

**PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE RESINA POLIURETANA DE ÓLEO DE MAMONA (*Ricinus Communis* L.) REFORÇADOS COM FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

*Victor Bastos da Silva<sup>1</sup>, Grazielle da Silva Maradini<sup>1</sup>, Márcia Gardinieri de Azevedo<sup>2</sup>, Ananias Francisco Dias Júnior<sup>1</sup> & Michel Picanço Oliveira<sup>1</sup>*

---

**RESUMO**

DA SILVA, V. B.; MARADINI, G. S.; DE AZEVEDO, M. G.; DIAS JÚNIOR, A. F. D.; OLIVEIRA, M. P. Propriedades e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos de Resina Poliuretana de Óleo de Mamona (*Ricinus Communis* L.) Reforçados com Fibras do Bagaço de Cana-de-Açúcar. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharias**, v. 9, n. 26, p. 35-44, 2019.

Um dos grandes desafios da ciência é o desenvolvimento de materiais ambientalmente corretos, e que agridam menos o meio ambiente. Neste contexto, surgem diversos estudos e aplicações de materiais naturais em substituição aos sintéticos. Os compósitos poliméricos de resinas termorrígidas reforçados com fibras naturais já são empregados em diferentes ramos da indústria. Neste trabalho, buscou-se integrar as fibras do bagaço de cana-de-açúcar como reforço de compósitos poliméricos a base de resina de óleo de mamona (*Ricinus communis* L.).

Quantidades diferentes de fibras foram adicionadas (10%, 20% e 30% v/v) à matriz polimérica. Foram realizadas caracterizações físicas e mecânicas nos compósitos a fim de estudar a interação fibra/matriz. Realizou-se ensaios mecânicos de flexão e de inchamento. Notou-se que os compósitos reforçados com 30% de fibra apresentaram a maior resistência à flexão. Não foi observada uma relação entre a absorção de água e a proporção de fibras adicionadas aos compósitos, o que demonstra bom cobrimento das fibras pela matriz.

**Palavras-chave:** Flexão; Absorção de Água; Madeira Plástica; Inchamento.

---

**ABSTRACT**

One of the major challenges of science is the development of eco-friendly materials that cause less damage to the environment, requiring studies and applications of natural materials to replace synthetic materials. Polymeric composites of thermoset resins reinforced with natural fibers are used in different industrial segments. This research, the aim was to integrate sugarcane bagasse fibers as reinforcement of polymeric composites composed of *Ricinus Communis* L. oil resin. Different fiber proportions were added (10%, 20% and 30% v/v) to the

polymer matrix. Physical and mechanical characterizations were performed in the composites in order to study the fiber/matrix interaction. The mechanical tests of flexion and swelling were performed. It was observed that the composites reinforced with 30% of sugarcane bagasse fibers had the highest flexural strength. No detected relationship was detected between the water absorption and the proportion of sugarcane bagasse fibers added to the composites, which shows good interaction of the fibers with the polymer matrix.

**Keywords:** Bending; Water Absortion; Plastic Wood; Swelling.

---

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo – UFES – DCFM, Alto Universitário, S/N Guararema, Alegre, ES, CEP: 29500-000, Brasil;

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF – Laboratório de Materiais Avançados - LAMAV/CCT - Av. Alberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28013-602, Brasil.

(\*) e-mail: [michelpicanco@gmail.com](mailto:michelpicanco@gmail.com)

Data de recebimento: 26/11/2019. Aceito para publicação: 08/12/2019.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo (CONAB, 2018). Essa elevada produção resulta em uma alta quantidade de rejeitos, principalmente, o bagaço da cana de açúcar. Diante disso, este trabalho buscou suprir um dos desafios ambientais da indústria da cana-de-açúcar que é conseguir um destino de maior valor agregado para o seu principal subproduto, o bagaço (MARTINS et al., 2014).

