



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUI
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DOS MATERIAIS

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS EPÓXI/CORTIÇA PARA
APLICAÇÃO NÃO-ESTRUTURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

JULIENNE CAVALCANTE

Orientador (a): Prof^a Dr^a. Renata Barbosa

Teresina - Piauí

2018

JULIENNE CAVALCANTE

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS EPÓXI/CORTIÇA PARA APLICAÇÃO
NÃO-ESTRUTURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Renata Barbosa

Teresina - Piauí

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

C377d Cavalcante, Julienne.
Desenvolvimento de compósitos epóxi/cortiça para aplicação não-estrutural na construção civil / Julienne Cavalcante. – 2018.
85 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2018.

“Orientadora: Prof^a. Dr^a. Renata Barbosa”.

1. Ciência dos Materiais. 2. *Hand lay-up*. 3. Carga Vegetal. 4. Resina Termofixa. 5. Tratamento Alcalino.

I. Título.

CDD 620.112

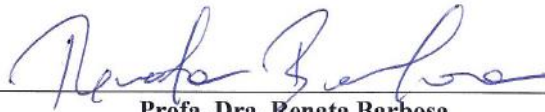
JULIENNE CAVALCANTE

**“DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS EPÓXI/CORTIÇA PARA
APLICAÇÃO NÃO-ESTRUTURAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**


Dissertação submetida à coordenação do curso de Pós-graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal do Piauí, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Ciência dos Materiais.

Aprovada em: 02/07/2018

Banca Examinadora:



Profa. Dra. Renata Barbosa
Universidade Federal do Piauí
Orientadora



Profa. Dra. Tatianny Soares Alves
Universidade Federal do Piauí
Examinadora Interna



Profa. Dra. Joyce Batista Azevedo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinadora Externa

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa e amor da minha vida, Érica Brito dos Santos. Você é a mulher mais incrível e forte desse mundo, que sorte a minha.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me proporcionar viver tantas coisas lindas e me dar força extra nos últimos 7 meses.

Agradeço à minha esposa Érica por tanto amor, por me motivar diariamente, me apoiar em tudo e principalmente por me proporcionar realizar o sonho de voltar a estudar depois de 8 anos trabalhando na indústria.

Agradeço ao Senhor Luigi por todos os conselhos durante as dificuldades.

Agradeço à Prof. Dr^a. Renata Barbosa por ter me aceitado no grupo LAPCON- UFPI, por toda a paciência e dedicação ao trabalho e por todos os ensinamentos durante esse período.

Agradeço à Prof. Dr^a. Tatianny Soares Alves pela colaboração com este trabalho, por suas correções que foram de grande importância para o resultado. Adicionalmente, por todos os puxões de orelha, dedicação e ensinamentos.

Agradeço à Prof. Dr^a. Joyce Batista de Azevedo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela disponibilidade, atenção e principalmente por ter aceitado o convite para a participação na banca examinadora.

Agradeço ao Prof Dr. José Milton por ter aceitado o convite para participação na banca examinadora de qualificação e por todas as suas contribuições.

Agradeço à minha amiga Thainá, tenho total gratidão à sua amizade, esforço e ensinamentos ao longo do mestrado e principalmente muito obrigada por ter paciência em me explicar tantas coisas novas da vida acadêmica.

Agradeço aos alunos do grupo LAPCON- UFPI, “Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados” que contribuíram nesta pesquisa de alguma forma.

Agradeço aos amigos: Júnior, Dílson, Luís, Paloma, Jailson, Carol e Bruno que me deram suporte nos momentos tensos e colaboraram de alguma forma com esse trabalho.

Agradeço às minhas amigas de vida: Marina e Aurea por inúmeras ajudas.

Agradeço a Danielle Castro e Juliana (por paz e afeto); e a Hyaponira (por me motivar intensamente e me alegrar).

Agradeço ao amigo Gerson da Empresa Purcom – SP (plataforma de soluções em poliuretano), por acreditar no meu esforço, trabalho e por suas ligações motivadoras.

À Coordenação do Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV (UFPI), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais (UFPI), ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelos espaços concedidos para realização de parte da pesquisa experimental.

