



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**OBTENÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS A PARTIR DE RESÍDUO
AGROENERGÉTICO: CASO DO APROVEITAMENTO DA
PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Aluna: Camila Rosa da Silva Takada

Orientador: Juan Carlos Valdés Serra

PALMAS – TO

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**OBTENÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS A PARTIR DE RESÍDUO
AGROENERGÉTICO: CASO DO APROVEITAMENTO DA
PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

Aluna: Camila Rosa da Silva Takada

Orientador: Juan Carlos Valdés Serra

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Agroenergia.

PALMAS – TO

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- T136o Takada, Camila Rosa da Silva .
Obtenção de materiais compósitos a partir de resíduo agroenergético:
caso do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar. / Camila Rosa da Silva
Takada. – Palmas, TO, 2014.
80 f.
- Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Agroenergia, 2014.
Orientador: Juan Carlos Valdés Serra
1. Materiais compósitos. 2. Palha da cana-de-açúcar. 3. Resíduos
agroenergéticos. 4. Cana-de-açúcar. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



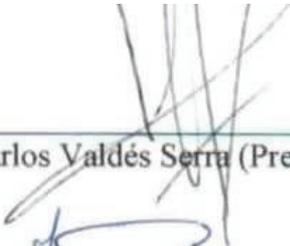
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**OBTENÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS A PARTIR DE RESÍDUO
AGROENERGÉTICO: CASO DO APROVEITAMENTO DA
PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR**

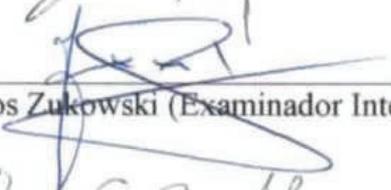
ALUNA: CAMILA ROSA DA SILVA TAKADA

Data da Defesa: 25 de Julho de 2014

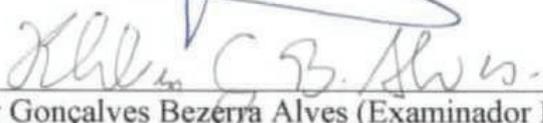
As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da Dissertação foram contempladas.



Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (Presidente- UFT)



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski (Examinador Interno - UFT)



Prof. Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves (Examinador Externo- UFPE)

*Aos meus pais
Ao meu filho
Ao meu irmão*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Leni Rosa da Silva Takada e Luís Carlos Takada pelo esforço, dedicação e compreensão em todos os momentos desta e de outras caminhadas, e que com muito amor e carinho, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui.

Ao meu filho Luís Fernando Takada por todos os sorrisos, amor e carinho.

Ao meu irmão, Luís Pedro Takada por ser um exemplo a seguir, batalhador, estudioso, companheiro, por ser o irmão mais fantástico do mundo.

Ao meu amigo, namorado, companheiro, Kaio César de Assis Borba, por todas as alegrias compartilhadas, pela paciência, pelas viagens, pelo amor, carinho e atenção e por estar sempre ao meu lado, em todos os momentos.

Ao Professor Doutor Juan Carlos Valdés Serra por ter-me orientado em toda a realização deste trabalho.

À Antônia Clemilda por ter-me auxiliado e apoiado durante minha pesquisa.

Ao Laboratório de Biotecnologia, em nome do Professor Doutor Waldesse Piragé Júnior e da Técnica de Laboratório Gizela, por ter auxiliado emprestando equipamentos.

A todos os professores do Programa de Mestrado em Agroenergia, em especial ao Professor Doutor Joel Carlos Zukowski Junior por ter-me auxiliado no decorrer deste projeto de pesquisa.

Ao Capes/CNPQ pela bolsa concedida.

A todos que colaboraram com o desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

Uma das alternativas para aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira é a utilização do etanol. Este pode ser obtido a partir de diversas matérias primas, que no Brasil destaca-se a produção a partir da cana de açúcar. No processo de produção de etanol há vários resíduos que já vem sendo utilizados como co-produtos. De acordo com a literatura é reduzido o volume de estudos acerca do aproveitamento da palha da cana de açúcar como elemento de viabilização para cadeia produtiva. Uma das alternativas para sua utilização seria a fabricação de novos materiais compósitos. Esses materiais são uma alternativa interessante para a substituição dos materiais sintéticos amplamente utilizados pela sociedade atual, pois, além de apresentarem menor custo de produção pode reduzir a poluição causada pelos materiais sintéticos. Diante do exposto, este trabalho propõe a produção de materiais compósitos confeccionados a partir de um resíduo agroenergético da produção de etanol, a palha da cana-de-açúcar, juntamente com resina. Foram produzidos materiais com diferentes proporções de palha/resina (50/50, 30/70 e 10/90). Para a caracterização do novo material obtido foram realizados testes de densidade, umidade, absorção de água e inchamento, ensaios de compressão e flexão estática. Os resultados mostraram que os materiais obtidos apresentam propriedades físicas satisfatórias. Quanto às propriedades mecânicas, a tensão de ruptura atingiu valores entre 0,21 e 1,3 MPa, o módulo de elasticidade variou entre 760,77 e 2.500,20 MPa e o módulo de ruptura entre 1,19 a 4,17 MPa.

Palavras-chave: Materiais compósitos, palha da cana-de-açúcar, resíduos agroenergéticos.

ABSTRACT

One of the alternatives for increasing the participation of renewable sources in the Brazilian energy matrix is the use of ethanol. This can be obtained from various raw materials, which in Brazil is the production from sugarcane that stands out. In the ethanol production process there are several waste which has been used as co-products. According to the literature about GMPs, practically no studies exist on sugarcane straw as an element of feasibility to production chain. One of the alternatives for its use would be the manufacture of new composite materials. These materials are an interesting alternative to the replacement of synthetic materials widely used by current society, because, besides having a lower cost of production, it can also reduce pollution by synthetic materials. Given the above, this paper proposes the production of composite materials made from a agro-energy residue in the production of ethanol from sugarcane straw, along with resin. Materials were produced with different proportions of straw/resin (50/50, 30/70 and 10/90). For the characterization of the new material obtained were performed tests of density, humidity, water absorption and swelling, compression and bending. The results showed that the materials obtained have satisfactory physical properties. Regarding mechanical properties, the breakdown voltage reached values between 0.21 and 1.3 MPa, the modulus of elasticity ranged between 2,500 and 760.77 MPa and the modulus of rupture between 1.19 to 4.17 MPa.

Keywords: composite materials, sugarcane straw, agro-energy residues.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 ETANOL.....	4
3.2 CANA-DE-AÇÚCAR.....	5
3.3 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	8
3.3.1 Compósitos de partículas de madeiras	9
3.3.2 Fibras de Reforço para Compósitos	12
3.4 RESINAS USUAIS EM COMPÓSITOS COM FIBRAS NATURAIS	16
3.4.1 Resina Uréia Formaldeído	17
3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS MATERIAIS	18
3.5.1 Propriedades Físicas dos Materiais	19
3.5.2 Propriedades Mecânicas dos Materiais	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 MATERIAIS.....	25
4.2 MÉTODOS	28
4.2.1 Caracterização do Resíduo	28
4.2.2 Confeção dos Materiais Compósitos.....	31
4.2.3 Determinação das Propriedades Físicas dos Compósitos.....	35
4.2.4 Determinação das Propriedades Mecânicas dos Compósitos	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Caracterização do Resíduo.....	41
5.2 Caracterização do Compósito	44

5.2.1 Determinação das Propriedades Físicas do Compósito	45
5.2.2 Determinação das Propriedades Mecânicas do Compósito	53
6. CONCLUSÕES	58
7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cana-de-açúcar.....	6
Figura 2. Produção de cana-de-açúcar no Tocantins.....	7
Figura 3. Classificação dos compósitos.....	9
Figura 4. Disposição das fibras nos materiais compósitos.....	12
Figura 5. Quantidade de pesquisas sobre materiais compósitos com reforço de fibras naturais.....	14
Figura 6. Estrutura típica da cana-de-açúcar.....	15
Figura 7. Estrutura do polímero uréia formaldeído.....	17
Figura 8. Diagrama tensão-deformação. Deformação elástica (a) e plástica(b).....	21
Figura 9. Peça comprimida.....	22
Figura 10. Peça tracionada.....	22
Figura 11. Peça submetida à flexão.....	24
Figura 12. Flexão simples.....	24
Figura 13. Flexão composta.....	24
Figura 14. Sistema de limpeza a seco.....	25
Figura 15. Palha de cana-de-açúcar.....	26
Figura 16. Redemite.....	26
Figura 17. Endurecedor G.....	27
Figura 18. (a) Estufa, (b) balança, (c) dessecador e (d) amostras do resíduo utilizados na determinação de umidade e matéria seca.....	29
Figura 19. (a) Mufla, (b) amostras e (c) dessecador utilizados na determinação do teor de cinzas no resíduo – palha de cana-de-açúcar.....	30
Figura 20. Lavagem (a) e secagem (b) da palha da cana-de-açúcar.....	31
Figura 21. Moinho de facas(a) e palha triturada (b).....	32
Figura 22. Testes para determinação da proporção de água.....	32
Figura 23. Mistura de componentes.....	33
Figura 24. Molde metálico utilizado na preparação dos compósitos.....	33
Figura 25. Prensa hidropneumática.....	34
Figura 26. Termomoldagem dos compósitos.....	34
Figura 27. Pontos de medição da espessura no corpo-de-prova.....	35
Figura 28. Ensaio de inchamento e absorção.....	37

Figura 29. Ensaio de compressão	38
Figura 30. Ensaio de resistência à flexão	39
Figura 31. Quantificação da massa da palha da cana-de-açúcar.	43
Figura 32. Densidade média dos compósitos.....	45
Figura 33. Densidade dos compósitos	46
Figura 34. Umidade dos compósitos.	47
Figura 35. Inchamento em espessura dos compósitos.	49
Figura 36. Inchamento em espessura dos compósitos.	50
Figura 37. Absorção de água nos compósitos.	51
Figura 38. Absorção de água nos compósitos.	51
Figura 39. Força de ruptura e tensão de ruptura dos compósitos.	54
Figura 40. Força de ruptura e tensão de ruptura dos compósitos.	54
Figura 41. Módulo de ruptura e de elasticidade para os compósitos.....	56
Figura 42. Resistência específica e força de ruptura dos materiais compósitos. ..	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Balanço de energia na produção de etanol	4
Tabela 2. Produção de etanol no Tocantins.	5
Tabela 3. Produção de cana-de-açúcar no Tocantins.	7
Tabela 4. Comparação entre características de fibras naturais e sintéticas.	13
Tabela 5. Características da Redemite	27
Tabela 6. Características do endurecedor G	27
Tabela 7. Densidade da palha da cana-de-açúcar.	41
Tabela 8. Teor de umidade da palha da cana-de-açúcar.	42
Tabela 9. Teor de matéria seca na palha da cana-de-açúcar.	43
Tabela 10. Densidade de alguns compósitos com fibras naturais.	46
Tabela 11. Teor de umidade dos compósitos.	47
Tabela 12. Teor de umidade de alguns compósitos com fibras naturais.	48
Tabela 13. Inchamento em espessura	48
Tabela 14. Absorção de água.....	50
Tabela 15. Valores de inchamento em espessura e absorção de água	53
Tabela 16. Resultados das análises físicas.....	53
Tabela 17. Valores médios do módulo de ruptura e de elasticidade dos compósitos.	55
Tabela 18. Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.	57

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o interesse em energias renováveis e em materiais provenientes de fontes naturais vem crescendo devido à preocupação com os impactos ambientais e o desenvolvimento sustentável, desta maneira a busca por novas matérias-primas e produtos cresceu significativamente.

A bioenergia é um importante segmento das energias renováveis, e é cada vez mais representativa entre as matrizes energéticas mundiais. Uma preocupação crescente é a destinação de resíduos do processo produtivo desses biocombustíveis, biodiesel e etanol (LEMOS; STRADIOTTO, 2012).

Sendo assim, já estão sendo estudadas formas de reaproveitamento desses resíduos para substituir os materiais sintéticos utilizados na fabricação de materiais compósitos, ou seja, a combinação de dois ou mais materiais para formar um terceiro material com propriedades específicas.

Cada vez mais a necessidade de produzir e comercializar compósitos baseados em constituintes de origem natural se torna urgente, visto que minimizará a dependência de materiais provenientes de fontes não renováveis, (JOSHI *et al.*, 2004). Essa substituição dos materiais sintéticos é interessante, pois além dos benefícios ecológicos, com a redução dos impactos ambientais negativos, também propicia benefícios sociais e econômicos (MOHANTY *et al.*, 2004).

Neste contexto, surgem as fibras naturais (resíduos da bioenergia) para serem empregadas como reforço dos compósitos. Elas são recomendadas devido ao baixo custo, grande disponibilidade e também por ser matéria-prima proveniente de um recurso renovável (RAZERA, 2006).

A Agroindústria brasileira apresenta diversos resíduos (fibras naturais) que podem ser reaproveitados para a produção de compósitos, como pode ser observado em Gomes (2011) e Oliveira (2012), que produziram compósitos a partir do resíduo do pinhão manso; em Barros Filho (2009), Freire *et al.* (2011) e Superbia e De Paula (2011) que realizaram pesquisa com o resíduo da cana, em

Assmann (2009) que confeccionou novos materiais com mamona e Jesus (2008) e Moraes, *et al.* (2006) que desenvolveram pesquisas com fibras de coco.

O Brasil, como líder mundial de produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, produz uma enorme quantidade de resíduos em seu processo produtivo, sendo os principais: a vinhaça, o bagaço e a palha. A vinhaça é utilizada para fertirrigação, o bagaço é utilizado para co-geração de energia e como ração animal, e a palha é utilizada para adubação do canavial e também para co-geração de energia, porém ainda há excedente de palha.

E, a agroindústria produtora de etanol instalada no Tocantins também apresenta esse excedente de palha, que é maior ainda se comparado ao de outras agroindústrias do mesmo ramo, pois no Estado a mesma não é utilizada na co-geração de energia. Então há a necessidade de minimizar e/ou sanar essa problemática.

Assim, a busca por soluções economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas para a disposição final da palha da cana-de-açúcar continua sendo um grande desafio. Diante disto, este trabalho tem por finalidade produzir materiais compósitos tendo como reforço a palha da cana-de-açúcar e analisar suas propriedades físico-mecânicas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Obter um material compósito a partir de resíduos agroindustriais advindos da produção de bioetanol, neste caso, a palha da cana-de-açúcar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Obter materiais compósitos utilizando palha de cana-de-açúcar e uma matriz;
- b) Caracterizar as principais propriedades físicas dos compósitos obtidos:
 - Densidade;
 - Umidade;
 - Absorção de água;
 - Inchamento em espessura;
- c) Caracterizar as principais propriedades mecânicas dos compósitos obtidos:
 - Resistência à compressão;
 - Resistência à flexão e
 - Módulo de elasticidade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ETANOL

O etanol obtido de fontes vegetais é produzido em diversos países a partir da fermentação da sacarose obtida de milho, trigo, sorgo, beterraba e cana-de-açúcar.

A Tabela 1 apresenta o balanço energético para produção do etanol dessas culturas, ou seja, a quantidade de energia renovável produzida em relação à energia fóssil utilizada para a produção.

Tabela 1. Balanço de energia na produção de etanol.

Matérias-primas	Local	Energia renovável / energia fóssil usada
Milho	USA	1,3
Cana	Brasil	8,9
Beterraba	Alemanha	2,0
Sorgo sacarino	África	4,0
Trigo	Europa	2,0

Fonte: Adaptado de Macedo (2007).

O custo de obtenção do etanol a partir da cana-de-açúcar é o mais baixo do mundo. Isto ocorre porque as perdas são mínimas, a eficiência de conversão dos açúcares em etanol tem aumentado muito e o valor energético obtido também é superior a todas as outras fontes (EMBRAPA, 2013).

A produção a partir da cana-de-açúcar desenvolveu-se de forma considerável no Brasil, a ponto desta se tornar uma cultura agrícola de importância estratégica para a economia nacional (CAVALHEIRO *et. al.*, 2012).

O Brasil tornou-se líder mundial na produção de etanol da cana-de-açúcar, é importante destacar que o país possui terras cultiváveis para o plantio da cana, sem trazer prejuízos à produção alimentícia, contando com o suporte de pesquisas para melhora de produtividade e de plantio em diferentes tipos de solo (MAPA, 2013).

A tecnologia para produção do etanol vem sendo desenvolvida há três décadas. O País domina o ciclo completo da produção de etanol, desde a lavoura

de alta produtividade até a instalação dos equipamentos para as destilarias de usinas de biocombustíveis a partir da cana-de-açúcar (MAPA, 2013).

O País tem capacidade para aperfeiçoar as tecnologias em uso e atingir grandes ganhos na produção de etanol, com o advento de algumas tecnologias em desenvolvimento, sem a necessidade de expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2013).

Conforme a União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA (2013), o Brasil produziu 25,04 bilhões de litros de etanol na safra 2013/2014 sendo que o país possui 357 usinas sucroalcooleiras.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2013), a produção de etanol no Tocantins tem aumentado significativamente desde o ano de 2010, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Produção de etanol no Tocantins.

Ano	Produção de etanol (m ³)
2010	17.000
2011	109.000
2012	159.000

Fonte: CONAB (2010, 2011, 2012).

A produção de etanol a partir da cana produz resíduos industriais que são todos utilizados na lavoura como insumos de fertilização, fechando-se o ciclo de produção. Além disso, ainda pode produzir etanol, energia e sacolas plásticas biodegradáveis com o bagaço (ORTEGA FILHO, 2003). Com a palha há a possibilidade de geração de energia e produção de papel, além de ser utilizada como adubação para a própria cana (NOVA CANA, 2013; SUPERBIA; DE PAULA, 2011). A vinhaça é utilizada na fertirrigação e também pode ser utilizada para a co-geração de energia (UNICA, 2013).

3.2 CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (Figura 1) é considerada uma gramínea, e certamente é a mais importante economicamente para o homem. Foi a primeira cultura

introduzida no país, ainda no período colonial. É cultivada há quatro séculos no litoral do Nordeste (EMBRAPA, 2013).



Figura 1. Cana-de-açúcar.

Em média, o ciclo da cultura da cana dura entre cinco ou seis cortes; depois é necessária a reforma do canavial ou replantio da cana, logo, o custo de produção varia com a quantidade de cortes da cana que o produtor consegue fazer, quanto mais corte, menor o custo de produção (EMBRAPA, 2013).

