será elevada se existir um grande número de reentrâncias na superfície da fibra, que possam ser preenchidas pela resina, propiciando a adesão. A resistência sofrida por cisalhamento é muito significativa, e depende do grau de rugosidade da superfície da fibra. Os aspectos geométricos não são os únicos fatores que causam adesão mecânica, já que contração da resina durante o processo de cura, e a expansão térmica da fibra e da matriz, produz tensão de compressão e cisalhamento na superfície.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo teve como objetivo principal a confecção de um compósito polimérico, com matriz de resina epóxi a base de Bisfenol F, reforçada de fibras de curauá. Como objetivo específico, foi avaliada a resistência à tração do compósito. As fibras de curauá utilizadas nesta pesquisa vêm da cidade de Santarém, Estado do Pará, Brasil, e foram recebidas do SENAI de Santarém na forma in natura.

Na primeira etapa de desenvolvimento do material, as fibras de curauá foram penteadas (figura 1), para eliminar sujidades ou restos de folhas que pudessem estar presentes na mesma, e cortadas com comprimento de 3 cm. Foram utilizados 5 grupos de fibras de curauá correspondente a 10, 15, 20, 25, 30 % em peso, as quais foram colocadas em uma solução 5% em peso de Hidróxido de Sódio em água destilada durante 4 horas, com o objetivo de melhorar a aderência fibra matriz e obter melhores propriedades mecânicas, como consequência da eliminação da lignina e aparecimento das fibrilas de celulose, além de proporcionar um incremento na rugosidade superficial da fibra[5-8].

Posteriormente, todos os grupos de fibras foram lavados com água destilada diversas vezes, de modo a atingir PH 7, passando, na sequência, por um processo de secagem a temperatura ambiente, por 48 horas, em local fechado, estando as fibras protegidas do sol e chuva.

Após o processo descrito anteriormente, as fibras foram secas numa estufa a 60°C, por 24 horas e, posteriormente, ficaram mais 50 minutos a 100°C, com o propósito de eliminar completamente sua umidade, antes de serem colocadas no molde.

O método utilizado para a produção dos painéis compósitos foi o de laminação manual, onde as fibras foram dispostas conforme a figura 1, e a resina epóxi aplicada gradativamente, de forma manual. A respeito do molde utilizado, é importante salientar que o mesmo é composto por uma placa de cavidade com as dimensões requeridas pela norma NBR 14810 [referenciar], e uma placa com tampa que penetra no molde com uma folga de 0,5 mm, com o objetivo de comprimir os corpos de prova e abrigar o excesso de material que eventualmente venha sair mesmo, de forma que possa deixar uma espessura de 3 mm.

Antes da laminação, as fibras foram posicionadas no molde e cortadas segundo a norma, como pode se observar na (figura 1), onde é possível verificar os

5 grupos de fibras a serem estudadas, com diferentes composições, segundo o planejamento experimental previamente realizado. Foi preparada a mistura segundo as proporções indicadas pelo fabricante (50% resina 50% catalizador), agitando-a constantemente, até atingir uma mistura bem homogênea, e depois foi colocada a primeira parte da resina no molde para depois colocar as fibras como pode se observar na (figura 2).

Posterior a laminação, colocou-se a tampa no molde, pressionando o compósito numa prensa com 4 toneladas durante 8 horas, para assim possibilitar a saída de possíveis gases do interior dos corpos de prova e ajudar no processo de cura da resina (ver figura 3). Depois de transcorrido o tempo de pré-cura, o molde foi colocado numa estufa a 80° C por 8 horas, segundo as especificações do fabricante.



Figura 1: Molde com cavidade e tampa e preparação das fibras no molde.



Figura 2: Processo de laminação.



Figura 3: Colocação da tampa no molde.

Depois do processo de cura todos os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração, a fim de determinar a resistência mecânica de cada compósito e estudar a influencia do conteúdo de fibra na resistência a tração do mesmo. Os ensaios de tração foram realizados numa Máquina Eletromecânica de Ensaio Universal Marca INSTRON, modelo 5984, com célula de carga de 150 KN. Os ensaios foram realizados a uma velocidade de tração de 5mm/min. Na (figura 4a) pode ser observada a colocação do corpo de prova na máquina e na (figura 4b) o momento da ruptura.

Os valores de esforço de tensão obtidos para cada caso se encontram na tabela 1 e na (figura 5), se pode observar o gráfico de tendência da influencia do conteúdo de fibra no esforço de tensão.