O crescimento da atividade industrial trouxe graves problemas ambientais. A população mundial tem se tornado cada vez mais ciente dos riscos que estes problemas apresentam para a manutenção da vida humana no planeta. A fim de minimizar os danos ao meio ambiente, as empresas tem buscado empregar em seus produtos materiais ecologicamente corretos, como os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais (ALVES et al., 2010; QUINTANA et al., 2018; JOHN e THOMAS, 2008; EICHHORN et al., 2001; MOHANTY e MISRA, 2002). As fibras naturais têm ganhado a atenção de empresas e estudos científicos, pois seu uso como matéria prima resulta em produtos que geram menor impacto ao meio ambiente com propriedades requeridas para diversas aplicações (CROCKER, 2008; DE JESUS, 2019; EICHHORN et al., 2001; JOHN; THOMAS, 2008; MOHANTY; MISRA, 2002; NETRAVALI e CHABBA, 2003; QUINTANA et al., 2018).

Quando comparadas às sintéticas, as fibras naturais apresentam algumas vantagens: são recicláveis, biodegradáveis, não são tóxicas, apresentam baixo custo, isolamento térmico e algumas vezes exibem melhores propriedades mecânicas, como a resistência à tração e o módulo de elasticidade (CROCKER, 2008; EICHHORN et al., 2001; MOHANTY e MISRA, 2002; NETRAVALI e CHABBA, 2003). Porém, as aplicações de compósitos reforçados com fibras vegetais ainda não são expressivas, o que pode ser explicado pela fraca ligação entre a fibra e o polímero, devido à natureza hidrofílica da fibra e hidrofóbica do polímero. A interação da fibra com o polímero pode ser melhorada com tratamentos físicos e químicos, ou alteração na matriz polimérica utilizada, atualmente as mais empregadas nestes compostos são as termofixas, como epóxi e poliéster (CROCKER, 2008; EICHHORN et al., 2001; FERNANDES MANO e REIS, 2013; JOHN e THOMAS, 2008; LATIT, MAYANK e ANKUR, 2018; MOHANTY e MISRA, 2002; NETRAVALI e CHABBA, 2003).

A matriz polimérica utilizada neste trabalho foi a poliuretana extraída do óleo vegetal de mamona (*Ricinus communis* L.), abundantemente encontrado no Brasil, além da busca por uma matriz de origem vegetal em substituição as sintéticas, o que traz grandes benefícios ao meio ambiente, a utilização desta também tem por objetivo melhorar as propriedades relacionadas a interação fibra/matriz nos compósitos.

Segundo estudo realizado por Calegari et al. (2017), a poliuretana apresenta resistência à tração muito baixa quando comparada ao poliéster, porém ao adicionar reforços à matriz, o poliéster torna-se menos resistente e a poliuretana mais resistente. Quanto à resistência ao impacto, a poliuretano apresenta resistência superior ao poliéster, tendo a capacidade de absorver mais energia durante a fratura.

Neste trabalho foi analisada a interação entre as fibras de cana-de-açúcar (*Saccharum Andropogoneae*) com a resina produzida do óleo da mamona (*Ricinus communis* L.) por meio do estudo das propriedades mecânicas e físicas.

## 2. METODOLOGIA

Para preparação dos compósitos foram utilizadas fibras do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum Andropogoneae*) proveniente de uma usina da produção de açúcar, situada na cidade de Campos dos Goytacazes, Estado do RJ. A resina fornecida para o preparo do poliuretano consiste em dois componentes conforme mostrado pela Figura 1. Identificado como componente A tem-se um pré-polímero sintetizado pela mistura do polioli extraído do óleo da mamona com diisocianato, já o componente B é composto somente pelo polioli. A mistura desses componentes foi realizada conforme as recomendações do fabricante, ou seja, para cada 2,3 g do componente A foram adicionados 2,7 g do componente B.



Figura 1: Resinas para o preparo poliuretano vegetal.