Hoje estão sendo realizados altos investimentos para o seu cultivo, pois para que os produtos advindos da cana sejam competitivos em nível de mercado, é essencial alta produtividade, redução de custos e redução dos impactos no meio ambiente (EMBRAPA, 2013).

A política nacional para a produção da cana-de-açúcar se orienta na expansão sustentável da cultura, com base em critérios econômicos, ambientais e sociais. Tomando como base um estudo sobre as regiões e seu clima, solo, bioma e disponibilidade hídrica, são estipuladas as áreas propícias ao plantio da cultura (MAPA, 2013).

Com a disseminação da cultura favorecida pela tecnologia, há canaviais por quase todos os estados brasileiros, estabelecendo-se nos mais diferentes tipos de solos (EMBRAPA, 2013). Hoje a produção nacional de cana-de-açúcar é de aproximadamente 650 milhões toneladas/ano, ela se transformou em uma das principais culturas da economia brasileira (CONAB, 2013).

A produção de cana-de-açúcar no ano civil de 2012 alcançou 593,6 milhões de toneladas, 4,9% superior ao registrado em 2011, e um crescimento de 2,4% na produção de etanol (EPE, 2013).

O Brasil é líder mundial de produção de cana, açúcar e etanol (MAPA, 2013), e o Tocantins tem dado sua contribuição. O Tocantins ocupa a 16ª posição na produção de cana em nível nacional, e registra o terceiro maior crescimento entre todos os estados brasileiros (CONAB, 2013).

O Tocantins, na safra 2013/14, foi o maior produtor de cana-de-açúcar da Região Norte do País. Os estados do Norte, juntos, produziram 3.587.000 toneladas de cana, e o Tocantins foi responsável pela produção de 2.226.300 toneladas, ou seja, mais de 60% da produção de toda a região (CONAB, 2013).

De acordo com a EPE (2013), a produção de cana no Tocantins tem aumentado bastante desde o ano de 2010, como é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Produção de cana-de-açúcar no Tocantins.

Ano	Produção de cana (mil toneladas)
2010	239
2011	1.366,9
2012	1.800,2
2013	2.297,8

Fonte: CONAB (2010, 2011, 2012, 2013).

Entre os anos de 2010 e 2011 a produção apresentou aproximadamente 500% de aumento, e de 2011 a 2013 houve um crescimento superior a 65%.

A Figura 2 ilustra o crescimento da produção de cana no Tocantins.

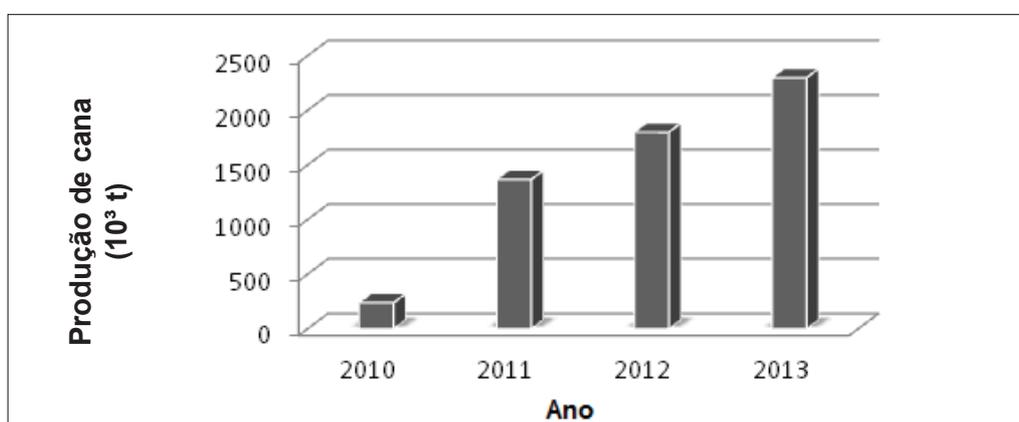


Figura 2. Produção de cana-de-açúcar no Tocantins.

Fonte: CONAB (2010, 2011, 2012, 2013).

Esse elevado crescimento teve como fator primordial a instalação de uma agroindústria produtora de etanol e açúcar a partir da cana-de-açúcar. De acordo com Bunge (2011) essa agroindústria iniciou sua implantação no ano de 2009, mas foi inaugurada oficialmente em meados de 2011. Com esse advento, o Tocantins passou a abrigar a maior indústria de processamento de cana-de-açúcar da Região Norte – a Bunge de Pedro Afonso. A previsão é que em 2014 o Estado produza cerca de 2,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (SEAGRO, 2013).

3.3 MATERIAIS COMPÓSITOS

Compósitos são materiais de moldagem estrutural, formados por uma fase contínua polimérica (matriz) e reforçada por uma fase descontínua que se agregam após um processo de cura (ALMACO, 2013).

A fase polimérica é geralmente composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturada, resina éster vinílica ou epóxi. Há ainda as resinas fenólicas, de poliuretano e de silicone que são utilizadas em aplicações especiais (ALMACO, 2013). E a fase descontínua, o reforço, é rígida e resistente, pode-se constituir de diversos materiais, sintéticos ou naturais (DANIEL; ISHAI, 2006).

Os materiais compósitos foram desenvolvidos na tentativa de elaborar um material que pudessem potencializar ou maximizar algumas propriedades dos materiais já existentes. Eles começaram a ser desenvolvidos pela indústria aeronáutica, na década de 50, com a intenção de obter-se um melhor desempenho em componentes de aeronaves (GOMES, 2011).

As propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, de suas quantidades relativas, da forma, tamanho, distribuição e a orientação dessas fases. A qualidade do compósito depende da interação fibra-matriz (CALLISTER, 2011).

De acordo com Callister (2011) os compósitos podem ser classificados em compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e compósitos estruturais (Figura 3). Nos compósitos reforçados com partículas a fase dispersa

tem eixos iguais, em que as dimensões das partículas são aproximadamente as mesmas em todas as direções, nos compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa apresenta a geometria de uma fibra e os compósitos estruturais são combinações de compósitos e materiais homogêneos. Dessas três divisões apresentadas, os compósitos reforçados com fibras apresentam maior potencial para eficiência de reforço (CALLISTER, 2011; SATYANARAYANA, ARIZAGA e WYPYCH, 2009).



Figura 3. Classificação dos compósitos.
Fonte: Adaptado de Callister (2011).

De uma maneira geral, um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de modo tal que é obtida uma melhor combinação de propriedades. E essas combinações e as faixas das propriedades dos materiais foram, e ainda estão sendo, ampliadas pelo desenvolvimento de materiais compósitos (CALLISTER, 2011).

Leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade são algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro, além de poder ser desenvolvido para suprir determinada necessidade. Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, têm no compósito um mercado em franca expansão (ALMACO, 2013).

3.3.1 Compósitos de partículas de madeiras

A demanda por madeira no Brasil apresentou crescimento devido ao desenvolvimento de indústrias no setor florestal, e previsões apontam que dentro de pouco tempo a oferta de madeira nacional será inferior à demanda

(MILAGRES *et al.*, 2006). Uma forma de melhorar a oferta seria a racionalização do uso desta madeira utilizando produtos à base de materiais lignocelulósicos, como o aglomerado.

Conforme Eleotério (2000) os aglomerados permitem um melhor aproveitamento da madeira, são renováveis, recicláveis e biodegradáveis. Além de que é possível inserir outros tipos de materiais em sua constituição, como fibras naturais e plásticos (MACIEL *et al.*, 2004; TEIXEIRA; MOREIRA; COSTA, 2002).

A incorporação de fibras naturais na fabricação de compósito fibra/madeira reduz o consumo de madeira para o mesmo volume de chapas, e contribui para a redução da poluição ambiental. Esses produtos tentem a associar as melhores qualidades de cada constituinte e apresentam propriedades peculiares, distinguindo-os de outros materiais (MACIEL, 2001).

Maciel (2001) diz que o efeito dessa combinação nas propriedades dos compósitos depende do tipo do material, do percentual e também das características da resina. Franco (2008) acrescenta que o modo como os materiais são produzidos também é um fator que também tem influência nas propriedades dos compósitos.

De acordo com Biazus; Hora; Leite (2010) os principais tipos de painéis de madeira são:

- ✓ MDF (Medium Density Fiberboard);
- ✓ MDP (Médium Density Particleboard) - aglomerados; e
- ✓ correlatos como HDF (High Density Fiberboard).

Devido à importância para o estudo será abordado com mais ênfase os aglomerados que devido à aplicação de tecnologias mais modernas são conhecidos atualmente como MDP o que favoreceu melhor comportamento mecânico, o processo de fabricação é o mesmo, ou seja, são fabricadas com partículas de madeira ou outros materiais lignocelulósico, tais como bagaço da cana, linho entre outras fontes de fibras, aglutinados por meio de uma resina e em seguida prensados.

A tecnologia da madeira de aglomerados teve seu início após a segunda Guerra Mundial, devido à escassez da madeira. Pois os países atingidos foram obrigados a buscar alternativas para suprir tal escassez, o que acarretou no aproveitamento dos resíduos industriais (MENDES; ALBUQUERQUE; IWAKIRI, 2003).

O Brasil se destaca neste setor devido à qualidade do seu produto, haja vista, que a matéria prima utilizada para fabricação de aglomerados são cavacos de madeira de florestas plantadas.

A) Aglomerado – MDP

A partir da década de 1990, indústrias brasileiras investiram em modernização tecnológica, conseguindo melhoras no processo de produção de chapas de madeira. O processo de prensagem cíclica foi substituído pelo de prensagem contínua, conferindo aos produtos melhores características de resistência.

Juntamente com essas modificações, a nomenclatura também foi alterada, de aglomerados para MDP (*Medium Density Particleboard*), ou painel de partículas de média densidade, numa tentativa de dissociar o novo produto do aglomerado tradicional (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Em sua confecção são utilizadas partículas de madeira ou outros materiais lignocelulósicos, tais como bagaço da cana, linho entre outras fontes de fibras, aglutinados por meio de uma resina e em seguida prensados (GOMES, 2011).

A NBR 14810-1 (ABNT, 2006a, p.2), define chapa de madeira aglomerada ou chapa de partículas de madeira como:

“produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob a ação de pressão e calor. A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais específicos. Durante o processo de fabricação, podem ainda ser incorporados aditivos para prover painéis de características especiais.”

Conforme Biazus, Hora e Leite (2010) o MDP é o painel de madeira reconstituída mais produzido e utilizado no mundo, sendo sua principal aplicação a confecção de móveis residenciais e comerciais. O Brasil está entre os 10 maiores produtores, com uma produção de 3 milhões de m³ por ano (ABIPA, 2013).

3.3.2 Fibras de Reforço para Compósitos

O conhecimento da estrutura das fibras é importante, visto que fornece informações relacionadas com a capacidade de adesão na interface fibra/matriz e a capacidade de homogeneização, e conseqüentemente com as propriedades mecânicas finais dos compósitos (MARINELLI *et al.*, 2008).

A fração volumétrica e a disposição das fibras no compósito também possuem influência significativa sobre a resistência e outras propriedades dos compósitos. A Figura 4 mostra diferentes maneiras de disposição dessas fibras.

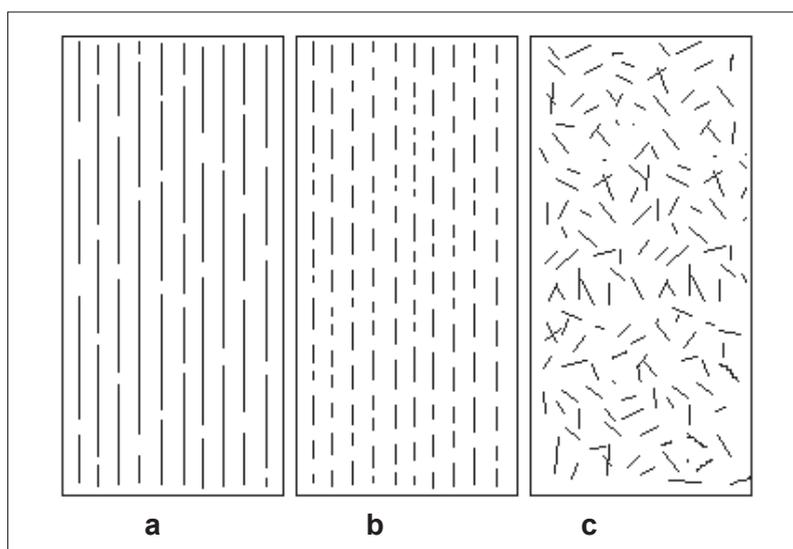


Figura 4. Disposição das fibras nos materiais compósitos.
Fonte: Adaptado de Callister (2011).

Esta disposição pode ser de alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das fibras, em uma única direção (Figuras 4a e 4b) e de um alinhamento totalmente aleatório (Figura 4c). Porém, a melhor combinação geral das propriedades dos compósitos é obtida quando a distribuição das fibras é uniforme (CALLISTER, 2011).

As fibras utilizadas para confecção de materiais compósitos podem ser sintéticas ou naturais. Nesta pesquisa será dado destaque às fibras naturais, mais especificamente à palha da cana-de-açúcar, pois este foi o resíduo utilizado para o desenvolvimento da mesma.

3.3.2.1 Fibras naturais

De acordo com Marinelli *et al.* (2008) as fibras naturais também podem ser denominadas fibras lignocelulósicas por serem constituídas predominantemente por celulose e lignina.

O emprego das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo aplicações clássicas na indústria têxtil e o uso como reforço em matrizes poliméricas. Elas têm sido utilizadas como reforço em materiais compósitos sempre que há necessidade de se melhorar suas propriedades mecânicas (JESUS, 2008).

Assmann (2009) afirma que esse tipo de fibras geralmente possui resistência satisfatória e menor densidade do que os reforços mais utilizados, como fibras de vidro, carbonato de cálcio e mica. Além disso, sua utilização como reforço tem sido estimulada porque o processo de fabricação de fibras sintéticas possui um alto custo ambiental, traduzido pelo alto conteúdo energético e baixa biodegradabilidade de materiais como vidro, carbono e aramida. A disponibilidade, abundância e versatilidade das fibras naturais caracterizam-nas como excelentes agentes de reforço em matrizes poliméricas.

A Tabela 4 apresenta a comparação de algumas propriedades e de custos entre as fibras naturais e as principais fibras sintéticas utilizadas na produção de materiais.

Tabela 4. Comparação entre características de fibras naturais e sintéticas.

Tipo de fibra	Resistência à tração (GPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Custo (US\$/ton)	Gasto energético (GJ/ton)
Fibras naturais	1,6 – 2,95	10 – 130	200 – 1000	4
Fibra de vidro	1,35	30	1200 - 1800	30
Kevlar	2,71	90	7500	25
Fibra de carbono	1,71	130	12500	130

Fonte: Adaptado de Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009).

As fibras naturais possuem outras vantagens em relação às fibras sintéticas, pois são de mais fácil manuseio, não causam problemas respiratórios em trabalhadores e ainda apresentam disponibilidade e baixo custo (SATYANARAYANA, ARIZAGA; WYPYCH, 2009).

Pode-se notar que as fibras naturais possuem propriedades mecânicas semelhantes às principais fibras sintéticas utilizadas atualmente na fabricação de materiais, entretanto, apresentam custo e gasto energético bem reduzido se comparado às fibras sintéticas.

Os compósitos produzidos com fibras naturais apresentam ainda outras vantagens como baixa densidade, menor emissão de CO₂ e redução da absorção de água (POLETTI; DETTENBORN; ZATTERA, 2010).

Além disso, a utilização dessas fibras oriundas de fontes agrícolas na fabricação de materiais compósitos pode auxiliar no desenvolvimento econômico da população rural, gerando empregos no campo, melhorando suas condições de vida, incentivando sua permanência no campo e reduzindo desigualdades sociais, principalmente em países em desenvolvimento (SATYANARAYANA, ARIZAGA; WYPYCH, 2009).

A Figura 5 apresenta o crescimento da quantidade de pesquisas sobre compósitos com reforço de fibras naturais e patentes registradas com os materiais desenvolvidos nestes trabalhos.

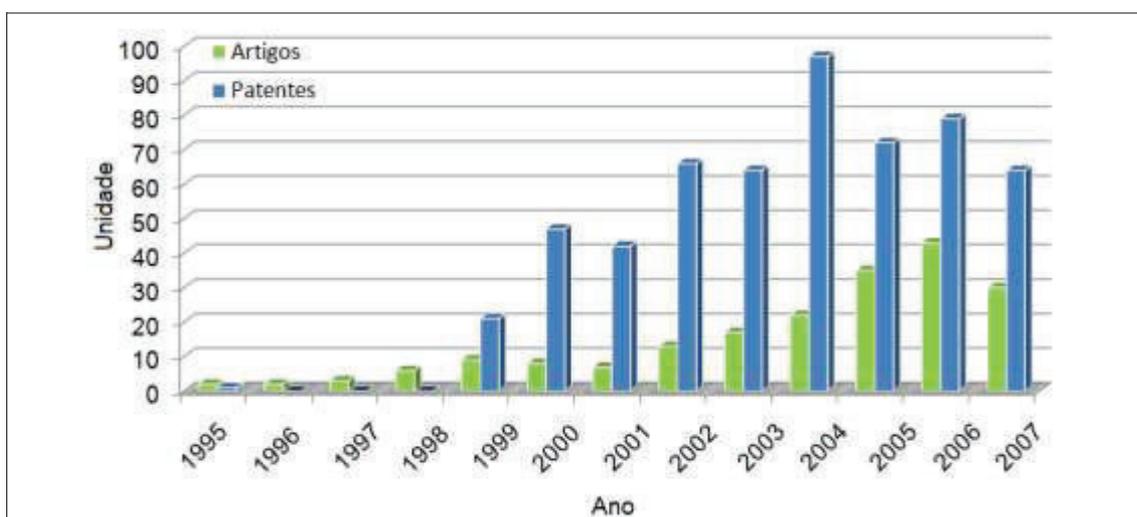


Figura 5. Quantidade de pesquisas sobre materiais compósitos com reforço de fibras naturais. Fonte: Adaptado de Satyanarayana, Arizaga e Wypych (2009).

Dentre as fibras naturais existentes, estão os resíduos da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, como o bagaço de cana e a palha. A composição e as características de cada resíduo dependem da matéria-prima utilizada e de fatores ambientais (nutrientes do solo, umidade, calor, etc.). Será dada ênfase à palha da cana-de-açúcar, pois este foi o resíduo utilizado para a produção dos compósitos desenvolvidos nesta pesquisa.