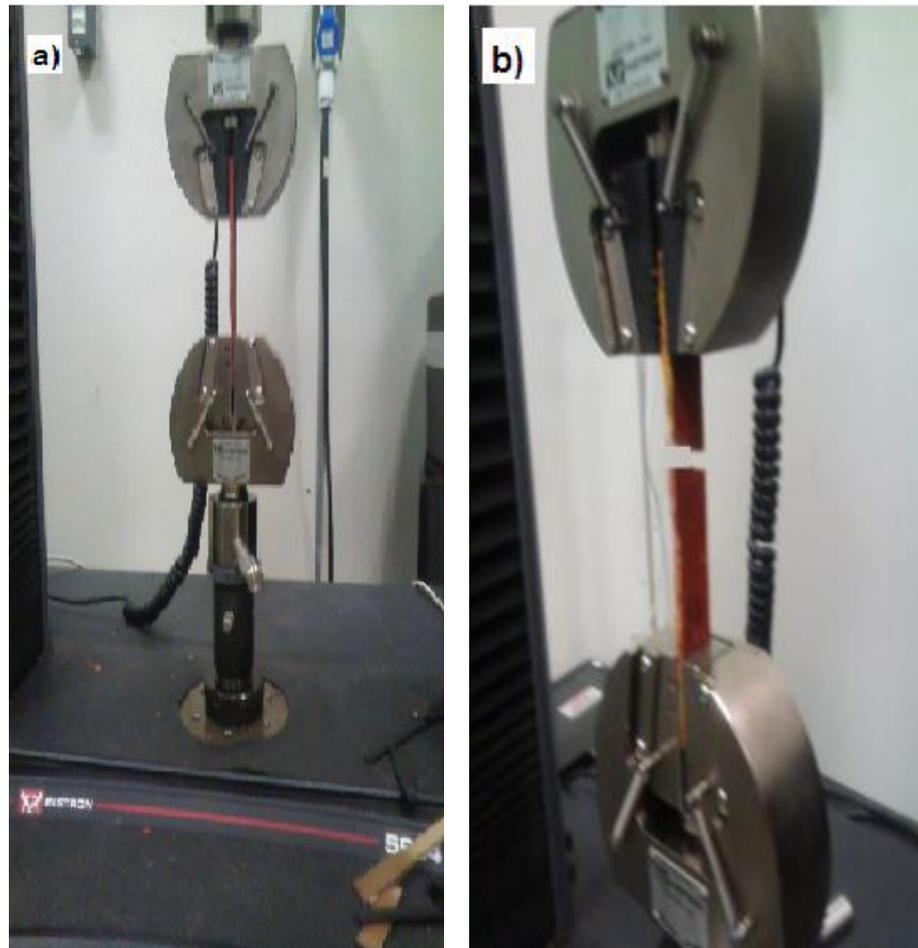


Figura 4: Ensaio mecânico de tração:
a) - Ajuste do corpo de provas nas garras da máquina de tração.
b) - Momento da fratura durante o ensaio de Tração.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos através do ensaio de caracterização mecânica dos compósitos. Com base nos dados, é possível verificar que, quanto maior a porcentagem em peso do material de reforço – fibra de curauá – maiores valores de resistência à tração foram obtidos. A diferença nos resultados de resistência à tração do compósito sem adição de fibra de curauá e com 10% de fibra é de mais de 14%, mostrando que uma pequena adição em peso da fibra confere melhores resultados. Já a diferença no valor de resistência à tração do compósito reforçado com 10% e 30% de fibra é de quase 180%, valor este altamente significativo. A melhora na propriedade mecânica estudada pode ser atribuída à boa aderência fibra-matriz e ao comprimento das fibras de curauá. Como citado

anteriormente neste artigo, a matriz é responsável pela transferência e distribuição da tensão ao reforço – as fibras de curauá – onde estas funcionam como uma barreira à propagação de trincas no compósito.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de tração

Corpo de provas	Fibra de Curauá (%peso)	Resistência a tração (MPa)
1	0	28,72
2	10	32,8
3	15	45,67
4	20	51,36
5	25	75,44
6	30	78,36