Depois de seco a peso constante o bagaço de cana utilizado foi moído em moinho de facas até atingir tamanho variando de 6,5 a 8 mm de comprimento. Para limpeza da superfície as fibras foram deixadas em uma solução de cloro de concentração  $0,14 \text{ mol L}^{-1}$  durante 12 horas. Em seguida, as fibras foram lavadas em água destilada e secas em uma estufa por 24 horas a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Para preparação dos compósitos as fibras foram misturadas manualmente na resina quando esta apresentava-se em estado fluido e depois vertidas em um molde metálico, as fibras não foram alinhadas em nenhuma orientação preferencial. Os compósitos tiveram o processo de cura realizado sob pressão de 100 kPa em uma prensa hidráulica por 36 horas. Com o objetivo de avaliar a influência das fibras na resistência a flexão dos compostos, estes foram fabricados com diferentes composições, 0, 10, 20, 30% em volume de fibra.

Para análise das propriedades foram realizados ensaios de flexão, de inchamento e absorção d'água conforme as respectivas normas, ASTM D790 (2017) e NBR 14810 (2018). Para cada análise foram utilizados 5 corpos de prova em cada uma das composições, com dimensões determinadas pelas respectivas normas, o ensaio de flexão foi realizado em uma máquina de ensaio universal Instron modelo 5582, para a determinação da absorção e do inchamento foi utilizada uma balança digital de precisão 0,001 g. Os compósitos produzidos com as diferentes proporções de fibras são apresentados na Figura 2.

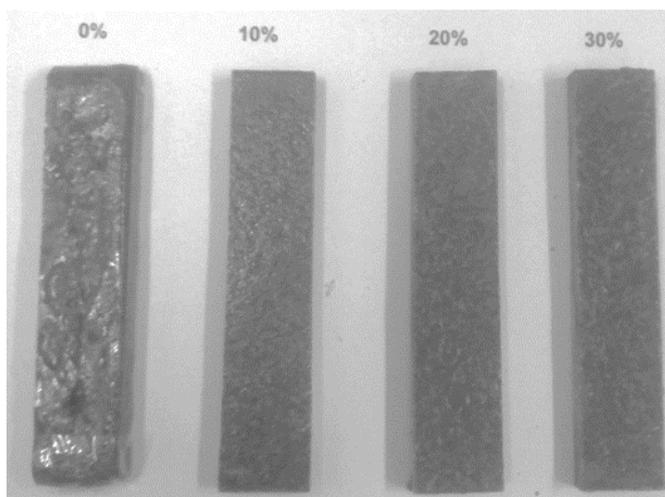


Figura 2: Corpos de prova de compósito de resina de poliuretano reforçados com bagaço de cana de açúcar em diferentes composições.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão sendo apresentados os resultados obtidos nos ensaios de flexão para as diferentes composições dos compósitos.

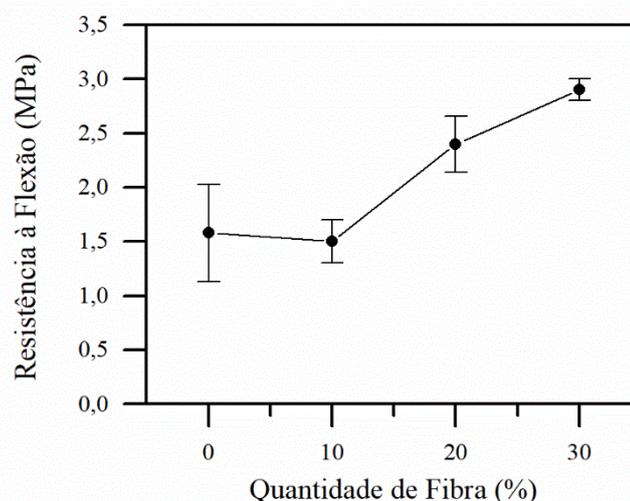


Figura 3: Relação entre a tensão na flexão com a proporção de fibra de cana de açúcar, em que as barras representam o desvio padrão amostral.