À CAPES pelo apoio financeiro.

RESUMO

Materiais compósitos são uma alternativa para diversas aplicações no ramo da construção civil devido a sua baixa densidade, boas propriedades mecânicas e formas de processamentos similares aos materiais poliméricos tradicionais. O presente trabalho teve como objetivo a obtenção e caracterização de compósitos poliméricos produzidos a base de resina epóxi utilizando 10% e 12% de cortiça em pó com e sem tratamento alcalino. Os compósitos foram preparados por meio da técnica *Hand lay-up* e caracterizados por ensaios mecânicos de resistência à flexão e resistência ao impacto, inflamabilidade, molhabilidade, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia óptica (MO). O percentual de cortiça, o tratamento químico realizado na carga vegetal e a interação entre matriz/carga influenciaram diretamente às propriedades mecânicas dos compósitos, diminuindo a sua ductilidade. A partir das imagens de (MEV) e (MO) foi observada a presença de defeitos devido à baixa interação dos componentes, e os resultados do ângulo de contato permitiram conhecer o comportamento da superfície do material em contato com a água, destacando assim, que o compósito com 10% da cortiça tratada quimicamente adquiriu um caráter hidrofóbico. Verificou-se também que ao adicionar cortiça *in natura* ocorreu um aumento na velocidade de queima do material. Dessa forma, com base nos valores encontrados das propriedades mecânicas e no comportamento da superfície do material avaliado pela medida do ângulo de contato foi possível ressaltar que o uso dos compósitos com pó de cortiça e resina epóxi pode ser uma boa alternativa na construção civil, por exemplo, em paredes secas (*drywall*).

Palavras-Chave: *Hand lay-up*, carga vegetal, resina termofixa, tratamento alcalino.

ABSTRACT

Composite materials are an alternative to various applications in the civil construction industry due to their low density, good mechanical properties and processing forms similar to traditional polymeric materials. The present work had the objective of obtaining and characterizing polymer composites based on epoxy resin using 10% and 12% of cork powder with and without treatment. The composites were prepared using the Hand lay-up technique and were characterized by mechanical tests of flexural strength and impact resistance, flammability, wettability, scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy (OM). The percentage of cork, the alkaline chemical treatment carried out in the vegetal load and the interaction between matrix / load directly influenced the mechanical properties of the composites, reducing their ductility. From the images of (SEM) and (MO) it was observed the presence of defects due to the low interaction of the components, and the results of the contact angle allowed to know the behavior of the surface of the material in contact with the water thus highlighting the composites 10% chemically treated cork have acquired a hydrophobic character. It was also verified that when adding cork in nature an increase in the speed of burning of the material occurred. Based on the values of the mechanical properties and the behavior of the surface of the material evaluated by the measurement of the contact angle, it is possible to emphasize that the use of composites with cork powder and epoxy resin can be a viable alternative in civil construction, drywall (drywall).