A) A Palha da Cana-de-açúcar

Existe a possibilidade de utilização de fibras naturais na produção de materiais compósitos. Alguns estudos estão sendo desenvolvidos na área, com resíduos da cana-de-açúcar, principalmente com o bagaço da cana.

Acerca da utilização da palha da cana-de-açúcar para produção de compósitos, estudos são restritos, visto que esta palha hoje é utilizada para cogeração de energia no processo de produção das indústrias de açúcar e álcool (RODRIGUES *et al.*, 2012).

A palha representa aproximadamente 14% do peso da cana, ou seja, em 1 (uma) tonelada de cana crua colhida, 140 kg é de palha, como mostra a Figura 6.

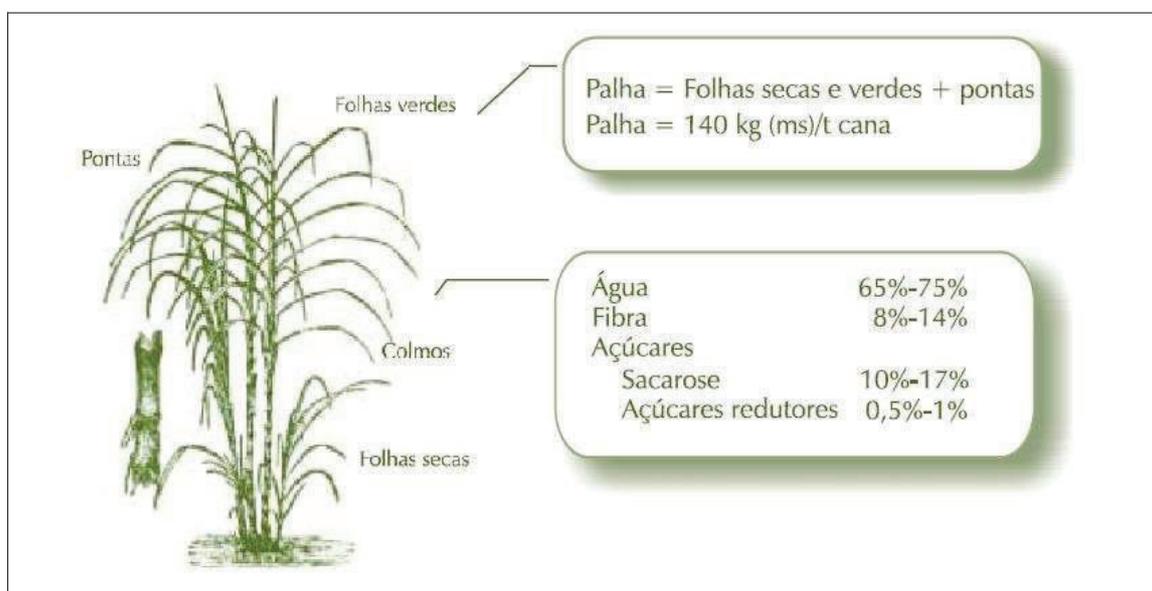


Figura 6. Estrutura típica da cana-de-açúcar.

Fonte: Seabra e Macedo (2008) apud BNDES e CGEE (2008).

A quantidade de palha produzida é grande, parte fica no campo para adubação e outra parte segue para a usina (RODRIGUES *et al.*, 2012).

3.4 RESINAS USUAIS EM COMPÓSITOS COM FIBRAS NATURAIS

A utilização da madeira e seus resíduos (fibras, partículas, placas) para fabricação de compósitos lignocelulósicos é muito importante para a conservação da biomassa florestal e proteção do meio ambiente. Muitos fatores influenciam a qualidade desses novos materiais formados, sendo eles a qualidade e a quantidade da madeira ou dos seus resíduos, a resina empregada e os procedimentos da aplicação (EL-SAIED e BASTA, 2006).

Os adesivos podem ser classificados a partir de outros parâmetros como por exemplo, origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência a umidade, composição química, entre outros (BARROS FILHO, 2009).

Santos (2008) destaca que os adesivos mais empregados nas indústrias de painéis são: fenol-formaldeído (FF), melanina-formaldeído (MF), ureia formaldeído (UF) e di-fenil-metano di-isocianato (MDI).

- ✓ Fenol-Formaldeído (FF): infiltra-se nas partículas de madeira fina e porosa; apresenta linha de colagem de coloração escura; cura normalmente à temperatura na faixa de 130°C a 160°C; resiste à prolongada exposição ao calor, ao ciclo de secagem e umidificação e ao ataque de fungos e cupins; resiste à ação química dos grupos agressivos como álcalis, preservativos de madeira e óleos (NASCIMENTO, 2002).
- ✓ Uréia Formaldeído (UF): apresenta boa resistência à umidade; cura a temperatura ambiente ou a temperaturas pouco elevadas (90 a 130°C), apresenta custo reduzido em relação ao outro adesivo; sua coloração é clara e possibilita a combinação com extensores de origem vegetal, para reduzir ainda mais seu custo; não resiste a ambiente muito úmido e quente. Sua vida útil no estado líquido é muito limitada, no máximo 90 dias em temperatura ambiente (NASCIMENTO, 2002).
- ✓ Melamina- Formolaldeído (MF): possui alta durabilidade, coloração clara e boa característica ao manuseio; fortalece o adesivo à base de resina uréia-formaldeído; apresenta alto custo e temperatura de cura superior a 125°C (NASCIMENTO, 2002).

A escolha do adesivo deve levar em consideração as propriedades do produto desejado e a sua finalidade, pois o mesmo representa um custo elevado e reflete no preço do produto final, assim é de fundamental relevância que tenha um estudo quanto a escolha do tipo de adesivo que será empregado, no sentido de buscar uma otimização em relação ao custo e benefício (GOMES, 2011). Nesta revisão será abordada com mais ênfase a resina uréia formaldeído, pois foi a escolhida para desenvolvimento desta pesquisa.

3.4.1 Resina Uréia Formaldeído

A resina uréia formaldeído (UF) é um polímero tridimensional; quando puro é transparente e por isso foi usado como primeiro tipo de vidro plástico, no entanto, ele acaba tornando opaco e rachando com o tempo. Esse defeito pode ser evitado pela adição de celulose, mas perde a transparência, sendo então utilizado na fabricação de objetos translúcidos. Ele é também usado em vernizes, na impregnação de papéis e outros (LEITE *et al.*, 2009).

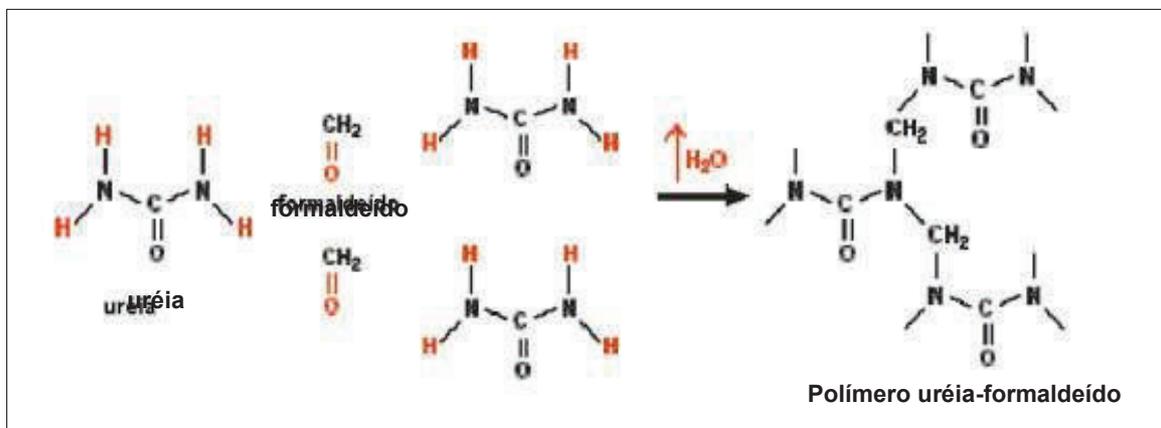


Figura 7. Estrutura do polímero uréia formaldeído.
Fonte: Leite *et al.* (2009).

Desenvolvida na década de 30, a resina UF é uma amino resina. A resina de UF é formada pela reação de polimerização por condensação entre os grupos de amina da uréia (NH₂) e carbonila (CO) do formoldeído, formando água como subproduto, conforme mostra a Figura 7.

Barros Filho (2009) afirma que a resina UF possui uma ampla aplicação na indústria madeireira em todo o mundo, na colagem de madeira sólida, de

compósitos laminados e particulados em geral. Ela é uma das resinas mais importantes, uma vez que 90% das chapas produzidas no mundo são fabricadas utilizando essa resina como base (CARNEIRO, 2002).

Conforme El-Saied e Basta (2006) as principais vantagens da uréia formaldeído são os seus baixos custos e curto tempo de cura. Também possui um bom desempenho no painel, solubilidade em água elevada estabilidade térmica, rigidez e estabilidade dimensional, resistência à fluência e à deformação sob carga, baixo peso e boas propriedades de isolamento térmico e elétrico (JOVANOVIC *et al.*, 2010; SMITH, 1998).

E tem como desvantagem a vulnerabilidade à degradação hidrolítica de umidades e/ou especialmente em temperaturas elevadas que aceleram a degradação, entretanto esse problema pode ser minimizado com o uso de técnicas simples com a adição da parafina que permite a ocupação dos espaços vazios conferindo melhores qualidades às propriedades físico-mecânicas, ou técnicas especiais como a pós-vaporização e pós-aquecimento dos painéis (GOMES, 2011).

3.5 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS MATERIAIS

Muitos projetos em engenharias dependem de materiais mais sofisticados, que possuam suas propriedades melhoradas (GOMES, 2011). Algumas dessas propriedades são as físicas e mecânicas, que podem ser verificadas por meio de ensaios.

De acordo com Garcia *et al.* (2012) os ensaios realizados com materiais tem duas finalidades principais: permitir a informação rotineira de produtos e desenvolver novas informações sobre os materiais. Devem ser executados sob condições padronizadas, em geral definidas por normas, de forma que seus resultados sejam significativos para cada material e possam ser facilmente comparados (OLIVEIRA, 2012).

A determinação do uso de determinado material depende de suas propriedades mecânicas, logo, o desempenho dos compósitos é influenciado

pelas propriedades dos materiais que o constituem, pela proporção entre esses materiais e pela interação entre os mesmos (MORAIS, NEVES, DIAS, 2006).

Neste tópico serão abordadas algumas propriedades físicas e mecânicas dos materiais.

3.5.1 Propriedades Físicas dos Materiais

As principais propriedades físicas a serem avaliadas em materiais compósitos a partir de resíduos agroenergéticos são: densidade, umidade, inchamento em espessura e absorção de água.

A) Densidade

Densidade é a característica representada pelo quociente da relação entre a massa e o volume de um corpo (ABNT, 2006b).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2006b) estabelece que a densidade média para chapas de madeira aglomerada deve ser entre 551 e 750 kg/m³.

Segundo Torquato *et al.* (2005) alguns materiais podem ser classificados de acordo com esta variável, ou seja, baixa densidade (até 600 kg/m³), média densidade (de 600 a 800 kg/m³) e alta densidade (acima de 800 kg/m³).

B) Umidade

Conforme Nascimento (2002), o teor de umidade é fator decisivo na formação de materiais, pois possui influência direta nas propriedades dos compósitos, dentre elas: resistência, qualidade da superfície, e na pressão necessária a ser aplicada.

Gomes (2011) afirma que as partículas não podem ser processadas muito secas, pois oferecem algumas desvantagens: susceptível ao fogo, quantidade excessiva de pó e tendências das bordas a esfarinhar. Para permitir uma boa penetração do aglutinante, devem apresentar certo teor de umidade.

O conteúdo de umidade ideal depende de alguns fatores, como a natureza do processo, o tipo e o dimensionamento das partículas, a densidade dos constituintes, entre outros (DACOSTA, 2004).

C) Absorção de água e inchamento em espessura

A absorção de água (AA) é o aumento da massa em água que um corpo de prova apresenta, por sua vez, inchamento em espessura (IE) corresponde à variação percentual de aumento em espessura que esse corpo de prova apresenta (ABNT, 2006b).

O inchamento em espessura pode ser influenciado pela espécie da fibra, geometria das partículas, densidades dos materiais, quantidade de resina e condições de prensagens (GOMES, 2011).

Esses parâmetros são avaliados após os corpos de prova ficarem imersos em água à temperatura de 20 ± 3 °C por um período de 2 horas e 24 horas segundo a ABNT (2006b).

A absorção de água e o inchamento em espessura variam de acordo com as condições de teste no quais são submetidos e os elementos que influem diretamente sobre estas propriedades são umidade, tempo e temperatura de exposição (BARROS FILHO, 2009).

3.5.2 Propriedades Mecânicas dos Materiais

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades mecânicas que se referem ao comportamento do material quando sob a ação de esforços e que são expressas em função de tensões e/ou deformações (GARCIA *et al.*, 2012; VAN VLACK, 2008).

A) Tensão

Tensão é definida como a o resultado da ação da força sobre a unidade de área, e é calculada dividindo-se a força pela área na qual atua (VAN VLACK, 2008). A direção da tensão depende do tipo de sollicitação, ou seja, da direção das cargas atuantes (BENTO, 2003). Entre os esforços axiais temos a tração, a

compressão e a flexão, e entre os transversais, o cisalhamento e a torção (GOMES, 2011).

Como efeito da tensão, tem-se a deformação, que pode ser elástica ou plástica. A elástica é reversível, quando a tensão é removida, desaparece; é proporcional à tensão aplicada. A plástica é permanente, provocada por uma tensão que ultrapassa o limite de elasticidade (VAN VLACK, 2008; CALLISTER, 2011).

A Figura 8 apresenta um diagrama das deformações elástica e plástica.

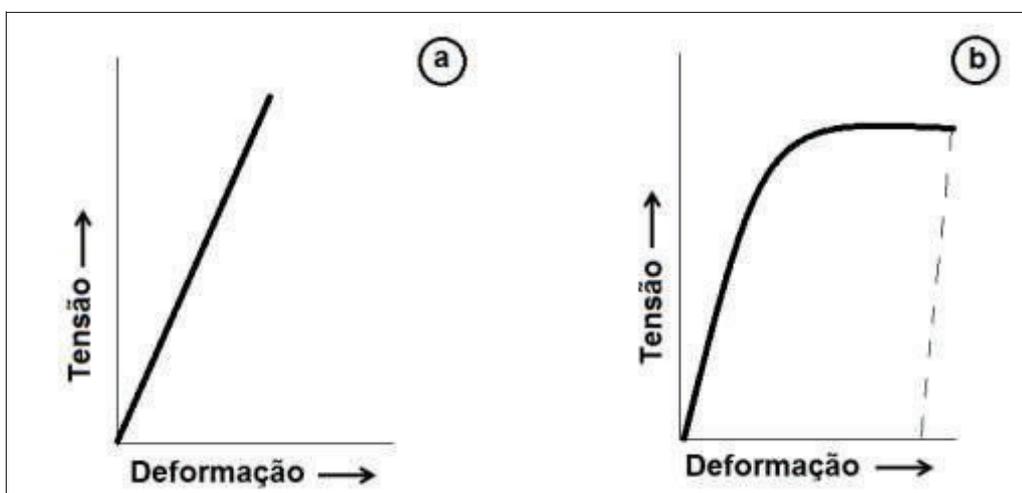


Figura 8. Diagrama tensão-deformação. Deformação elástica (a) e plástica (b).
Fonte: Adaptado de Van Vlack (2008).

O grau no qual uma estrutura se alonga ou se deforma depende da magnitude da tensão que lhe é imposta (CALLISTER, 2011).

B) Tração e compressão

De acordo com Bento (2003, p. 26) “uma peça está submetida a esforços de tração ou compressão, quando uma carga normal F , ou seja, com a direção do eixo da peça, atuar sobre a área de secção transversal da peça”. A resistência à tração é a medida de tensão necessária para romper o material (VAN VLACK, 2008).

Quando o sentido da carga estiver dirigido para o interior da peça, a mesma estará comprimida, como mostra a Figura 9, onde A representa a área da seção transversal e F , a carga normal.

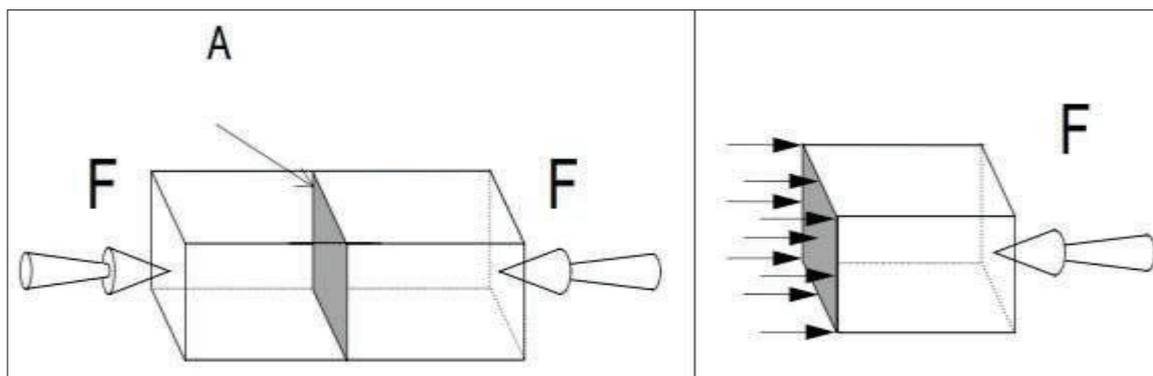


Figura 9. Peça comprimida.
Fonte: Adaptado de Bento (2003).

Quando a carga atuar no sentido dirigido para o exterior da peça, a peça está tracionada, como mostra a Figura 10.