Observa-se que com o aumento da quantidade de fibras, houve um aumento da resistência à flexão (Figura 2). Os corpos de prova de 0% foram os únicos que durante o ensaio não se romperam, caracterizando um ensaio de dobramento. Isso indica que as fibras estão contribuindo para o desenvolvimento do processo de polimerização da resina.

A partir da Figura 3, observa-se que houve uma diminuição na resistência à flexão nos corpos de prova com adição de 10% de fibras do bagaço da cana-de-açúcar na matriz polimérica. Segundo Abdul Khalil et al. (2007), geralmente a resistência dos corpos de prova diminui com a adição de uma pequena quantidade de fibras, isso pode ocorrer devido à baixa dispersão das fibras e a pouca transferência de carga, de modo que a fibra se comporta como um defeito no material e não como agente de reforço, confirmando os resultados obtidos neste trabalho.

Com a adição de maiores quantidades de fibra (20% e 30%) na matriz polimérica houve um significativo aumento da resistência à flexão, demonstrando que essas quantidades são suficientes para garantir o reforço mecânico nos materiais estudados. O melhor valor de tensão na flexão dentro do intervalo de composição estudado foi obtido com a adição de 30% de fibras alcançando um ganho real em torno de 75% de resistência se comparado com a resina pura.

Segundo trabalho realizado por Norizan, Abdan e Salit et al. (2017) no qual avaliou-se as propriedades físicas, mecânicas e térmicas de compósitos de matriz insaturada de poliéster reforçados com fibras da cana de açúcar, as quantidades de fibra adicionadas à matriz variaram de 10% a 50% em peso e obteve-se como valor ótimo no incremento à tensão na flexão a adição de 30% de fibras. A resistência à flexão diminuiu após a adição de cargas de fibra maiores ou iguais a 40% em peso, devido ao aumento das interações fibra-fibra e a insuficiência da matriz para revestir as fibras, resultando em uma baixa transferência de tensões mecânicas (ANAND et al., 2018).

O aumento de resistência mecânica dos materiais compósitos reforçados com fibras se dá devido à interação fibra-matriz. A dificuldade em obter resultados favoráveis em testes de flexão de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais está na baixa interação das fibras com a matriz. A fim de melhorar a ligação interfacial entre as fibras e a matriz e para reduzir a umidade de absorção, geralmente são feitos tratamentos superficiais nas fibras. Estudo realizado por Anand et al. (2018) mostra que compósitos de epóxi reforçados com fibras naturais híbridas de Juta e Kenaf tratadas quimicamente, tiveram um aumento de 15% de resistência à flexão em comparação com a amostra não tratada, demonstrando que os tratamentos alcalinos têm um efeito significativo na tensão à flexão dos materiais.

Nesse estudo, não se realizou tratamento químico nas fibras e obteve-se o incremento de resistência à flexão em torno de 75%, indicando que houve uma boa interação entre as fibras do bagaço de cana-de-açúcar e a matriz polimérica de poliuretano. Ainda cabe ressaltar que as fibras foram adicionadas à matriz sem alinhamento preferencial, o que torna este compósito um material isotrópico.

A Figura 4 relaciona o módulo de elasticidade com a fração de fibras nos compósitos.

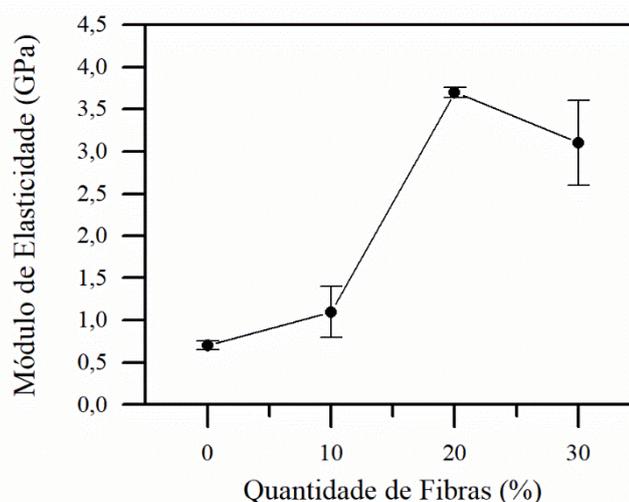


Figura 4: Relação entre o módulo de elasticidade com a quantidade de fibra nos compósitos.