Key words: Hand lay-up, vegetal load, thermoset resin, alkaline treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Classificação dos compósitos segundo a matriz.	22
Figura 2 Classificação dos materiais compósitos segundo sua fase dispersa: particulado ou reforçado por fibras.	23
Figura 3 Representação de uma molécula de resina epóxi DGEBA	25
Figura 4 MEV com amplitude de 500X da célula da cortiça.	27
Figura 5 Consumo de cortiça por setores em 2014	32
Figura 6 Esquema exemplificativo da aplicação de cortiça em uma construção	33
Figura 7 Divisórias em drywall.	34
Figura 8 Consumo de chapas drywall no Brasil (mil m ²)	35
Figura 9 Processo esquemático da impregnação manual de resina (<i>Hand Lay Up</i>).	36
Figura 10 Etapas de preparação do molde de Silicone a) placa de acrílico com amostras de referência para os ensaios; b) silicone vertido nas amostras; c) molde final de silicone	44
Figura 11 Esquema de preparação da solução alcalina	45
Figura 12 Fluxograma da modificação química da cortiça – Tratamento Alcalino....	46
Figura 13 Fluxograma de produção dos compósitos com e sem tratamento alcalino no pó de cortiça.	47
Figura 14 Corpos de prova da resina pura e dos compósitos	48
Figura 15 Medida do ângulo de contato por meio do programa SurfTens	51
Figura 16 Micrografias ópticas com magnitude de 40x da superfície da resina epóxi e dos compósitos (a) Ep. Pura – resina epoxi; (b) Ep/C ST 10; (c) Ep/C CT 10; (d) Ep/C ST 12; (e) Ep/C CT 12.....	53
Figura 17 Micrografias ópticas com magnitude de 40x da superfície de fratura dos compósitos (a) Ep/C ST 10; (b) Ep/C CT 10; (c) Ep/C ST 12; (d) Ep/C CT 12.....	54
Figura 18 Micrografias MEV com magnitude de 500x da resina pura (a) Ep. pura e da superfície de fratura dos compósitos: (b) Ep/C ST 10, (c) Ep/C CT 10 (d) Ep/C ST 12, (e) Ep/C CT 12.	56
Figura 19 Módulo de elasticidade da resina pura (Ep. Pura) e dos compósitos (Ep/C ST 10; Ep /C CT 10; Ep /C ST 12; Ep /C CT 12).	58
Figura 20 Deformação máxima x Teor de cortiça dos compósitos.	61

Figura 21 Efeito do teor de cortiça sob as propriedades mecânicas de um compósito	62
Figura 22 Resistência ao impacto x Teor de cortiça dos compósitos	65
Figura 23 Diferentes posições de formação de vazios ou bolhas: a) entre as partículas e b) vazios junto às partículas.	66
Figura 24 Ilustração dos tipos de poros presentes em compósitos	67
Figura 25 Velocidade Média de queima x Teor de cortiça.....	69
Figura 26 Representação do ângulo de contato (a) maior do que 90°, (b) menor do que 90° e (c) espalhamento total.....	71
Figura 27 Ângulo de contato x Teor de cortiça	72
Figura 28 Representação da gota de água sob a superfície dos materiais, (a) Ep.pura; (b) Ep/C ST 10; (c) Ep/C CT 10; (d); Ep/C ST 12; (e) Ep/C CT 12.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Propriedades do sistema.	42
Tabela 2 Características do pó de cortiça.....	43
Tabela 3 Formulação e legendas dos compósitos.....	48
Tabela 4 Módulo de elasticidade da resina pura e dos compósitos.....	59
Tabela 5 Deformação Máxima e Força Máxima Suportada.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ASTM	Sociedade Americana para materiais e testes
°C	Grau Célsius
Cm	Centímetro
CPs	Centipoise por segundo
DGEBA	Diglicidil éter de bisfenol A
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
EP	Epóxi pura
EP/C ST	Epóxi pura com cortiça sem tratamento
EP/C CT	Epóxi pura com cortiça com tratamento
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier
g	gramas
g/mol	gramas/ mol
g/L	gramas/ litro
GPa	GigaPascal
IFPI	Instituto Federal do Piauí
J/m	Joule por metro
kN	KiloNewton
Kw	KiloWatt
kg/f	Kilograma/ força
L	Comprimento

LAPCON	Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados
m ²	metro quadrado
m	Massa
mm	Milímetro
M	Molaridade
MM	Massa molar
MPa	MegaPascal
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MO	Microscopia óptica
NaOH	Hidróxido de sódio
RC	Retardante a chama
μm/mm	Micrômetro por milímetros
μl	Microlítro
t	Tempo
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPI	Universidade Federal do Piauí
V	Velocidade
θ	Ângulo
%	Porcentagem
>	Maior
<	Menor
°	Grau