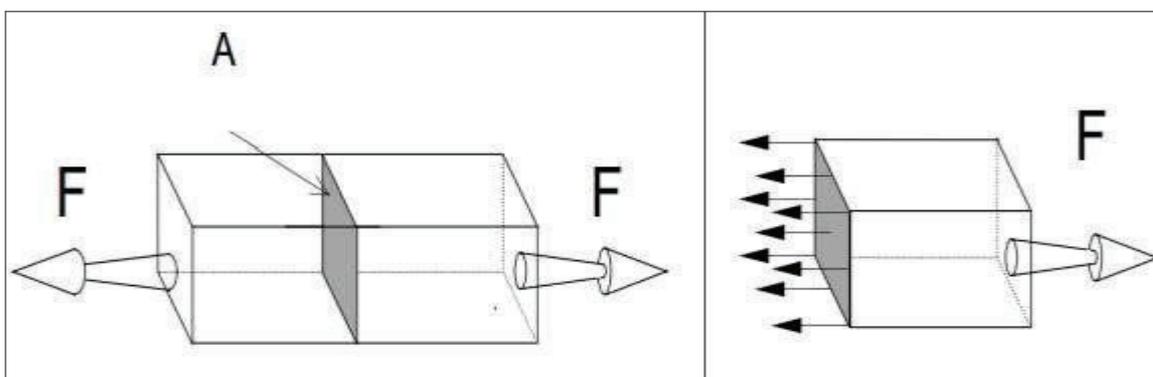


Figura 10. Peça tracionada.
Fonte: Adaptado de Bento (2003).

O ensaio de tração é relativamente simples e de realização rápida, além de fornecer informações importantes na fabricação de peças. Consiste na aplicação gradativa de carga de tração uniaxial às extremidades de um corpo-de-prova até a ruptura (GARCIA *et al.* 2012). A partir deste ensaio pode-se obter várias características do material, como alongamento e limite de resistência do mesmo. Algumas das principais propriedades de um material são: módulo de elasticidade, deformação e tensão de ruptura (ASSMANN, 2009).

A deformação de um material é determinada dividindo o alongamento do comprimento pelo próprio comprimento, conforme mostra a Equação 1 (ASSMANN, 2009).

—

(1)

Onde:

=> *deformação linear (m)*

L => comprimento final (m)

L0 => comprimento inicial (m)

O módulo de elasticidade é o quociente entre a tensão aplicada e a deformação elástica resultante. Ele está relacionado com a rigidez do material. É determinado pela composição do material e é apenas indiretamente relacionado com as demais propriedades mecânicas (VAN VLACK, 2008) e pode ser calculado pela Equação 2:

$$— \quad (2)$$

Onde:

=> *módulo de elasticidade*

=> *tensão nominal de ruptura (Pa ou N/m²)*

ϵ => *deformação linear sofrida pelo corpo de prova*

A tensão de ruptura é a força necessária para que haja a ruptura do material submetido ao ensaio, e pode ser calculada pela Equação 3 (ASSMANN, 2009).

$$— \quad (3)$$

Onde:

=> *tensão nominal (Pa ou N/m²)*

=> *força aplicada no corpo de prova (N)*

=> *área da secção transversal (m²)*

É possível também obter-se, por meio de ensaios, a resistência de um material à compressão transversal, que é a força necessária para o rompimento de uma peça quando submetida à compressão (OLIVEIRA, 2012).

C) Flexão

Bento (2003) define flexão como a força que provoca, ou tende a provocar, uma deformação no eixo longitudinal de determinado objeto, ou seja, curvatura no objeto. A Figura 11 apresenta o comportamento de um objeto submetido à flexão.

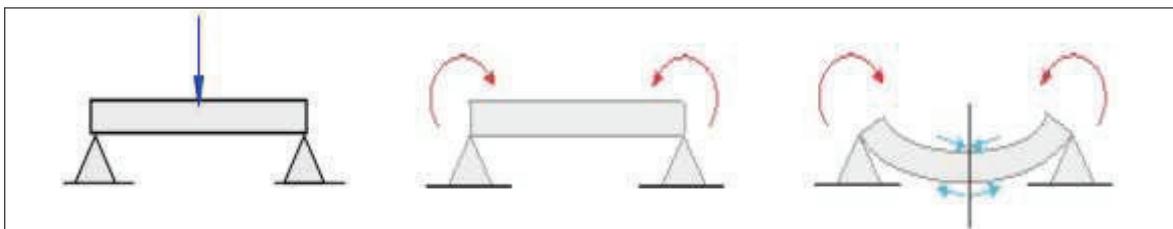


Figura 11. Peça submetida à flexão.

Fonte: Bento (2003).

“A flexão é provavelmente o tipo mais comum de solicitação produzida em componentes de máquinas, que atuam como vigas quando, em funcionamento, transmitem ou recebem esforços.” (BENTO, 2003, p. 34). Ela pode ser simples ou composta.

A flexão simples (Figura 12) ocorre quando a força atua perpendicularmente ao eixo do objeto (BENTO, 2003).

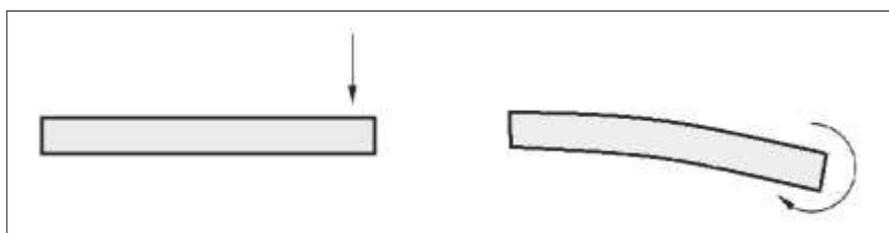


Figura 12. Flexão simples.

Fonte: Adaptado de BENTO, 2003.

Quando a força não atua perpendicularmente ao eixo do objeto, a mesma poderá ser decomposta em duas componentes, o que caracteriza a flexão composta, como ilustra a Figura 13 (BENTO, 2003).

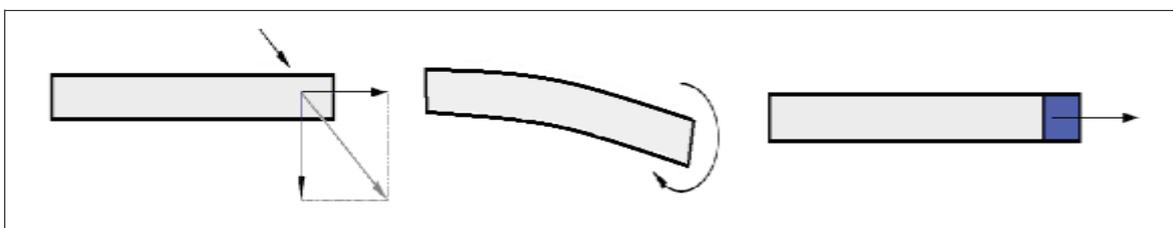


Figura 13. Flexão composta.

Fonte: Adaptado de BENTO, 2003.

A determinação dessas propriedades é de grande importância para verificar se o material e/ou objeto produzido está dentro de padrões pré-determinados de qualidade, ou seja, para verificar a qualidade do material. Esses ensaios, por exemplo, verificam se os materiais apresentam características necessárias para suportar determinados esforços.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para os compósitos estudados neste trabalho foi utilizada como reforço a palha da cana-de-açúcar e como matriz a resina à base de uréia formaldeído. As propriedades, a preparação dos materiais utilizados, assim como, os métodos de ensaios utilizados na avaliação dos materiais e dos compósitos são apresentados neste tópico.

4.1 MATERIAIS

Os materiais necessários para a fabricação do material compósito neste trabalho foram:

1) Reforço: Resíduo do Processo de fabricação do etanol

A palha da cana-de-açúcar utilizada neste trabalho foi cedida por uma agroindústria produtora de bioetanol, localizada no município de Pedro Afonso - TO. O material foi coletado na etapa de limpeza a seco do processo de produção do etanol (Figura 14). Essa etapa consiste na retirada de impurezas da cana - palha, folha verde, ponteiro da cana, folha verde, terra, areia, etc.



Figura 14. Sistema de limpeza a seco de cana-de-açúcar.
Fonte: Do autor.

A palha utilizada corresponde à safra de 2013/2. A Figura 15 mostra a palha sendo coletada na agroindústria.



Figura 15. Palha de cana-de-açúcar.
Fonte: Do autor.

A palha foi acondicionada no Laboratório de Materiais Compósitos (LMC), da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus Palmas até o início do experimento.

2) Matriz Polimérica: Resina à base de uréia formaldeído

A resina à base de uréia formaldeído utilizada como matriz foi a Redemite (Figura 16), doada pela empresa Redelease.



Figura 16. Resina à base de uréia formaldeído - Redemite.
Fonte: Do autor.

A Redemite é um adesivo líquido, de cor branca, à base de resina uréia formaldeído. É utilizada para colagens de madeira em geral, na fabricação de compensados e em revestimentos de aglomerado e chapa-dura de madeira, lâminas de madeira ou similares (REDELEASE, 2010b). É vendida, na forma

líquida, em baldes de 5Kg, 10Kg e 25Kg. A Tabela 5 apresenta algumas características da Redemite:

Tabela 5. Características da Redemite.

Características gerais do Redemite	
Viscosidade Brookfield a 25°C	400 a 1000 cPs
pH a 25°C	7,5 a 8,2
Tempo de gel a 21°C	27 a 70 minutos
Teor de sólidos a 105°C por 3h	64%
Densidade a 25°C	1,280 g/cm ³
Teor de formol livre	2,5

Fonte: Redelease, 2010b.

A Redemite é aplicada incorporando-se água e catalisador, em proporções (partes por peso) que podem variar de acordo com a qualidade de colagem desejada. Ela pode ser curada tanto a frio como a quente.

No caso da Redemite o catalisador é conhecido como “endurecedor G” (Figura 17), que de acordo com a Redelease (2010a) é um produto na forma de cristais granulados de cor branca e areia, é empregado como endurecedor de reação de ação direta, nas formulações de resinas uréia-formol líquidas que apresentam a denominação Redemite.



Figura 17. Endurecedor G.

Ele possui a função de acelerar o endurecimento da resina. A Tabela 6 apresenta algumas informações referentes ao endurecedor G:

Tabela 6. Características do endurecedor G.

Característica	Composição (%)
Teor de sulfato de amônio	97
Umidade Karl Fischer	0,5

Fonte: Redelease (2010a)

De acordo com Redelease (2010a) o manuseio deste produto deverá ser acompanhado com o uso de equipamentos de proteção individual, pois pode provocar efeitos adversos à saúde humana, através da ingestão, inalação e absorção pela pele ou contato com os olhos.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do Resíduo

Os parâmetros analisados para caracterização do resíduo da cana-de-açúcar foram: determinação do teor de umidade, matéria seca e teor de cinzas. As metodologias empregadas estão descritas a seguir:

A) Determinação da Densidade do Resíduo

Para determinar o volume do resíduo foi utilizada a Equação 4.

(4)

Onde:

=> *volume do resíduo (cm³)*

=> *largura do resíduo (cm)*

=> *comprimento do resíduo (cm)*

=> *espessura do resíduo (cm)*

A espessura *E* utilizada na Equação 4 foi determinada da seguinte forma: a espessura foi aferida em cinco pontos de cada amostra, sendo um no centro e os demais nas laterais superior e inferior, e então calculada a média aritmética.

Para determinar a densidade dos corpos de prova foi utilizada a seguinte equação:

—

(5)

Onde:

=> *densidade do resíduo (g/cm³)*

=> *massa do resíduo (g)*

=> *volume do resíduo (cm³)*

B) Determinação da Umidade do Resíduo

Os parâmetros umidade e matéria seca foram realizados no Laboratório de Instrumentação Científica (LABIC) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus Palmas.

Para determinação do teor de umidade foram coletadas dez amostras (Figura 18a), que inicialmente foram pesadas em balança semianalítica marca Shimadzu modelo AY 220 (Figura 18b), e posteriormente secas em estufa com renovação e circulação de ar, da Shimatzu, modelo TE 394/3 (Figura 18c) com capacidade de aquecimento até 250°C.

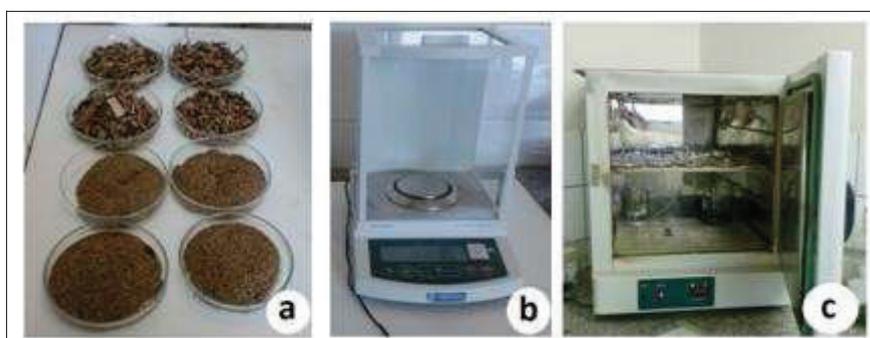


Figura 18. (a) amostras do resíduo utilizados na determinação de umidade e matéria seca, (b) balança e (c) estufa.

Empregou-se uma temperatura de 105°C durante 4h. Logo depois, foram novamente pesadas, repetindo o mesmo procedimento até que o peso permanecesse constante¹. Após retirar da estufa, os corpos-de-prova foram resfriados em dessecador, para assim serem pesados.

Por subtração obteve as massas de umidade perdida em cada amostra (BROWNING, 1967), como mostra a Equação 6, e em seguida aplicou-se o valor encontrado na Equação 7.

(6)

Onde:

=> massa de umidade perdida na secagem (g)

=> massa inicial de resíduo (g)

=> massa final de resíduo (g)

¹ Considera-se peso constante para este ensaio, quando a massa não variar mais que 0,1%.

O teor médio de umidade foi obtido por meio da média aritmética das 10 amostras analisadas.

$$\text{---} \quad (7)$$

Onde:

=> teor de umidade do resíduo (%)

=> massa de umidade perdida na secagem (g)

=> massa inicial de resíduo (g)

C) Matéria Seca

Para a determinação de matéria seca (MS) foram utilizadas as mesmas amostras do ensaio de umidade, visto que o procedimento é o mesmo.

O valor de matéria seca foi obtido aferindo a amostra após ser submetida à estufa e apresentar peso constante.

D) Teor de Cinzas

O ensaio para determinação do teor de cinzas do resíduo foi realizado no Laboratório de Microbiologia Ambiental (LAMBIO) da UFT.

O teor de cinzas presente em uma amostra representa a matéria inorgânica que permanece nesta após ser submetida a um processo de incineração -queima do material orgânico. O método de determinação de cinzas consiste na queima da amostra em mufla (Figura 19a) utilizando temperaturas entre 550°C e 570°C por tempos pré-determinados (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).



Figura 19. (a) Mufla, (b) amostras e (c) dessecador utilizados na determinação do teor de cinzas no resíduo – palha de cana-de-açúcar.

As Figuras 19b e 19c mostram respectivamente as amostras no interior da mufla e as amostra no dessecador.

Inicialmente 5g da amostra foram colocados em cadinhos, que foram aquecidos em bico de Bunsen até que fosse queimado todo o resíduo no seu interior. Em seguida os cadinhos foram levados à mufla, marca EDG modelo 3P-S 3000, a 570°C por um período de 4 horas e então resfriados em dessecador e pesados (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

O teor de cinzas das amostras foi determinado pela diferença entre as massas inicial e final, de acordo com a Equação 8.

(8)

Onde:

=> teor de cinzas (%)

=> massa das cinzas (g)

=> massa da amostra (g)

4.2.2 Confeção dos Materiais Compósitos

Foram produzidos materiais compósitos a partir de resina uréia formaldeído, reforçados com palha de cana-de-açúcar, adicionada em diferentes proporções.

A) Preparo da palha da cana-de-açúcar

A palha da cana-de-açúcar passou por um processo manual de lavagem (Figura 20a) para retirada das impurezas e deixadas para secagem (Figura 20b) em temperatura ambiente.



Figura 20. Lavagem (a) e secagem (b) da palha da cana-de-açúcar.

Após passar por esses processos, a palha foi triturada em um moinho de facas da marca Solab, modelo SL-031 (Figura 21a). A trituração é uma técnica importante para reduzir a porosidade do material produzido, pois, de acordo com Madsen, Thygesen & Lilholt (2009), a porosidade apresenta influência negativa nas propriedades mecânicas dos compósitos produzidos a partir de fibras naturais. A Figura 21b apresenta a palha triturada no moinho de facas e peneirada com uma peneira de granulometria 30 mesh, o que equivale a 2 mm.

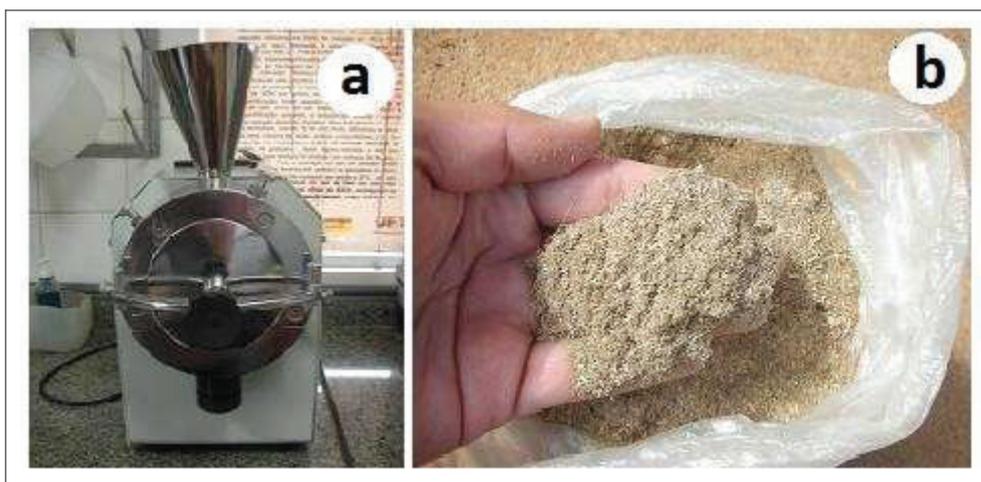


Figura 21. Moinho de facas(a) e palha triturada (b).

B) Determinação da proporção de água/palha

Foram realizados diversos testes (Figura 22) para verificar a proporção entre palha e água a ser utilizada, levando em consideração a agregação dos componentes. Para tanto foram mantidas a quantidade de palha, de resina e de endurecedor, variando apenas a água. Foi selecionada a proporção de palha em relação à água de 3:2, ou seja, 3 partes de palha para 2 de água.



Figura 22. Testes para determinação da proporção de água.

C) Mistura dos componentes

A fim de confeccionar os novos materiais, foi realizado o processo de homogeneização dos resíduos e adição de três percentuais (10, 30 e 50%) de palha de cana-de-açúcar calculadas em função da massa de resina utilizada para confecção das chapas. Foi utilizada uma batedeira doméstica da marca Mondial para a mistura dos componentes (Figura 23): palha de cana-de-açúcar, água, resina e endurecedor.