Percebe-se uma relação direta do aumento do módulo de elasticidade e a quantidade de fibra por volume. Os compósitos poliméricos reforçados com maior quantidade de fibra em seu volume, no caso os de 20 e 30%, apresentaram maior rigidez. Nota-se um acréscimo substancial (em torno de 700%) nos módulos de elasticidade dos compósitos com 20 e 30% de fibras, podendo ser explicado pela ligação interfacial matriz/fibra, também pela evolução do processo de polimerização, pois, as fibras podem estar atuando como pontos nucleantes no processo de polimerização. Cabe ressaltar que o efetivo reforço das fibras em um compósito somente é alcançado quando o tamanho das fibras é superior ao tamanho crítico (BONELLI et al., 2003). No trabalho de Martins et al. (2014), compósitos de matriz epóxi foram reforçados com fibras contínuas de cana de açúcar e o resultado em relação as propriedades mecânicas foram deletérias, mesmo se tratando de fibras com mais de 10 cm de comprimento e alinhadas. Isto deixa evidente que há uma evolução no processo de interação fibra/matriz em se tratando da matriz de poliuretano o que ressalta a importância do presente trabalho.

Na Figura 5 estão dispostos os resultados dos ensaios de inchamento.

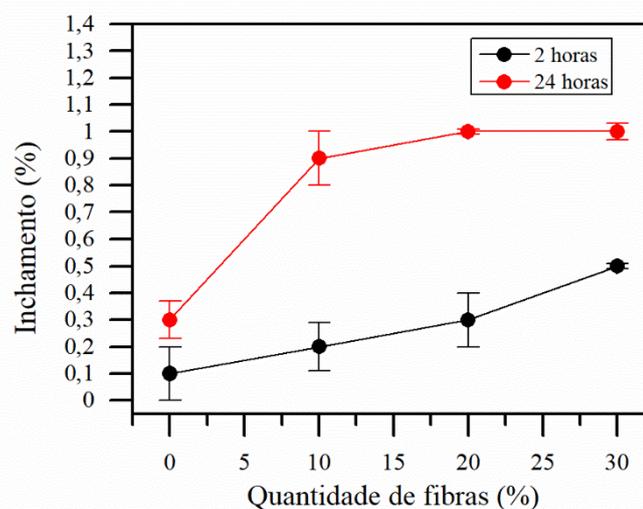


Figura 5: Gráfico da correlação do inchamento com as quantidades relativas de fibra em diferentes tempos de imersão.

Nota-se que com o aumento da concentração de fibras nos compósitos, houve um maior inchamento nos materiais. A baixa resistência à absorção das fibras, deve-se principalmente à presença dos grupos polares que atraem as moléculas de água por meio de pontes de hidrogênio. Esse fenômeno resulta em um inchaço das fibras (ABDUL KHALIL et al., 2007).

Com o aumento da fração de fibras, nota-se o aumento da absorção de água. Nos corpos de prova de 0% houve um inchamento de 0,1% em 2 horas e 0,3% em 24 horas. Foi a menor absorção dentre todos corpos de prova. Os corpos de provas de 10% apresentaram absorção de 0,2% em 2 horas e 0,9% em 24 horas.

Os corpos de prova de 20% e 30% tiveram uma maior absorção de água, isso se dá pela natureza altamente hidrofílica da fibra de cana de açúcar, devido ao grupo hidroxila livre presente nas estruturas da celulose e lignina (ISMAIL et al., 2003). No entanto, observa-se que o inchamento máximo foi de apenas 1% o que torna esse material aceitável para diversas aplicações, pois não apresenta absorção de água, como os produtos madeireiros por exemplo.