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Preparação da Solução Alcalina de Hidróxido de Sódio.....	44
Equação 2 – Taxa de queima das amostras.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 OBJETIVO GERAL	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 COMPÓSITOS	22
3.1.1 Matriz polimérica.....	24
3.2 RESINA EPÓXI	25
3.2.1 Cura	26
3.3 CORTIÇA	27
3.3.1 Tratamento alcalino.....	29
3.4 COMPÓSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	30
3.4.1 Drywall.....	33
3.5 Processamento de Compósitos – <i>Hand lay up</i>	36
3.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA	38
4 PARTE EXPERIMENTAL	42
4.1 MATERIAIS	42
4.1.1 Resina epóxi e endurecedor	42
4.1.2 Silicone	42
4.1.3 Cortiça	43
4.1.4 Hidróxido de Sódio (NaOH)	43
4.2 MÉTODOS	43
4.2.1 Preparação do molde de silicone.....	43
4.2.2 Preparação da Solução Alcalina de Hidróxido de Sódio (NaOH)	44
4.2.3 Modificação química da cortiça em pó (tratamento alcalino)	45

4.2.4	Preparação dos compósitos – <i>Hand Lay- up</i>	46
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	49
4.3.1	Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	49
4.3.2	Propriedades Mecânicas da resina e dos compósitos	49
4.3.2.1	Resistencia à Flexão.....	49
4.3.2.2	Resistencia ao Impacto	49
4.3.3	Teste de inflamabilidade Horizontal.....	50
4.3.4	Medida de Ângulo de Contato	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.1	Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	52
5.1.1	Microscopia Óptica (MO)	52
5.1.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	55
5.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MATRIZ PURA E DOS COMPÓSITOS	58
5.2.1	Ensaio de Flexão.....	58
5.2.2	Resistência ao Impacto	64
5.3	INFLAMABILIDADE	68
5.4	ÂNGULO DE CONTATO.....	71
6	CONCLUSÕES	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85

1 INTRODUÇÃO

A combinação adequada de materiais permite que as propriedades de cada componente contribuam para obtenção de novos materiais que são denominados de compósitos (COSTA, REZENDE E PARDINI, 1999). Compósitos são materiais constituídos de dois ou mais componentes não solúveis, sendo um deles chamado de matriz e o outro de reforço (CARNEIRO E TEIXEIRA, 2008). Devido às características intrínsecas dos componentes individuais pode-se obter um material com propriedades superiores aos materiais isolados (SMITH E HASHEMI, 2012).

Os materiais compósitos tiveram a expansão de suas aplicações nas indústrias aeroespacial, marítima e automobilística devido às suas propriedades de engenharia, como: alta resistência mecânica, menor densidade e elevada resistência à fadiga. O baixo coeficiente térmico fez também com que os materiais compósitos começassem a ser introduzidos no ramo da construção civil como uma alternativa de muitos problemas associados à deterioração das estruturas, bem como o uso destes em substituição ao aço e em estruturas de concreto armado (PENDHARI, KANT E DESAI 2008).

Dentro deste contexto, podemos destacar que a construção civil passa por um processo de mudança, onde a competitividade fica mais acentuada. O avanço da tecnologia em todos os seguimentos da construção civil faz com que a produção fruto da mão de obra, assuma cada vez mais um papel de destaque no setor, estimulado pela necessidade de racionalização em obra, devido aos custos e à competitividade que se torna cada vez mais acirrada. Sendo assim, devemos procurar soluções técnicas com melhores desempenhos, custos e benefícios. Atualmente, em função da modernização, construir requer otimização de cronograma, qualidade, custos, redução de desperdícios, praticidade, produtividade e acima de tudo agilidade, como por exemplo, a produção de painel utilizando a tecnologia *drywall* (parede seca) em substituição às paredes de alvenaria de blocos de cerâmica. A tecnologia *drywall* não tem a função de suportar cargas e esforços, ou seja, a sua aplicação é voltada para a separação de ambientes, proporcionando também economia no dimensionamento de estruturas (BARBOSA, 2015).