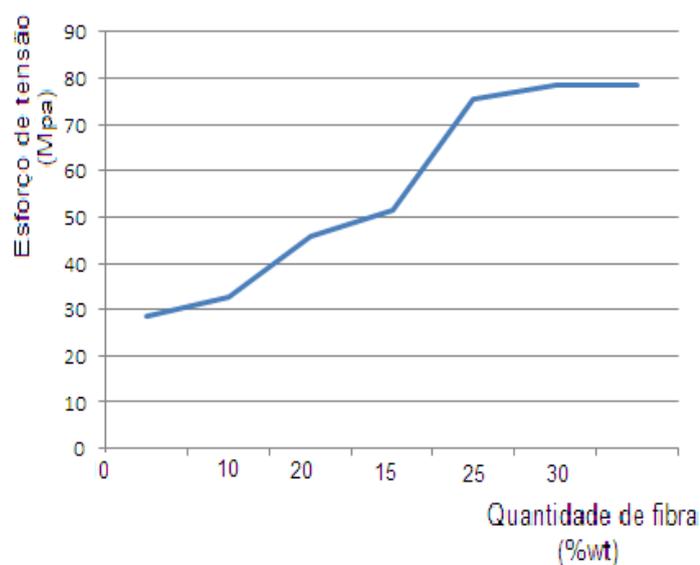


Figura 5: Gráfico da Influencia da quantidade de fibra no esforço de Tensão

O gráfico da figura 5 corrobora as observações concluídas da tabela 1, uma vez que, quanto maior a quantidade em peso da fibra de curauá no compósito produzido, maior os valores de resistência à tração obtidos.

Foi possível constatar também que o tratamento com hidróxido de sódio melhorou a adesão fibra matriz, ocasionando um acréscimo considerável no esforço de tração. O tratamento alcalino utilizado, com solução de hidróxido de sódio (NaOH), tem se destacado por ser um dos métodos mais baratos e favoráveis ao meio ambiente, por gerar um efluente neutro que pode ser descartado diretamente na rede de esgoto. O seu objetivo, além de remover da superfície da fibra as graxas e ceras, oriundas do processamento e manuseio, é promover a remoção parcial da hemicelulose e da lignina, também presentes na superfície da fibra. A remoção parcial da hemicelulose e lignina resulta em um aumento da fração relativa de celulose, que é a principal responsável pela resistência mecânica da fibra.

Após o tratamento alcalino, as fibras adquirem uma maior tensão superficial e menor diâmetro, devido remoção parcial de algumas das fases presentes na superfície das fibras. Isto resulta em uma maior razão de aspecto e superfície de contato com a matriz, aumentando, assim, a adesão interfacial. Como consequência, ocorre uma maior molhabilidade entre os componentes do material compósito.

5. CONCLUSÕES

Considerando-se o desempenho satisfatório obtido através da caracterização mecânica do compósito desenvolvido, é possível concluir que o material apresenta boas propriedades de resistência à tração, comprovando assim seu potencial de utilização em materiais que exijam boa resistência mecânica.

A fibra de curauá, utilizada como reforço, possui boas propriedades mecânicas, conferindo alta resistência ao material desenvolvido.

O processo de tratamento alcalino, utilizado para modificar a superfície das fibras, proporcionou uma melhor interação fibra/matriz resultando, conseqüentemente, em um compósito com melhores características mecânicas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário do Norte, UNINORTE, por possibilitar a realização deste trabalho, e em especial ao Professor Orientador, Gilberto Garcia del Pino, pela paciência e amabilidade para conosco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MENDONÇA, Paulo – “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados”. Tese de Doutorado. Universidade do Minho. 2005.
- [2] BELINI, Ugo Leandro et al. – “Multilayer panel with bamboo particles reinforcement.” *Scientia Forestalis*, v. 42, n. 103, p. 421-427. 2014.
- [3] SARTORI, Diogo de Lucca. – “Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino.” Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. 2012.
- [4] MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A. D. – “Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica”. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 2 p 92-99, 2008.
- [5] NETA, Soares Leal et al.– “Caracterização físico-química de fibras de curauá e sua aplicação em compósitos poliméricos.” *Scientia Amazonia*, v. 4, n. 1, p. 21, 2015.
- [6] MOTHÉ, Cheila G.; ARAUJO, Carla R. de. – “Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá.” *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 14, n. 4, 2004.
- [7] CRAVO, Julio Cesar Machado et al. – “Painel aglomerado de resíduos agroindustriais”. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 3, p. 721-730, 2015.

- [8] RIBEIRO, L. M. et al. – “Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (PALF)”. *Holos*, v. 1, p. 115-126, 2013.
- [9] MONTEIRO, Sergio N. et al. Comportamento mecânico e características estruturais de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas e alinhadas de curauá. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, p. 197-203, 2006.
- [10] TOMCZAK, Fabio. – “Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil”. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2010.
- [11] MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli et al. – “Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos”. Embrapa Instrumentação-Séries anteriores (INFOTECA-E), 1996.