Figura 23. Mistura de componentes.

Foi utilizado um teor de endurecedor de 3% em relação ao peso da resina, que foi dissolvido em água de acordo com as recomendações do boletim técnico do Redemite.

D) Prensagem

Para a preparação dos compósitos foi utilizado um molde metálico com dimensões internas de 200mm x 200mm x 30mm, conforme Figura 24.



Figura 24. Molde metálico utilizado na preparação dos compósitos.

Os compósitos foram preparados em um molde metálico com a aplicação da mistura em seu interior. O material recebeu uma pré-prensagem, com a parte superior do molde mostrado na Figura 24, e em seguida foi conduzido à uma prensa Hidropneumática (Figura 25), marca NOWAK com capacidade de força de 30 toneladas (660 KgF/cm²).

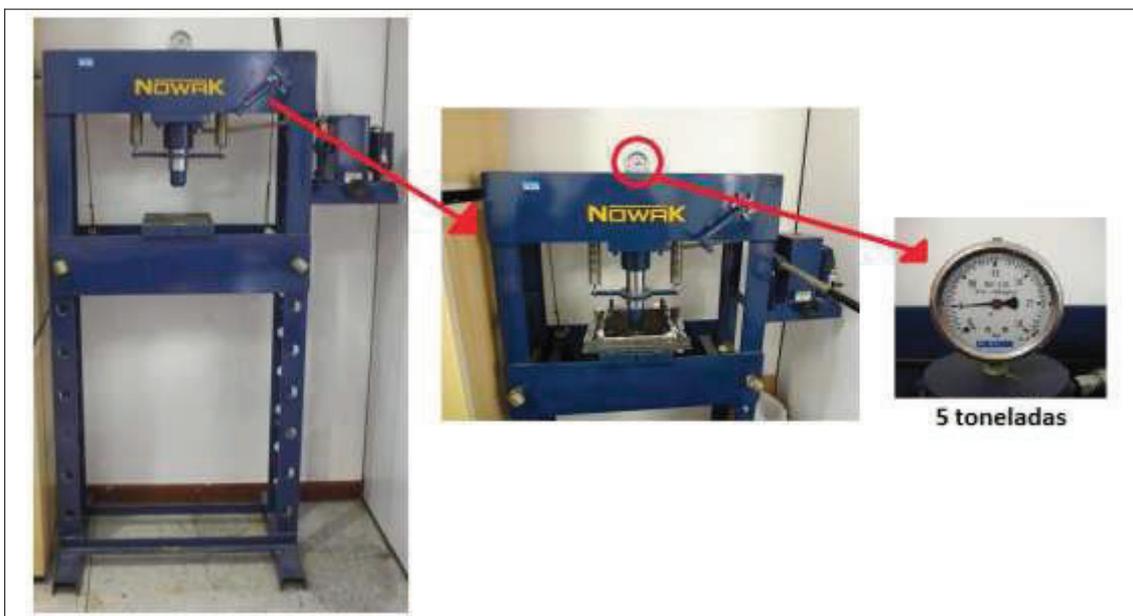


Figura 25. Prensa hidropneumática.

A prensagem do material foi realizada de duas maneiras distintas:

- ✓ Compressão a frio: Temperatura ambiente e carga de 5 toneladas
- ✓ Compressão a quente: Temperatura de $120 \pm 5^{\circ}\text{C}$ e carga de 5 toneladas.

A termomoldagem foi realizada como mostra a Figura 26.



Figura 26. Termomoldagem dos compósitos.

Para realizar a termomoldagem foi utilizado um aparato de material metálico acoplado a uma resistência, e o molde é posicionado sobre esse equipamento possibilitando assim a cura à quente do compósito.

E) Acondicionamento

Os materiais produzidos foram acondicionados, por um período de 72 horas prova devem ser acondicionados em câmara climática até, sob as condições preconizadas pela ABNT - NBR 14810, em que os corpos de atingir a umidade de equilíbrio, nas condições de $(65 \pm 5)\%$ de umidade relativa, e temperatura de $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$.

4.2.3 Determinação das Propriedades Físicas dos Compósitos

Para realização dos ensaios físicos utilizou-se a norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c). Os corpos de prova foram cortados, com o auxílio de uma serra, de acordo com as dimensões especificadas pela norma.

As propriedades físicas avaliadas nos novos materiais foram densidade, umidade, absorção de umidade e inchamento.

A) Densidade

Antes de calcular a densidade, é necessário a determinação de algumas dimensões, como largura, comprimento e espessura. Para definir a espessura dos corpos-de-prova a mesma deve ser medida em cinco pontos, como mostra a Figura 27.

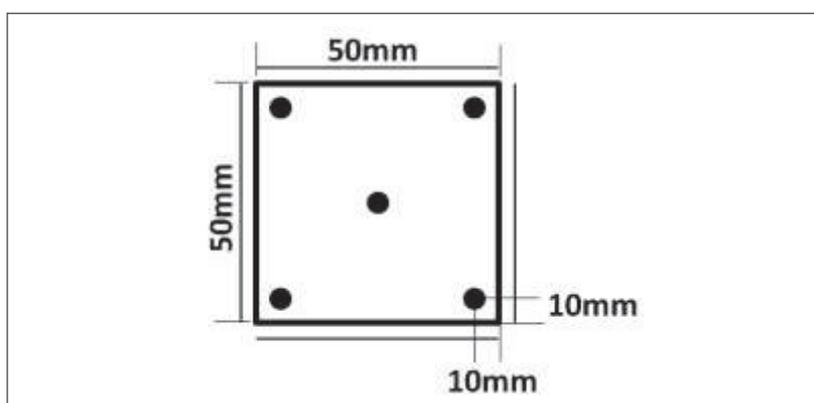


Figura 27. Pontos de medição da espessura no corpo-de-prova.

Após a medição da espessura nesses cinco pontos realiza-se a média aritmética dos mesmos, obtendo então o valor “*E*” a ser utilizado na Equação 9. Logo, mede-se a largura e o comprimento com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0,1mm. O peso das amostras foi aferido com balança semianalítica marca Tecnal modelo mark 4100, classe II.

Para determinar o volume do corpo de prova foi utilizada a Equação 9.

(9)

Onde:

=> *volume do corpo de prova (cm)*

=> *largura do corpo de prova (cm)*

=> *comprimento do corpo de prova (cm)*

=> *espessura do corpo de prova (cm)*

Para determinar a densidade dos corpos de prova foi utilizada a seguinte equação:

—

(10)

Onde:

=> *densidade do corpo de prova (g/cm³)*

=> *massa do corpo de prova (g)*

=> *volume do corpo de prova (cm³)*

O resultado deve ser a média das densidades dos corpos-de-prova ensaiados, expressos em gramas por centímetro cúbico.

B) Umidade

A determinação de umidade dos materiais compósitos, assim como do resíduo, foi realizada no Laboratório de Instrumentação Científica (LABIC) da UFT.

Primeiramente os corpos de prova foram pesados em balança semianalítica, obtendo assim a Massa Úmida (MU), em seguida eles foram levados à estufa com uma temperatura constante (103±2°C) até obter uma massa constante. Após o esfriamento eles foram pesados individualmente, obtendo a Massa Seca (MS). Esses valores foram então utilizados na Equação 11.

(11)

Onde:

=> *umidade residual do corpo de prova (%)*

=> *massa úmida do corpo de prova(g)*

=> *massa seca do corpo de prova (g)*

C) Inchamento em espessura

O ensaio de inchamento em espessura foi realizado conforme a NBR 14810-3 (ABNT, 2006c). Para tanto, a espessura dos corpos de prova foi aferida com auxílio de um paquímetro (Mundial). Logo após, foram submersos em água destilada (Figura 28).



Figura 28. Ensaio de inchamento e absorção.

Após 24 horas os corpos de prova foram retirados e o excesso de água foi retirado com auxílio de um papel absorvente. Uma nova mensuração da espessura foi realizada. O valor do inchamento da espessura foi calculado pela Equação 12.

(12)

Onde:

=> *inchamento em espessura do corpo de prova (%)*

=> *espessura após a imersão (cm)*

=> *espessura antes da imersão (cm)*

D) Absorção de água

A metodologia para determinação da absorção de água (Figura 28) é similar à de inchamento em espessura, porém ao invés de mensurar a espessura,

mensura-se o peso do corpo de prova, antes e após a imersão em água destilada. E o resultado é dado pela seguinte equação:

$$\frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (13)$$

Onde:

=> absorção de água pelo corpo de prova (%)

=> massa do corpo de prova após a imersão(g)

=> massa antes da imersão(g)

4.2.4 Determinação das Propriedades Mecânicas dos Compósitos

As propriedades mecânicas avaliadas nos novos materiais foram: resistência à compressão, resistência à flexão e módulo de elasticidade. Esses ensaios foram realizados no Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP – ULBRA), no Laboratório de Materiais e Estruturas.

O equipamento utilizado para a verificação das propriedades mecânicas dos compósitos foi a Máquina Universal de Ensaios – EMIC, modelo DL 3000.

A) Resistência à compressão

Foram medidas as dimensões da seção transversal dos corpos de prova e posicionada na máquina universal de ensaios mecânicos - EMIC. O EMIC foi acionado com uma velocidade de 0,12 mm/min para cada 25 mm de espessura, até as rupturas do corpo de prova, conforme norma ABNT - NBR 14810-3 (2006c), ilustrado na Figura 29.

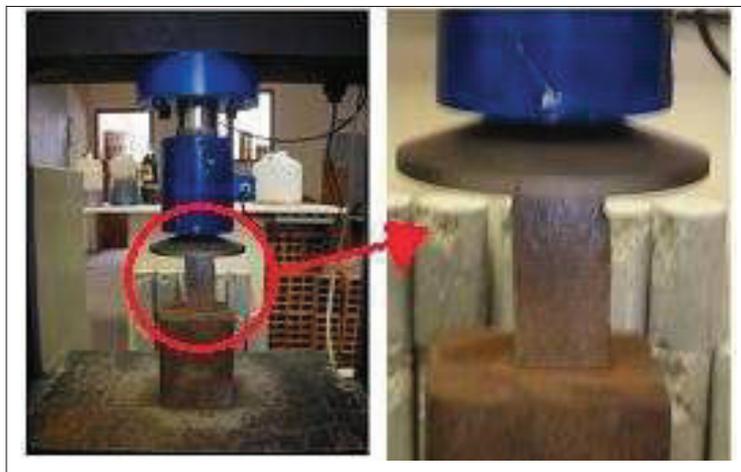


Figura 29. Ensaio de compressão.

Para o cálculo da compressão transversal foram utilizadas as Equações 14 e 15:

$$- \quad (14)$$

Onde:

=> compressão transversal (MPa)

=> força de ruptura (N)

=> área da seção transversal (mm²)

Para determinar a área da seção transversal utilizou-se a Equação 15.

(15)

Onde:

= área da seção transversal (mm²)

= largura do corpo de prova (mm)

= espessura do corpo de prova (mm)

B) Resistência à flexão

As extremidades do corpo de prova foram posicionadas sobre dois apoios da máquina universal de ensaios - EMIC, sendo que o comprimento do vão foi de 10 vezes a dimensão da espessura (Figura 30), de modo a aplicar a carga sobre o centro do corpo de prova, conforme determina a ABNT – NBR 14810-3 (2006c).

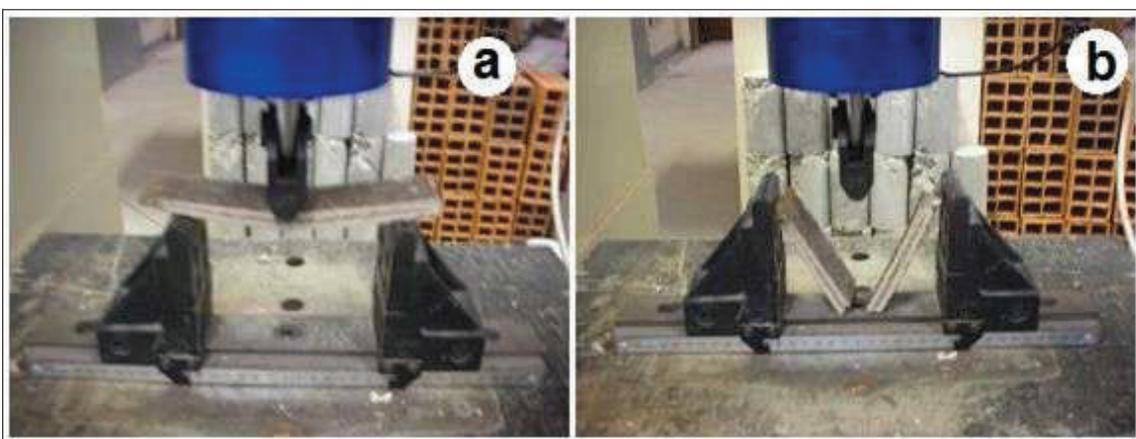


Figura 30. Ensaio de resistência à flexão.

O resultado da resistência à flexão foi dado por meio de leitura direta no equipamento utilizado. E também pode ser calculado pela Equação 16.

(16)

Onde:

- => *módulo de ruptura (MPa)*
- => *carga de ruptura (N)*
- => *distância entre os apoios (mm)*
- => *largura do corpo de prova (mm)*
- => *espessura média do corpo de prova (mm)*

C) Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é calculado a partir da Equação 17.

(17)

Onde:

- => *módulo de elasticidade (MPa)*
- => *carga no limite (N)*
- => *distância entre os apoios (mm)*
- => *deflexão correspondente à carga P1 (mm)*
- => *espessura média do corpo de prova (mm)*

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do Resíduo

O compósito produzido, de acordo com a classificação de Callister (2011), é um compósito reforçado por fibras descontínuas orientadas aleatoriamente.

A) Determinação da Densidade do Resíduo

Utilizando os valores da largura, comprimento e altura do resíduo na Equação 4, foi obtido o volume de cada amostra da palha. Os volumes das amostras foram de 0,069 cm³ a 0,427 cm³. Essa variação é explicada devido às diferentes dimensões dos corpos de prova.

O volume e a massa das amostras foram utilizados na Equação 5, sendo possível obter a densidade do resíduo, que variou entre 0,189 g/cm³ e 0,208 g/cm³, como mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Parâmetros utilizados no cálculo de densidade da palha da cana-de-açúcar.

Palha	Largura (cm)	Comprimento (cm)	Altura (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	1,50	9,52	0,03	0,427	0,085	0,199
2	1,23	8,30	0,03	0,298	0,062	0,208
3	0,70	5,11	0,03	0,105	0,020	0,190
4	1,32	7,31	0,03	0,289	0,057	0,198
5	1,46	4,56	0,03	0,200	0,040	0,199
6	1,13	5,31	0,02	0,120	0,025	0,207
7	0,97	6,80	0,03	0,198	0,037	0,189
8	0,75	4,62	0,02	0,069	0,014	0,196
9	0,87	8,75	0,03	0,228	0,046	0,202
10	1,16	9,63	0,02	0,223	0,044	0,196
MÉDIA						0,198

A densidade média da palha é de 0,198g/cm³. Essa densidade média foi obtida efetuando uma média aritmética das 10 amostras.

B) Determinação da Umidade do Resíduo

A umidade foi determinada no resíduo *in natura* e também após passar por trituração no moinho de facas.

As médias do teor de umidade da palha *in natura* e da palha triturada foram 5,80% e 11,99%, respectivamente. A diferença é de mais de 6% e pode ser justificada pelo fato de o resíduo *in natura* apresentar menor superfície de contato, assim quando submetido à estufa, este apresentou menor índice de perda de umidade, ou seja, de evaporação.

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos no ensaio para determinação de umidade do resíduo da cana-de-açúcar utilizado na confecção dos materiais compósitos.

Tabela 8. Teor de umidade da palha da cana-de-açúcar.

Amostra	TEOR DE UMIDADE (%)	
	Resíduo <i>in natura</i>	Resíduo Triturado
1	5,20	11,32
2	5,30	11,14
3	6,57	12,76
4	6,10	11,53
5	5,83	12,15
6	5,29	12,49
7	6,05	11,98
8	5,91	12,13
9	5,93	11,68
10	5,84	11,75
MÉDIA	5,80	11,99

Kollmann, Kuenzi e Satamm (1975) e Nascimento (2002) recomendam que o teor de umidade para produção de chapas de madeira, deve ser entre 3% e 12%, pois essa umidade permite uma boa penetração de colagem da matriz; afirmam ainda que partículas muito secas podem dificultar o manuseio, e as chapas produzidas com os mesmos tem grande possibilidade de apresentar defeitos nas bordas. Desta forma, o teor de umidade do resíduo utilizado na produção dos compósitos está em conformidade com o recomendado.

C) Matéria Seca

A amostra é formada por uma parte seca (matéria seca) e parte úmida (umidade), desta forma, quando somados resultam em 100% da amostra.

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de determinação do teor de matéria seca dos resíduos.

Tabela 9. Teor de matéria seca na palha da cana-de-açúcar.

Amostra	MATERIA SECA (%)	
	Resíduo <i>in natura</i>	Resíduo Triturado
1	94,80	88,58
2	94,70	88,76
3	93,43	87,14
4	93,90	88,37
5	94,17	87,75
6	94,71	87,41
7	93,95	87,92
8	94,09	87,77
9	94,07	88,22
10	94,16	88,15
MÉDIA	94,20	88,01

Quando se trata de logística de transporte de resíduo (no estudo em questão, é a matéria-prima para a fabricação do compósito), que é o transporte deste do local onde é gerado até o local onde serão confeccionados os compósitos, um alto teor de matéria seca é vantajoso, pois facilita o manuseio.

Essa pequena diferença entre os teores de matéria seca se dá pelo aumento da superfície de contato do resíduo triturado em relação ao *in natura*, assim há uma maior evaporação de umidade quando colocado na estufa e conseqüentemente menor percentual de matéria seca.

D) Teor de Cinzas

A Figura 31 apresenta a quantificação de matéria seca e umidade, sendo que a matéria seca foi segmentada em matéria orgânica, cinzas (matéria inorgânica).