No gráfico da Figura 6 são apresentados os resultados do ensaio de absorção de água.

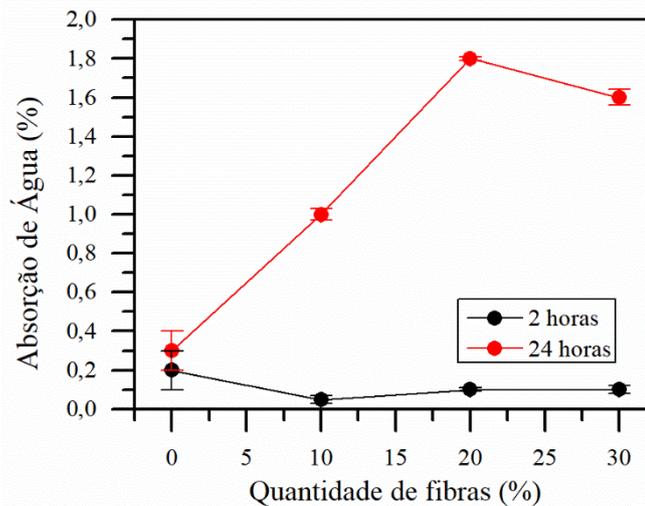


Figura 6: Gráfico da correlação da absorção de água com as quantidades relativas de fibra em diferentes tempos de imersão.

A absorção de água teve um acréscimo com a evolução do tempo de imersão também com o aumento da quantidade de fibra por volume. No entanto é importante mencionar que os valores máximos de absorção alcançados foram de 1,8%, o que ressalta o bom cobrimento das fibras pela resina polimérica, viabilizando assim a utilização destes compósitos mesmo em ambientes úmidos.

#### 4. CONCLUSÕES

A incorporação de fibras de cana em compósitos poliméricos de resina de óleo de mamona promoveu aumento na rigidez, principalmente para os compósitos com 20% de fibra. Com o aumento da proporção de fibras, houve um aumento da resistência mecânica em torno de 75 % para os compósitos com 20% de fibras.

Também se elevou a absorção de água, mesmo que para patamares estatisticamente insignificativos. Os corpos de prova com maior absorção de água foram os de 20%, com 0,3% de absorção, e 30%, com 0,5% de absorção. Os polímeros produzidos unicamente com resina obtiveram a menor quantidade de água absorvidas.

A utilização da resina poliuretana mostrou-se promissora no que tange as propriedades mecânicas e físicas estudadas neste trabalho, principalmente se comparada às resinas termofixas mais utilizadas neste tipo de material.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPES e ao CNPq pelo apoio à presente pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

ABDUL KHALIL, H. P. S.; HANIDA, S.; KANG, C. W.; NIK FUAAD, N. A. Agro-hybrid composite: The effects on mechanical and physical properties of oil palm fiber (EFB)/glass hybrid reinforced polyester composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 26, n. 2, p. 203–218, 2007. DOI: 10.1177/0731684407070027.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Painéis de partículas de média densidade Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 14810. Rio de Janeiro, 2018;

ALVES, C.; FERRÃO, P. M. C.; SILVA, A. J.; et al. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 4, p. 313–327, 2010. DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.10.022.

ANAND, P.; RAJESH, D.; SENTHIL KUMAR, M.; SARAN RAJ, I. Investigations on the performances of treated jute/Kenaf hybrid natural fiber reinforced epoxy composite. **Journal of Polymer Research**, v. 25, n. 4, p. 1-9, 2018. DOI: 10.1007/s10965-018-1494-6.

ARIB, R. M. N.; SAPUAN, S. M.; AHMAD, M. M. H. M.; PARIDAH, M. T.; KHAIRUL ZAMAN, H. M. D. Mechanical properties of pineapple leaf fibre reinforced polypropylene composites. **Materials and Design**, v. 27, n. 5, p. 391–396, 2006. DOI: 10.1016/j.matdes.2004.11.009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials: ASTM D790**. West Conshohocken, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials: ASTM D790**. West Conshohocken, 2017.