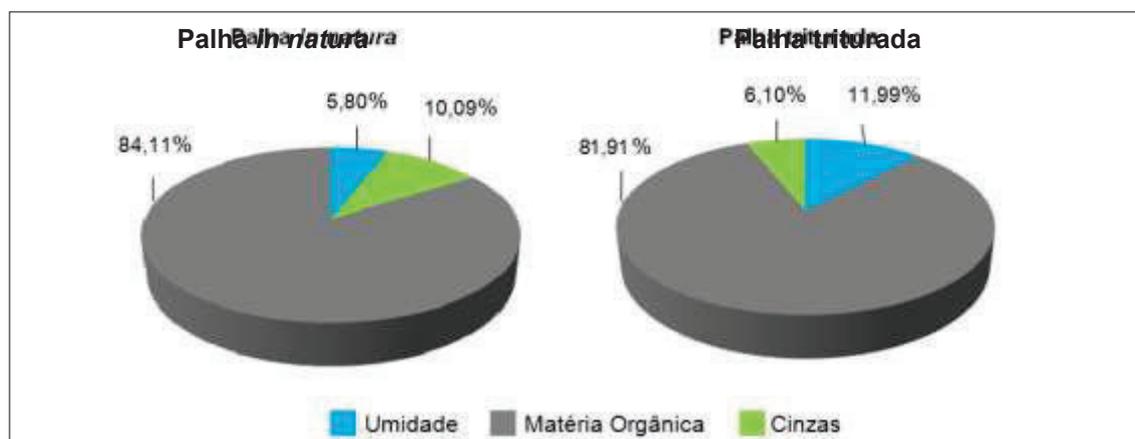


Figura 31. Quantificação da massa da palha da cana-de-açúcar.

Pode-se observar que quantidade de cinzas da palha triturada é inferior à da palha *in natura*, isto também apresenta relação com a área de superfície de contato

do material - assim como o teor de umidade apresentado no subitem B (páginas 42 e 43).

A palha triturada por apresentar uma maior superfície de contato, possui uma volatilização superior à da palha *in natura*, a queima da matéria orgânica ocorre de forma mais rápida e em maior quantidade.

De acordo com Vale *et al.* (2011) o teor de cinzas está relacionado com a presença de minerais provenientes, em parte, da adubação química como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros. Assim uma maior adubação química do solo proporcionará um valor mais acentuado de cinzas. Porém não é correto afirmar que o percentual encontrado nas análises representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização no aquecimento aplicado.

5.2 Caracterização do Compósito

Foram produzidos 240 corpos de prova de acordo com as dimensões especificadas na norma (NBR 14810), com espessura variando entre 15 mm e 17 mm. As dimensões de comprimento e largura variaram de acordo com o ensaio a que a peças seriam submetidas.

A variação da espessura pode ser justificada devido a percentuais diferentes de reforço e matriz, obtendo respostas diferentes quanto ao volume ocupado e conseqüentemente à densidade dos compósitos.

A nomenclatura para os compósitos foi definida da seguinte forma:

- ✓ CP: Corpo de Prova;
- ✓ F: Moldagem a Frio;
- ✓ Q: Moldagem a Quente;
- ✓ 10, 30 e/ou 50: representam o percentual de reforço (palha de cana) no compósito.

Um exemplo de denominação de compósito confeccionado a frio e com 10% de palha é CP_F10, e um compósito moldado a quente com 30% de palha é denominado CP_Q30.

5.2.1 Determinação das Propriedades Físicas do Compósito

A) Densidade

A densidade dos compósitos variou de 0,54 g/cm³ a 1,2 g/cm³, como mostra a Figura 32.

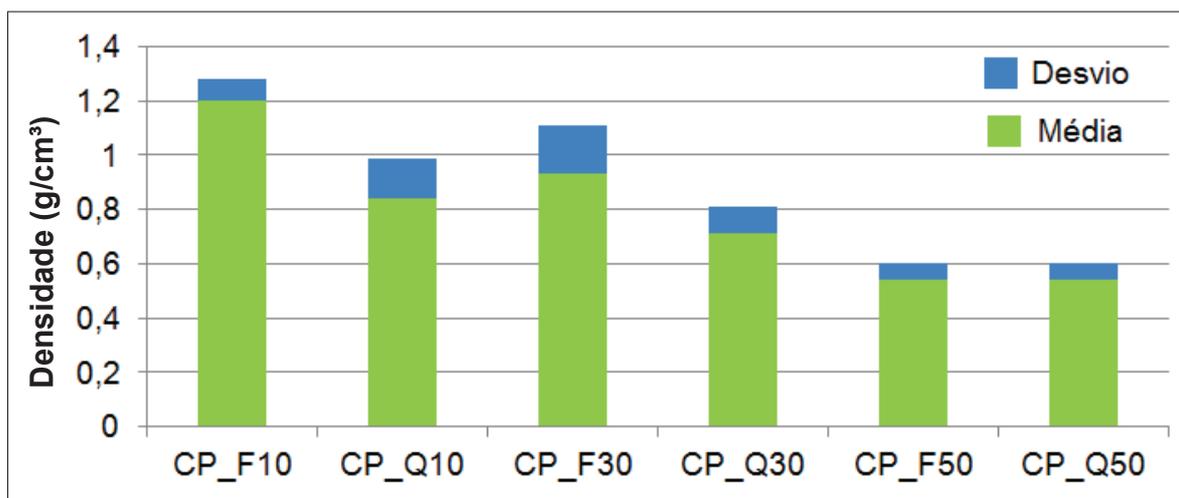


Figura 32. Densidade média dos compósitos.

Metade dos compósitos confeccionados apresentam densidades iguais ou superiores a 0,80 g/cm³, de acordo com Carneiro *et al.* (2004), chapas de madeira com essa faixa de densidade, são classificadas como chapas de partículas de alta densidade. Duas amostras apresentaram densidade inferior a 0,60 g/cm³, sendo classificadas então como de baixa densidade e apenas uma apresentou com densidade entre 0,60 e 0,79 g/cm³, sendo denominados de média densidade.

Os compósitos confeccionados a frio apresentam maior densidade, exceto o com 50% de reforço, quando comparado aos confeccionados a quente. Esse fato ocorre devido à evaporação da água durante a termomoldagem. A mesma variação não ocorre para os compósitos confeccionados com 50% de palha devido à quantidade de água em sua composição ser bem inferior, assim como a quantidade de resina.

Na Figura 33 é possível observar a variação da densidade em relação à quantidade de resíduo no corpo de prova. À medida que se acrescenta resíduo no compósito, ocorre uma redução na densidade do compósito e o inverso também é verdadeiro, independentemente do tipo de moldagem do compósito.

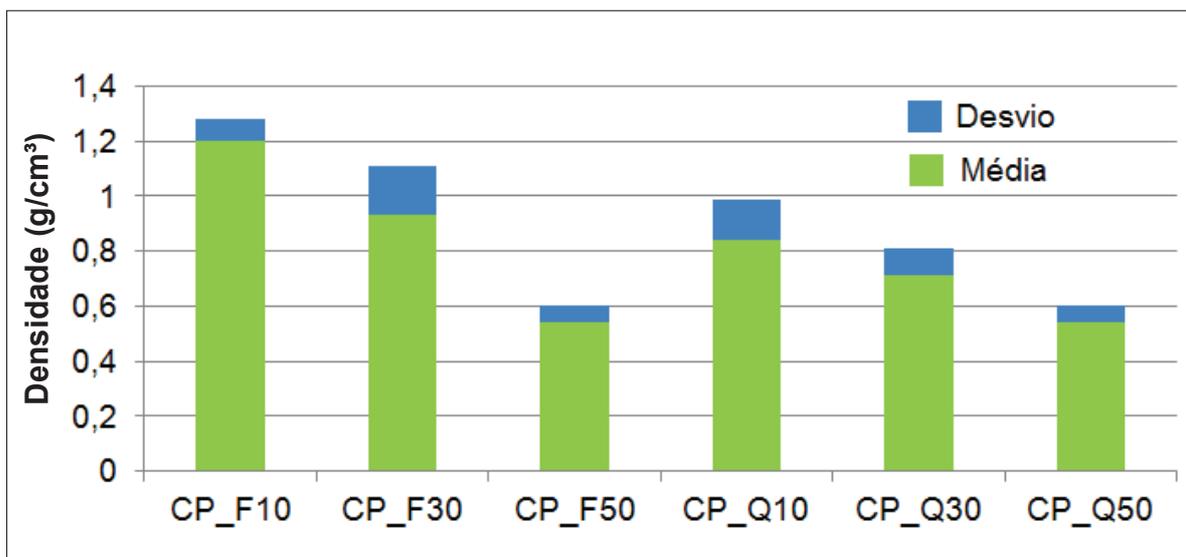


Figura 33. Densidade dos compósitos.

Essa variação na densidade é devido à variação da quantidade dos componentes que constituem o compósito, sendo que a resina é o componente mais denso e a palha o menos denso, logo, quanto maior o teor de resina e menor o de palha, mais denso será o componente e quanto maior o teor de palha e menor o de resina, menos denso.

A Tabela 10 apresenta valores de densidades de materiais compósitos confeccionados com diferentes reforços de fibras naturais, sendo que estes valores variaram de 0,54 g/cm³ a 1,2 g/cm³.

Tabela 10. Densidade de alguns compósitos com fibras naturais.

Autor	Fibra utilizada	Teor de fibra (%)	Densidade (g/cm ³)
Oliveira (2012)	Pinhão Manso	10 -75	0,85 – 1,4
Schneider <i>et. al.</i> (2006)	Girassol	10	0,87 – 0,93
Bonelli <i>et. al.</i> (2005)	Piaçava	5-15	0,96
Debiagi <i>et. al.</i> (2010)	Aveia/ cana-de-açúcar	5-10	0,86 – 0,97
Poletto <i>et. al.</i> (2011)	Madeira	10	0,54
Dias <i>et. al.</i> (2011)	Palha de arroz	20-30	0,84 – 1,25
Gomes (2011)	Pinhão manso	75	1,0 – 1,20
Presente trabalho	Palha de cana	10 - 50	0,54 – 1,20

Percebe-se que os valores obtidos neste trabalho apresentam-se semelhantes às médias dos teores de umidade encontrados na literatura, o que significa que os materiais produzidos possuem densidades condizentes com os dos demais trabalhos científicos realizados sobre o tema.

B) Umidade

Para determinação de umidade foram utilizados os mesmos 10 corpos de prova utilizados no ensaio de densidade. Isso é possível devido ao ensaio de densidade ser caracterizado apenas pela medição das dimensões dos compósitos.

A Tabela 11 apresenta os resultados do ensaio de umidade, para a determinação das umidades de todos os compósitos produzidos.

Tabela 11. Teor de umidade dos compósitos.

CP	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Umidade (g)	Umidade (%)
CP_F10	6,3613	5,6071	0,7542	11,86
CP_Q10	5,6605	4,9588	0,7017	12,35
CP_F30	5,8869	5,1531	0,7338	12,50
CP_Q30	4,3317	3,8536	0,4781	11,02
CP_F50	4,971	4,4528	0,5182	10,43
CP_Q50	3,7008	3,3303	0,3705	9,97

Há uma tendência para a redução do teor de umidade para os compósitos confeccionados pelo processo de termomoldagem, visto que neste processo há o aquecimento da mistura, provocando evaporação de água.

Observando a Figura 34, percebe-se que o percentual de umidade tende a reduzir com o acréscimo de fibras nos compósitos, independentemente do tipo de moldagem (quente ou frio).

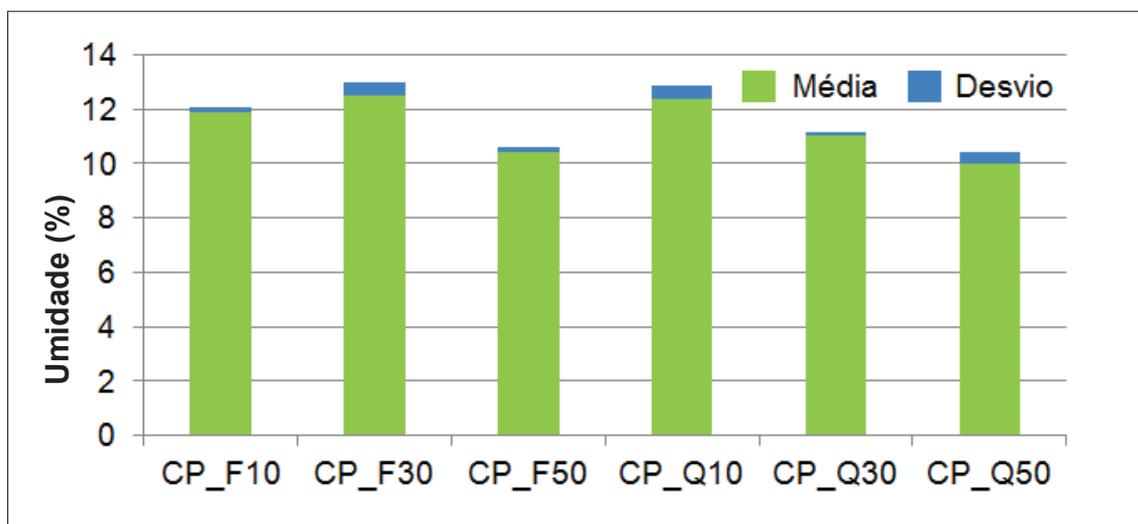


Figura 34. Umidade dos compósitos.

Esse fato ocorre devido à quantidade de água e resina (componentes que contém mais umidade) ser reduzida conforme aumenta o teor de resíduo, desta forma, quanto mais resíduo, menor a quantidade de água e resina, e consequentemente menor é o teor de umidade no compósito. O único dado que fugiu à regra, foi o CP_F30.

Os valores obtidos do teor de umidade dos compósitos situaram-se entre 9,97% e 12,50%. Esses valores estão em conformidade com os recomendados pela literatura, que são de 8% a 18% de umidade, para aglomerados, e também estão dentro da faixa de umidade encontrados na literatura, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12. Teor de umidade de alguns compósitos com fibras naturais.

Autor	Fibra utilizada	Teor de fibra (%)	Umidade (%)
Oliveira (2012)	Pinhão Manso	10 -75	7,45 – 9,06
Bonelli <i>et. al.</i> (2005)	Piaçava	5-15	5
Dias <i>et. al.</i> (2011)	Palha de arroz	20-30	6 – 15
Gomes (2011)	Pinhão manso	75	5,49 – 6,91
Assmann (2009)	Mamona	5 – 15	8 -12,8
Presente trabalho	Palha de cana	10 – 50	9,97 – 12,50

C) Inchamento em espessura

Neste ensaio foram utilizados 10 corpos de prova para cada tratamento, com as dimensões de 25 mm x 25 mm x 15 ± 2 mm.

A Tabela 13 apresenta os resultados do ensaio físico de inchamento em espessura, com base na norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006c) para os novos materiais.

Tabela 13. Inchamento em espessura.

Corpo de Prova	Tempo de Imersão	
	2h	24h
CP_F10	1,39%	1,77%
CP_Q10	2,53%	3,85%
CP_F30	2,74%	5,16%
CP_Q30	3,25%	5,34%
CP_F50	2,02%	2,86%
CP_Q50	2,52%	4,15%

Desta forma, todos os materiais estão dentro do recomendado pela norma (NBR 14810-3), inclusive os ensaios de inchamento sob 24 horas de imersão também apresentaram resultados inferiores a 8%, o máximo foi 5,34%.

Observando a Figura 35 percebe-se com clareza que todos os valores para inchamento em espessura são crescentes em relação ao tempo, ou seja, quanto maior o tempo de imersão, maior o inchamento em espessura.

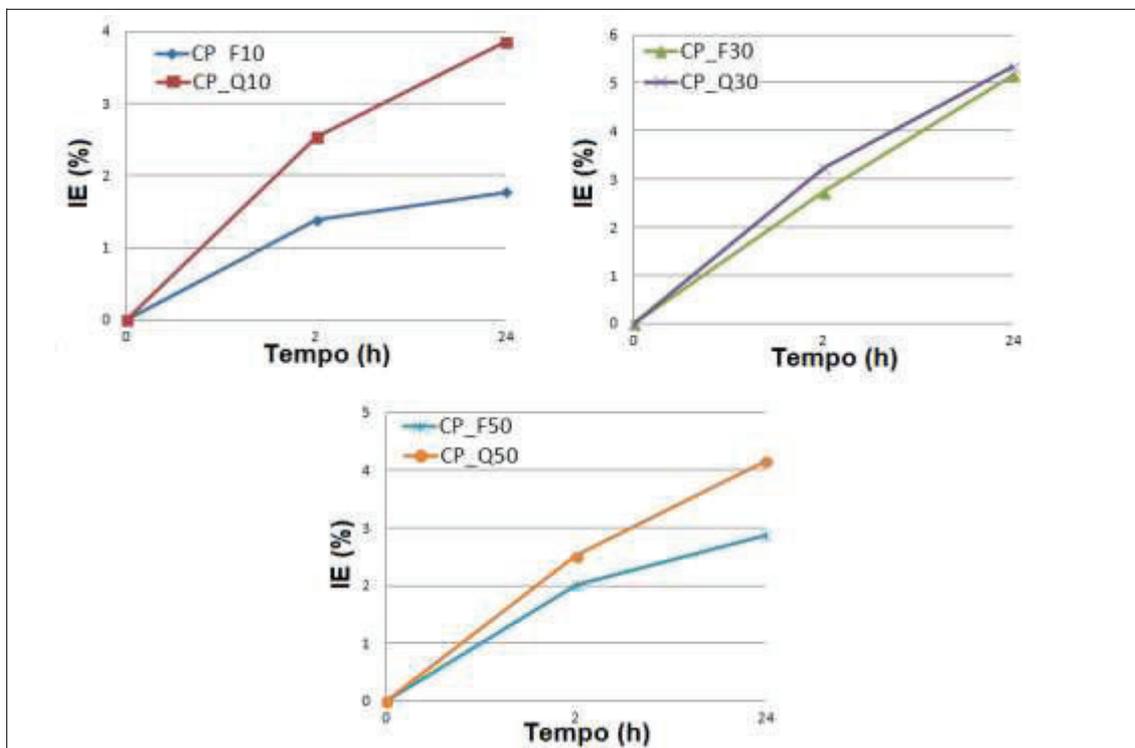


Figura 35. Inchamento em espessura dos compósitos.

Tem-se que os materiais com 30% de palha foram os que apresentaram maior percentual de inchamento em espessura, tanto para a moldagem a quente quanto a frio.

Os compósitos com 30% de reforço apresentam um maior inchamento em espessura em relação aos com 10% devido à quantidade de resina neste último ser muito superior, dificultando assim que a água integre o sistema, desta forma, o material absorve menos água e apresenta uma menor alteração em sua espessura.

E quanto aos compósitos com 50%, esses apresentam uma menor “dilatação” devido à sua constituição. Por apresentarem uma maior quantidade de palha e menor quantidade de resina, há formação de espaços vazios que em contato com a água são preenchidos sem haver a necessidade de expansão do material, além de palha também apresentar propriedade higroscópica.

A Figura 36 mostra a variação do inchamento em espessura em relação ao percentual de reforço (palha) presente no compósito.

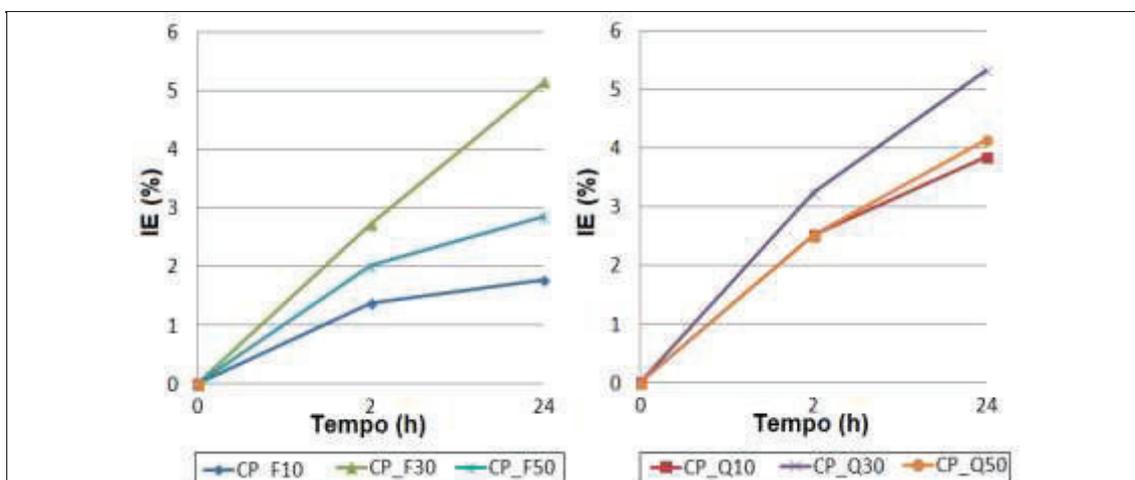


Figura 36. Inchamento em espessura dos compósitos.

Esses dados serão discutidos no próximo tópico devido à intensa relação entre os ensaios de inchamento em espessura e absorção de água, já que a alteração na espessura é devido à absorção de água pelo material.

D) Absorção de água

A partir da análise da capacidade de absorção de água pelo compósito pode-se recomendar a utilização do material em condições de umidade severa ou ambientes mais amenos (FREIRE, *et al.* 2011).

A Tabela 14 apresenta os resultados do ensaio para a determinação da absorção d'água dos compósitos.

Tabela 14. Absorção de água.

Corpo de Prova	Tempo de Imersão	
	2h	24h
CP_F10	0,69%	2,55%
CP_Q10	2,05%	3,87%
CP_F30	3,07%	7,29%
CP_Q30	16,18%	21,23%
CP_F50	13,57%	32,77%
CP_Q50	34,33%	46,60%

Os resultados obtidos no ensaio de absorção encontram-se dentro do valor máximo recomendado pela norma ABNT - NBR 14810-3 (2006c), que é de 35%, com exceção do CP_Q50, que apresentou resultado acima do referencial.

A absorção de água pelo corpo de prova apresenta um aumento inversamente proporcional ao percentual da matriz, isto é, a absorção de água é maior quanto menor for o teor de resina no compósito. Isso é ilustrado na Figura 37.

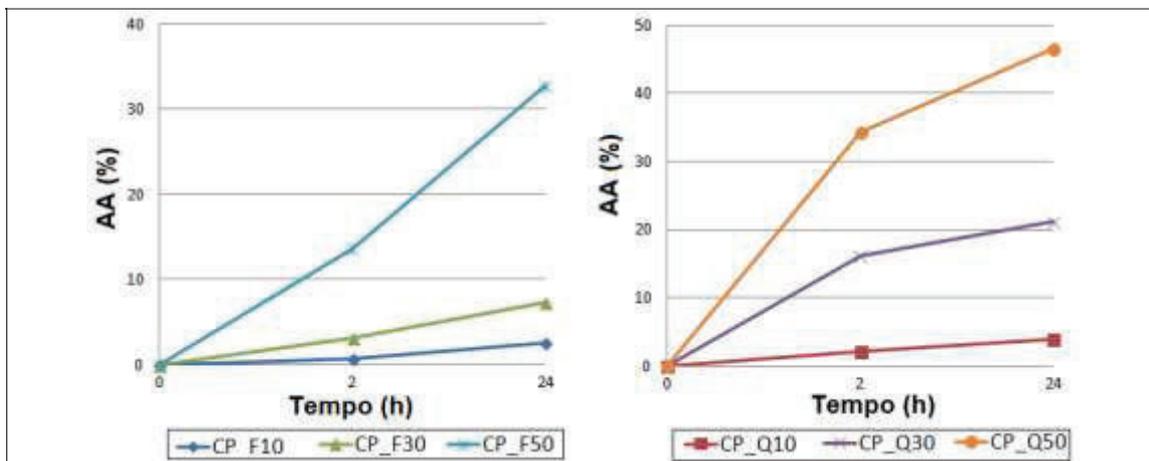


Figura 37. Absorção de água nos compósitos.

Os compósitos confeccionados por termomoldagem apresentaram maior absorção de água, como mostra a Figura 38. Este fato ocorre devido à perda de umidade do compósito no processo de moldagem a quente, assim o material possui maior capacidade de absorção de água.

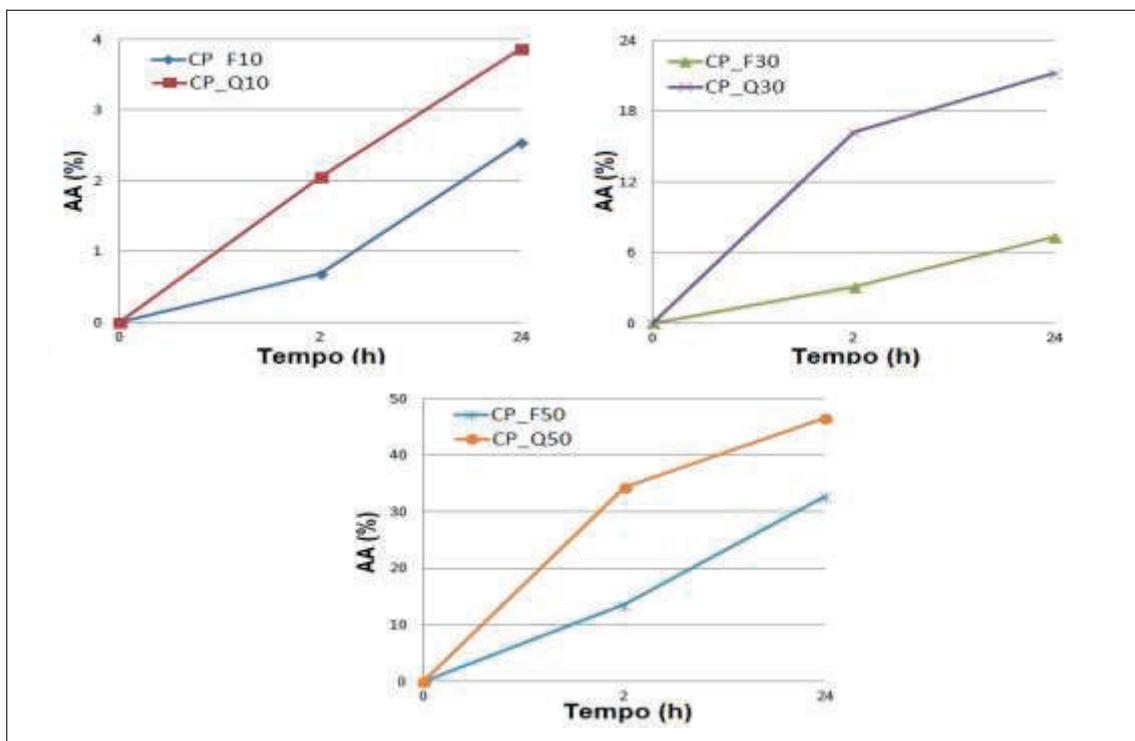


Figura 38. Absorção de água nos compósitos.

A absorção de água nos compósitos, assim como o inchamento em espessura, aumenta em relação ao tempo. Quanto mais tempo permanecer em contato com água, maior a absorção de água e maior o inchamento do material.

Esta propriedade de absorção de água afirma a possibilidade de o material poder ser utilizado em local que tenha contato com umidade, como foi o caso, por exemplo, do CP_F50, que apresentou absorção de água de mais de 45% de água sem desintegrar. Uma desvantagem da absorção de água é em relação ao transporte, devido ao aumento do peso. Caso seja do interesse de quem for confeccioná-lo, há a possibilidade de reduzir a absorção de água pelo material, com a utilização de pré-tratamento da palha e aplicação de revestimento que funciona como barreira física à penetração de água (FREIRE, *et al.* 2011).

É interessante destacar que o inchamento em espessura não é proporcional à absorção de água. Isso se deve às diferentes concentrações dos constituintes nos compósitos.

- ✓ Palha: é higroscópica, tem capacidade de absorver água, logo, quanto maior o teor de palha, maior a capacidade do compósito em absorver água.
- ✓ Resina desfavorece a absorção de água; quanto mais resina, menor a absorção;
- ✓ Proporção palha/resina: quanto maior o teor de reforço, menor o teor de resina, e, quanto maior for a proporção palha/resina, maior a formação de espaços vazios e maior a absorção de água pelo compósito.

Apesar de a proporção palha/resina favorecer a absorção da água, não apresenta aumento no inchamento em espessura, justamente, por a água estar ocupando esses espaços, o que justifica o inchamento em espessura do compósito com 30% de reforço ser superior ao de 50%, mesmo apresentando uma menor absorção de água.

Comparando os valores obtidos nesta pesquisa com os da Tabela 15, percebe-se que estão todos dentro dos padrões encontrados na literatura.

Tabela 15. Valores de inchamento em espessura e absorção de água.

Autor	Fibra utilizada	Inchamento após 2 h (%)	Inchamento após 24 h (%)	Absorção após 2 h (%)	Absorção após 24 h (%)
Gomes (2011)	Pinhão manso	0,32 a 7,82	1 a 20,13	0,28 a 12,02	7,43 a 33,55
Almeida (2011)	Serragem	0 a 8,4	0,81 a 16,37	8,6 a 91,08	19,25 a 103,04
Passerotti (2008)	Eucalipto	2,41 a 3,99	9,89 a 11,75	4,10 a 9,06	15,50 a 68,72
Presente trabalho	Palha de cana	1,39 a 3,25	1,77 a 5,34	0,69 a 34,33	2,55 a 46,60

F) Resultados Gerais

Os resultados de análises físicas iniciais obtidas nas diferentes porcentagens de reforço/matriz encontram-se resumidos na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16. Resultados das análises físicas.

Corpo de Prova	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Inchamento após 2 h (%)	Inchamento após 24 h (%)	Absorção após 2 h (%)	Absorção após 24 h (%)
CP_F10	1,2	11,86	1,39	1,77	0,69	2,55
CP_Q10	0,93	12,35	2,53	3,85	2,05	3,87
CP_F30	0,54	12,50	2,74	5,16	3,07	7,29
CP_Q30	0,84	11,02	3,25	5,34	16,18	21,23
CP_F50	0,71	10,43	2,02	2,86	13,57	32,77
CP_Q50	0,54	9,97	2,52	4,15	34,33	46,60

De modo geral, os painéis comportaram-se em conformidade com a norma para quase todos os parâmetros avaliados, entretanto pela análise geral, há uma tendência para a escolha dos compósitos CP_F10, CP_Q10 e CP_F30, pelos melhores resultados fornecidos.

5.2.2 Determinação das Propriedades Mecânicas do Compósito

A) Resistência à Compressão

A tensão de ruptura variou entre 0,21 MPa a 1,3 MPa, e a força de ruptura entre 466,79N e 2350,65N, sendo que o máximo valor obtido para compressão transversal foi de 1,9 MPa, no CP_F10 (1900 KPa) e a maior força de ruptura também foi para o CP_F10, de 3.869 N.

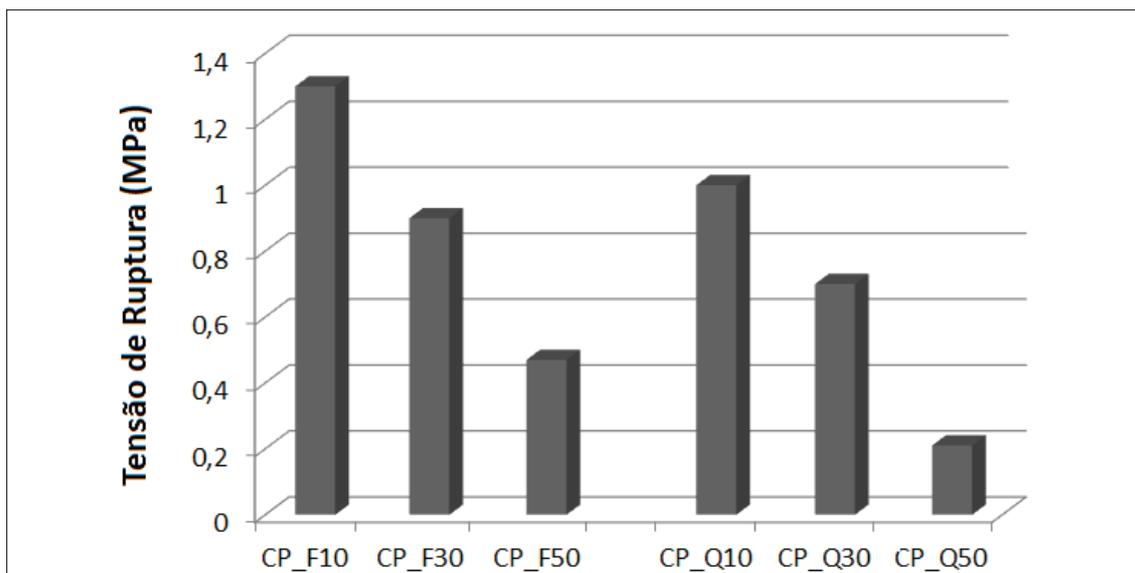


Figura 39. Tensão de ruptura dos compósitos.

Como observado na Figura 39, a porcentagem de resina - tanto para os compósitos moldados a frio (temperatura ambiente) quanto para os confeccionados por termomoldagem - é um fator determinante para uma melhor resistência à compressão, apresentando um acréscimo bastante significativo, sendo que o valor máximo constatado para a tensão de ruptura é 5 vezes maior que o mínimo quando se compara a elevação de resina em 40%.

Já na Figura 40 percebe-se que tanto a tensão de ruptura quanto a força de ruptura, para os materiais com mesmo percentual de reforço, são menores para os compósitos confeccionados por termomoldagem.

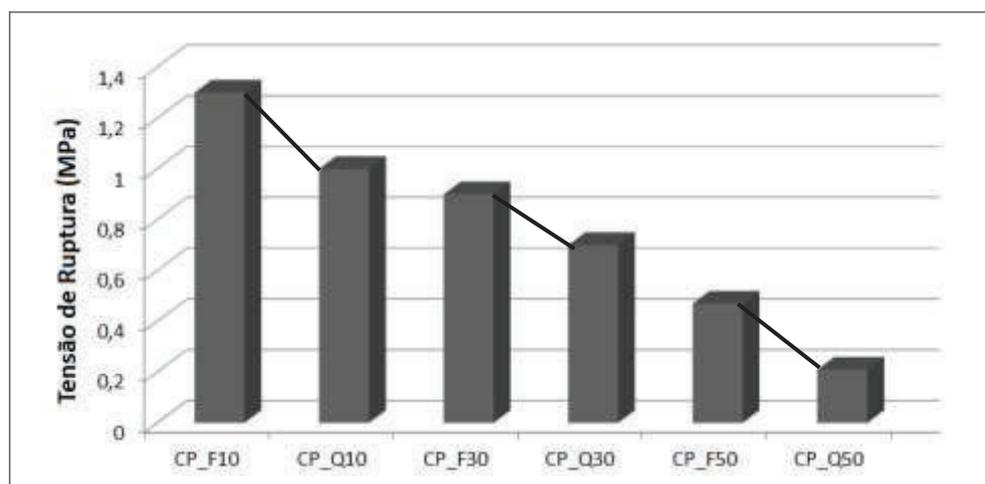


Figura 40. Tensão de ruptura dos compósitos.

Analisando esta propriedade em isolado, pode-se dizer que o método de moldagem a frio é mais interessante, visto que o compósito produzido em temperatura ambiente apresenta melhor resistência à compressão, além de ser um processo economicamente mais viável que a termomoldagem, pois não necessita a utilização de fonte de calor.

Os materiais que apresentaram melhor desempenho nos ensaios de resistência à compressão foram o CP_F10 e CP_Q10, com 10% de reforço, e foram reduzindo o desempenho de acordo com o aumento do teor de palha.

B) Resistência à Flexão

O ensaio de flexão, além de determinar a máxima resistência à flexão, determina também o Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE), o primeiro parâmetro variou de 1,19 a 4,17 MPa, enquanto que o último variou de 760,77 a 2500,20 MPa.

A Tabela 17 apresenta os valores médios para esses parâmetros, além da força de ruptura e resistência específica.

Tabela 17. Valores médios do módulo de ruptura e de elasticidade dos compósitos.

CP	Resistência específica (MPa)	Força de Ruptura (N)	MOR (MPa)	MOE (MPa)
CP_F10	11,31	60,33	3,39	1321,64
CP_Q10	13,70	73,02	3,32	3345,75
CP_F30	13,90	74,08	4,17	2500,20
CP_Q30	9,70	51,86	2,03	1455,30
CP_F50	5,40	28,57	1,19	760,77
CP_Q50	7,42	34,9	1,56	1169,63

Sobre o módulo de ruptura, o maior valor encontrado foi no material com 30% de reforço, confeccionado a temperatura ambiente, com 4,17 MPa, já o menor foi no compósito com 50% de palha, também confeccionado a frio, com 1,19 MPa.