BONELLI, C. M. C., A. ELZUBAIR., H. R. MARTINS., J. C. MIGUEZ SUAREZ & E. B. MANO. Utilização de fibras de piaçava como reforço em compósitos de matriz polimérica reciclada. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 58, 2003, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: 2003.

CALEGARI, E. P.; PORTO, J. S.; ANGRIZANI, C. C.; et al. Reuse of waste paper and rice hulls as filler in polymeric matrix composites. **Revista Materia**, v. 22, n. 2, 2017. DOI: 10.1590/s1517-707620170002.0179.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de açúcar**. Brasília: CONAB, 2018. v. 1, 62p. Disponível em: <[https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17727\\_4e54c5103a0ab4a15529e35307c79b2e](https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17727_4e54c5103a0ab4a15529e35307c79b2e)>. Acesso em 18 de Novembro de 2019.

CROCKER, J. Natural materials. **Materials technology**, v. 23, n. 3, p. 174-178, 2008. DOI: 10.1179/175355508X373378.

DE JESUS, L. C. C.; DA LUZ, S. M.; LEÃO, R. M.; ZATTERA, A. J.; AMICO, S. C. Thermal properties of recycled polystyrene composite reinforced with cellulose from sugarcane bagasse. **Revista Materia**, v. 24, n. 3, 2019. DOI: 10.1590/s1517-707620190003.0736.

EICHHORN, S. J.; BAILLIE, C. A.; ZAFEIROPOULOS, N.; et al. Current international research into cellulosic fibres and composites. **Journal of Materials Science**, v. 36, n. 9, p. 2107–2131, 2001. DOI: 10.1023/A:1017512029696.

FERNANDES, E. M.; MANO, J. F.; REIS, R. L. Hybrid cork-polymer composites containing sisal fibre: Morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties and tensile failure prediction. **Composite Structures**, v. 105, p. 153–162, 2013. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/j.compstruct.2013.05.012.

ISMAIL, H.; HONG, H. B.; PING, C. Y.; ABDUL KHALIL, H. P. S. Polypropylene/Silica/Rice Husk Ash Hybrid Composites: A Study on the Mechanical, Water Absorption and Morphological Properties. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 16, n. 2, p. 121–137, 2003. DOI: 10.1106/089270503025871.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 343–364, 2008. DOI: 10.1016/j.carbpol.2007.05.040.

LALIT, R.; MAYANK, P.; ANKUR, K. Natural fibers and biopolymers characterization: A future potential composite material. **Journal of Mechanical Engineering**, v. 68, n. 1, p. 33–50, 2018. DOI: 10.2478/scjme-2018-0004.

MARTINS, A. L. B. S.; GOUVÊA, R. DE A.; OLIVEIRA, M. P.; CÂNDIDO, V. S.; MONTEIRO, S. N. Characterization of epoxy matrix composites incorporated with sugarcane bagasse fibers. **Materials Science Forum**, v. 775–776, p. 102–106, 2014. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.775-776.102.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources in Green Materials World. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 10, n. April, p. 19–26, 2002. DOI: 10.1023/A:1021013921916.

NETRAVALI, A. N.; CHABBA, S. Composites get greener. **Materials Today**, v. 6, n. 4, p. 22–29, 2003. DOI: 10.1016/S1369-7021(03)00427-9.

NORIZAN, M. N.; ABDAN, K.; SALIT, M. S.; MOHAMED, R. Physical, mechanical and thermal properties of sugar palm yarn fibre loading on reinforced unsaturated polyester composites. **Journal of Physical Science**, v. 28, n. 3, p. 115–136, 2017. DOI: 10.21315/jps2017.28.3.8.

QUINTANA, A.; ALBA, J.; DEL REY, R.; GUILLÉN-GUILLAMÓN, I. Comparative Life Cycle Assessment of gypsum plasterboard and a new kind of bio-based epoxy composite containing different natural fibers. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 408–420, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.042.