Nenhum compósito obteve os valores mínimos do módulo de ruptura recomendado pela NBR 14.810 (ABNT, 2006b), que é de 16 MPa. Um possível fator responsável por esses baixos MOR é a relativamente baixa homogeneidade

dos painéis (manufatura artesanal), pois a ruptura por tração está intimamente ligada a defeitos localizados (ALMEIDA, 2011).

Observando a Figura 41 percebe-se que os materiais que apresentaram maiores valores para o módulo de elasticidade foram o CP_Q10, com 3345,75 MPa e o CP_F30, com 2500,20 MPa, e o CP_F50, que apresentou MOE 4 vezes menor que o máximo valor.

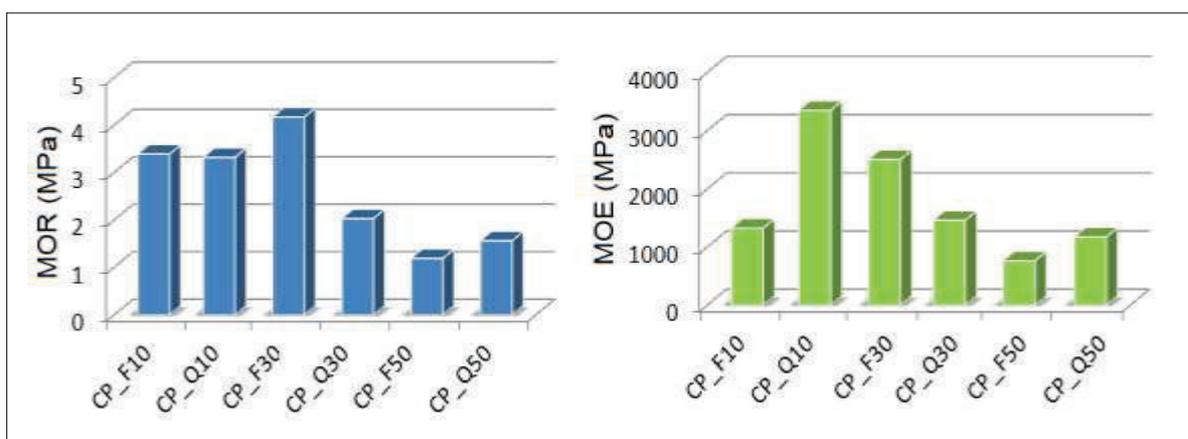


Figura 41. Módulo de ruptura e de elasticidade para os compósitos.

A Figura 42 apresenta os valores de resistência específica referente a cada material compósito e a força de ruptura, que são fornecidos diretamente pela máquina universal de ensaios – EMIC.

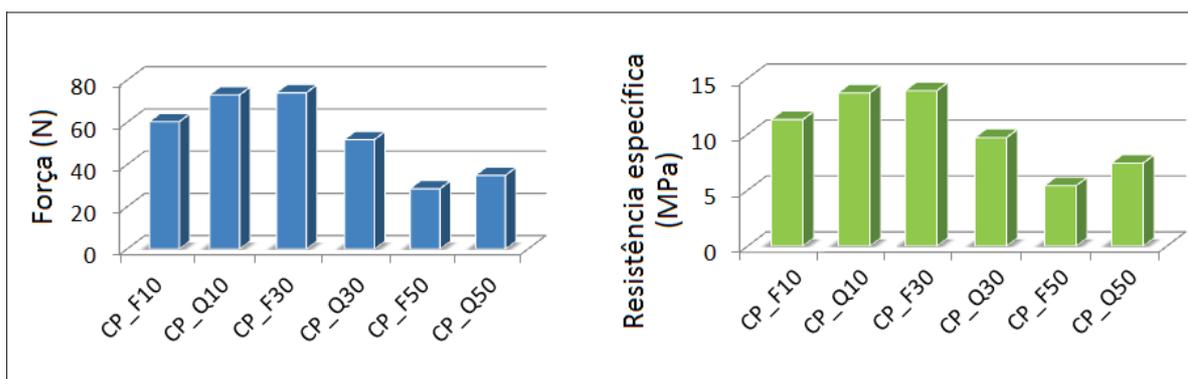


Figura 42. Resistência específica e força de ruptura dos materiais compósitos.

Os materiais que apresentaram melhores resultados de resistência à ruptura foram o CP_F30 e CP_Q10.

A Tabela 18 apresenta valores de MOR e MOE para alguns materiais compósitos encontrados na literatura.

Tabela 18. Valores do módulo de ruptura e de elasticidade de compósitos.

Autor	Fibra utilizada	MOE (MPa)	MOR (MPa)
Oliveira (2012)	Pinhão Manso	-	0,48 a 3,5
Bonelli <i>et. al.</i> (2005)	Piaçava	300 a 500	-
Barros Filho (2009)	Bagaço de cana	765,98 a 757,80	3,66 a 4,51
Gomes (2011)	Pinhão manso	361 a 1.136,54	1,29 a 8,55
Almeida (2011)	Serragem	99,37 a 513,99	2,09 a 4,79
Passerotti (2008)	Eucalipto	557,16 a 918,83	5,42 a 9,04
Bénézet <i>et. al.</i> (2012)	Diversas	91 a 228	1,77 a 4,14
ABNT (2006b)	-	-	a partir de 16
Presente trabalho	Palha de cana	760,77 a 2.500,20	1,19 a 4,17

Analisando os resultados obtidos e comparando com os encontrados na literatura, pode-se inferir que o material produzido apresenta-se com os valores de módulo de ruptura menores que os recomendados pela norma, porém dentro de intervalos encontrados por outros autores. Já com relação ao módulo de elasticidade, apenas um material, o com 10% de reforço confeccionado por termomoldagem, apresentou valor superior ao encontrado na norma e na literatura.

Partindo do princípio que a finalidade da dissertação foi o desenvolvimento de um material compósito utilizando um dos resíduos da agroindústria produtora de álcool, no caso, a palha da cana-de-açúcar, pode-se afirmar que a mesma pode ser utilizada para a produção de compósitos.

6. CONCLUSÕES

Algumas propriedades físicas e mecânicas deste novo material foram avaliadas. Em relação às propriedades físicas, os novos materiais apresentaram ótimos resultados:

- ✓ levando em consideração a densidade, foram classificados em chapas de partículas de alta densidade, média densidade e baixa densidade, sendo 50%, 16,67% e 33,33% dos compósitos respectivamente;
- ✓ a umidade permaneceu dentro da faixa recomendada pela literatura, entre 8 e 18%;
- ✓ nos ensaios de inchamento em espessura todos os materiais estão dentro do recomendado pela norma, apresentaram resultados inferiores a 8%, o máximo foi 5,34%;

Em relação às propriedades mecânicas, os compósitos avaliados apresentaram os valores do módulo de resistência inferiores ao exigido pelas normas para chapa de madeiras aglomeradas, porém, como mencionado anteriormente, os compósitos foram produzidos apenas com resina e palha de cana-de-açúcar.

Levando em consideração todos os parâmetros avaliados, os materiais que apresentaram melhores propriedades foram os CP_Q10 e CP_F30. Assim, o mais interessante para a produção, dos que foram fabricados e testados nesta pesquisa, seria o CP_F30, visto que as propriedades são semelhantes ao do CP_Q10, e possui as vantagens de utilizar um maior percentual de reforço (palha) e não utilizar calor em sua produção.

7. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros nesta linha de pesquisa é sugerido:

- ✓ Pesquisar uma faixa maior de percentuais de reforço ;
- ✓ Pesquisar a interação deste resíduo com outros tipos de matrizes;
- ✓ Verificar novas propriedades desses materiais compósitos;
- ✓ Pesquisar outras matrizes poliméricas;
- ✓ Analisar a interface dos compósitos com auxílio de microscopia eletrônica de varredura;
- ✓ Confeccionar compósitos com fibras tratadas e verificar o comportamento dos mesmos.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira. **Números**. 2013. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 17 mar. 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Chapas de madeira aglomerada – Parte 1 - Terminologia. Rio de Janeiro, 2006a. 5p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada – Parte 2 - Requisitos. Rio de Janeiro, 2006b. 4p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3**: Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006c. 51p.

ALMACO – ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. **Compósitos**. Disponível em:< <http://www.almaco.org.br/compositos.cfm>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

ALMEIDA, J. E. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com serragem e poliestireno expandido**. 2011. 114f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

ASSMANN, V. **Obtenção de compósitos termomoldados a partir da torta de mamona plastificada com glicerol, derivado do processo de transesterificação de óleos e gorduras**. 2009. 119p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerado à base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 116f. Dissertação (Mestrado) - Rede Temática em Engenharia de Materiais - REDEMAT, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

BENTO, D. A. **Fundamentos de Resistência dos Materiais**. Apostila (CEFET – SC). Curso Técnico de Mecânica. Florianópolis, 2003. 67p.

BLAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: celulose**. Brasília: BNDES, 2010. (BNDES Setorial, 32). Disponível em: <<http://www.BNDES.gov.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

BÉNÉZET, J. C.; STANOJLOVIC-DAVIDOVICA, A.; BERGERET, A.; FERRY, L.; CRESPIY, A. Mechanical and physical properties of expanded starch, reinforced by natural fibres. **Industrial Crops and Products**. 2011.

BNDES – BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL; CGEE – (coords.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro:BNDES, 2008. 314p.

BONELLI, C. M. C; ELZUBAIR, A.; MIGUEZ SUAREZ, J. C.; MANO. E. B. Comportamento térmico, mecânico e morfológico de compósitos de polietileno de alta densidade reciclado com fibra de piaçava. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 15, n. 4, p. 256-260, 2005.

BUNGE. **Bunge inaugura usina em Pedro Afonso (TO)**. Disponível em: <<http://www.bunge.com.br/Imprensa/bunge-inaugura-usina-em-pedro-afonso-to>>. Acesso em 06 de maio de 2014.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 705p.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da sulfitação dos taninos de *E. grandis* e *E. pellita* para produção de chapas de flocos**. 2002, 102f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CARNEIRO, A. C. O. *et al.* Propriedades de Chapas de Flocos Fabricadas com Adesivo de Uréia-Formaldeído e de Taninos da Casca de *Eucalyptus grandis* W.. **R. Árvore**, v.28, n.5, p.715-724, Viçosa, 2004.

CAVALHEIRO, A. J. *et al.* **Metabolômica de cana-de-açúcar e as relação com a produção de biomassa vegetal para bioenergia**. In LEMOS, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. (orgs.). Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação. São Paulo: Cultura acadêmica, 2012.1069p.

CGEE – CENTRO DE GESTÃO E ESTUDO ESTRATÉGICOS. **Materiais avançados no Brasil 2010 – 2022**. Brasília: CGEE, 2010. 360p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: Terceiro Levantamento (Dezembro/2010)**. Brasília: Conab, 2010.

_____. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: Terceiro Levantamento (Dezembro/2011)**. Brasília: Conab, 2011.

_____. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: Terceiro Levantamento (Dezembro/2012)**. Brasília: Conab, 2012.

_____. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar: Terceiro Levantamento (Dezembro 2013)**. Brasília: Conab, 2013.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização dos resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. 2004. 102f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

DANIEL, I. M.; ISHAI, O. **Engineering mechanics of composite materials**. 2. ed. Oxford University Press, 2006. 411p.

DEBIAGI, F.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 6, p. 1522-1529, 2010.

DIAS, A. B.; et. al. Mechanical and barrier properties of composite films based on rice flour and cellulose fibers. **LWT - Food Science and Technology**. n. 44. p. 535-542. 2011.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 120f. (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EL-SAIED, H; BASTA, A. H. A Study of the Effects of SSL on the Adhesion Property of Phenolic Resin in Production of Agro-Based Composite. **Pigment & Resin Technology**.v.35, n. 3, 2006, p.137–146.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar**. Disponível em: < <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013. 288p.

FRANCO, R. A. V. S. **Produção de componentes em materiais compósitos por infusão de resina**. 2008.102f. Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2008.

FREIRE, C. S. *et al.* Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. **Revista Floram - Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 175 -175, 2011.

GARCIA, A. *et. al.* **Ensaio dos Materiais**. LTC: Rio de Janeiro, 2012. 2 ed. 365p.

GOMES, G. S.; **Produção de compósitos a partir do resíduo agroenergético de pinhão manso (Jatropha curcas)**. 2011. 92f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Tocantins, Palmas, Tocantins, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos. Normas Analíticas. v. 1, 3 ed. São Paulo, 1985.

IWAKIRI, S. *et al.* **Painéis de madeira aglomerada** (2011). Disponível em <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassuo/setsuo-pma.pdf>> Acessada em 03 de março de 2011.

JESUS, R. C. **Processamento e caracterização de biocompósitos de PHB com fibras naturais de coco sisal acetiladas e não acetiladas**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

JOSHI, S. V. *et al.* Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforces composites?. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 35, p. 371-376, 2004.

JOVANOVIĆ, S. S. *et al.*, Thermal Behavior of Modified Urea–Formaldehyde Resins. **Springer**. JTherm Anal Calorim, 2010.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM A. J. Principles of wood science and technology. Wood based materials. Properties of Particleboard. Nail-Holding and Screw-Holding Ability. New York, p 523 – 529. 1975.

LEITE, A. A. L. *et al.* **padronização da técnica utilizada no preparo de resina à base de uréia-formaldeído para as aulas práticas de química**. Anuário de Produção Acadêmica Docente. v. 2, n. 3, 2009.

LEMO, E. G. M.; STRADIOTTO, N. R. (orgs.). **Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2012.1069p.

MACEDO, I. C. **Situação atual e perspectivas do etanol**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59. p.157-165, 2007.

MACIEL, A. S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de Pinus elliottii ou Eucalyptus grandis em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001. 116f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MACIEL, A. S., *et al.* Painéis de partículas aglomeradas de madeira de Pinus elliottii Engelm., poliestireno (PS), e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 257-266, 2004.

MADSEN, B.; THYGESEN, A.; LILHOLT, H. Plant fibre composites – porosity and stiffness. **Composites Science and Technology**. v. 69, p. 1057–1069, 2009.

MAPA- MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar**. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

MARINELLI, A. L. *et al.* Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 18, n. 2, p 92 -99, 2008.

MATTOS, R. L. G; GONÇALVES, R. M; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MENDES L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, n.71, p.12-20, 2003.

MILAGRES E.G; *et al.* Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e PEAD. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.3, p.463-470, 2006.

MOHANTY, A. K. *et al.* Effect of process engineering on the performance of natural fiber reinforced cellulose acetate biocomposites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 35, p. 363-370, 2004.

MORAIS, D. S., NEVES, O. N. E.; DIAS C. G. B. T. **Análise das propriedades mecânicas de compósitos biodegradáveis à base de pectina/eva reforçados com fibra de coco**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de materiais. Foz do Iguaçu, 2006.

NASCIMENTO, M. F. **CPH: Chapas de Partículas Homogêneas - Madeira do Nordeste do Brasil**. 2002, 153f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Carlos , 2002.

NASCIMENTO, M. F. **CPH: Chapas de Partículas Homogêneas- madeira do nordeste do Brasil**. 2002, 153f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) Universidade de São Paulo.

NOVA CANA. **A cana-de-açúcar como fonte de energia elétrica**. 2013. Disponível em: <<http://www.novacana.com/estudos/a-cana-de-acucar-como-fonte-de-energia-eletrica-241013/>>. Acesso em: 15 maio 2013.

OLIVEIRA, L. M. **Obtenção de materiais compósitos biodegradáveis a partir de amido plastificado, reforçados com torta de pinhão manso**. 2012. 73f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Tocantins. Palmas, Tocantins, 2012.

OLMOS, M. A. C. **Equipamento e processo de fabricação de chapas de madeira aglomeradas a partir de resíduo de madeira**. 1992. 110p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, 1992.

ORTEGA FILHO, S. **O potencial da agroindústria canavieira do Brasil**. Serrana: PHB Industrial S. A. 2003. 9 p.

PASSEROTTI, G. F. A. **Produção e caracterização de painel de partículas homogêneas (CPH) a partir de *Eucalyptus sp.* E adesivo poliuretano bi-componente**. 2008. 80p. Monografia (Graduação). Universidade Estadual Paulista, 2008.

PEDRINI, J. A. Moagem de cana em usinas de SP são paralisadas. **Revista Plantar** (on line). 2012. Disponível em: <<http://www.revistaplantar.com.br/moagem-de-cana-em-usinas-de-sp-sao-paralisadas/>>. Acesso em: <06 de maio de 2014>.

POLLETO, M.; DETTENBORN, A. J.; ZATTERA, M. Z. Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo e serragem de *Pinus elliottii*. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v.13, n.3, p. 169 – 177. 2010.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. 2006. , 189f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

REDELEASE. **Endurecedor G**. Boletim Técnico. São Paulo, 2010a.

REDELEASE. **Redemite**. Boletim Técnico. São Paulo, 2010b.

RODRIGUES, A., *et al.* Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir da vinhaça. **Acta Iguazu**. Cascavel, n.2, p 80 – 93, 2012.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de Resíduos da Madeira de Candeia (*Eremanthuserythropus*) para Produção de Chapas de Partículas**. 2008, 159f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SATYANARAYANA, K. G.; ARIZAGA, G. G. C.; WYPYCH, F. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers: An overview. **Progress in Polymer Science**. v.34, p. 982–1021. 2009.

SCHNEIDER, R. C. et. al. **Obtenção e caracterização de compósitos de termoplásticos e resíduos da produção de óleo de girassol**. In: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2006.

SEABRA J. E. A. **Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações**. 2008. 274f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SEAGRO – SECRETARIA DE AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Tocantins tem maior produção de cana-de-açúcar da Região Norte**. 2013. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br/>>. Acesso em: 14 mar. 2013.

SMITH, H. F. **Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. Portugal: McGraw-Hill, 1998.

SUPERBIA, F. F.; DE PAULA, N. F. **Utilização da palha de cana de açúcar para produção de papel artesanal**. In: IV semana de tecnologia do curso de biocombustíveis da faculdade de tecnologia de Jaboticabal. Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, v.3, 2011.

TEIXIERA, D. E.; MOREIRA, J. M. M. A.; COSTA, A. F. Confecção de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 72-80, 2002.

TORQUATO, L. P. et. al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de painéis de fibras de média densidade (MDF) produzidos pelas indústrias brasileiras. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2. p. 275-280, 2010.

UNICA – UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Safra 2013/2014 tem oferta recorde de etanol no centro-sul, desempenho com pouca possibilidade de se repetir no futuro**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

VALE, A.T. *et al.*, Potencial Energético da Biomassa e do Carvão Vegetal do Epicarpo e da Torta de Pinhão Manso (*Jatropha curcas*). **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciências dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2008. 427p.