Uma das principais resinas utilizadas em compósitos poliméricos é a epóxi, um polímero termorrígido, que apresenta boas propriedades térmicas, químicas e mecânicas (AMARAL, et al. 2001). As estruturas são fortemente reticuladas e contribuem para algumas de suas excelentes propriedades, como por exemplo: alta resistência à tração e à compressão, boa resistência química a solventes, além do custo razoável e facilidade de processamento (BARBOSA, et al. 2015). Como fase dispersa em compósitos poliméricos podemos destacar fibras curtas e longas, partículas orgânicas e inorgânicas, e dentro desse contexto de compósitos particulados podemos ressaltar a cortiça, que é um produto natural, orgânico e leve, obtido a partir da casca do sobreiro *Quercus suber* L., um tipo de árvore nativa da Zona Mediterrânea, sendo Portugal o maior produtor mundial. A cortiça é constituída essencialmente por suberina, substância que representa cerca de 40% do seu peso seco, lenhina ($\pm 20\%$), polissacarídeos ($\pm 20\%$) e outros produtos ($\pm 15\%$) representam a sua composição química que em conjunto com a estrutura celular, proporcionam à cortiça uma elevada estabilidade térmica e uma boa resistência a cargas de compressão, permitindo que a mesma seja utilizada em inúmeras aplicações, como por exemplo, na construção civil (CORDEIRO, et al. 1997). A cortiça apresenta também propriedades como impermeabilidade a líquidos e ar, compressibilidade, resiliência e fornece resistência à fratura quando é usada como enchimentos em compósitos (ABENOJAR, et al. 2014).

No entanto, as propriedades de um compósito não só dependem das propriedades dos materiais individuais, mas também da adesão interfacial entre seus componentes. Para garantir interações interfaciais adequadas, a superfície da cortiça deve ser modificada por meio de algum tipo de tratamento. Barbosa, et al. 2017 destacaram o tratamento a plasma bem como o uso de silanos, titanatos, zirconatos como agentes de acoplamento com intuito de melhorar as interações carga/matriz. Já Abdallah, et al. 2010 utilizaram o tratamento alcalino com hidróxido de sódio na cortiça no intuito de melhorar a adesão e a preservação da estrutura celular.

Podem ser destacados alguns estudos de compósitos poliméricos com cargas e ou fibras no intuito de melhoraria de suas propriedades: Sarasini, et al. (2013) destacaram em seu estudo a avaliação do comportamento de resistência ao impacto de um compósito híbrido formado por basalto/carbono/epóxi; Lakreb,

Bezzazi e Pereira (2014) mostraram a eficiência de aglomerados de cortiça em painéis tipo sanduiches; propriedades de resistência ao fogo em compósitos laminados com matriz polimérica foram destacadas no estudo de Kandare, Luangtriratana e Kandola (2014), já a absorção de água e o comportamento de flexão a partir de fibras naturais e aglomerados de cortiça em um sistema epóxi foram estudados por Hoto, et al. (2014).

Diante do exposto, este trabalho teve o objetivo de desenvolver e caracterizar compósitos a base de resina epóxi e cortiça em pó com e sem tratamento alcalino para aplicação não estrutural na construção civil, como por exemplo, em paredes/ ou divisórias. As proporções utilizadas 10% e 12% de cortiça em pó foram baseadas na literatura a partir de estudos realizados por Nóvoa, et al. (2004) que utilizaram em seu estudo valores de até 45% e Barbosa, et al. (2015) que nos seus trabalhos ressaltaram o estudo com a cortiça até de 5% em peso. Posteriormente, a morfologia e as propriedades mecânicas por resistência a flexão e ao impacto, a inflamabilidade e o ângulo de contato da matriz e dos compósitos foram avaliados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa desenvolver compósitos a base de resina epóxi e cortiça em pó visando uma possibilidade de aplicação não estrutural na construção civil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente, as etapas subsequentes do trabalho têm como objetivos:

- Avaliar a influência do tratamento alcalino na cortiça e sua influência nas propriedades do compósito.
- Aplicar o processamento *Hand-lay-up* para obtenção de compósitos com 10 e 12% de cortiça em pó.
- Avaliar a morfologia dos compósitos por meio de microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura.
- Avaliar o desempenho mecânico dos compósitos por meio de ensaios de resistência à flexão e resistência ao impacto.
- Determinar o comportamento de queima dos materiais por meio do teste de inflamabilidade UL-94HB.
- Avaliar o perfil de molhamento da matriz pura e dos compósitos produzidos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

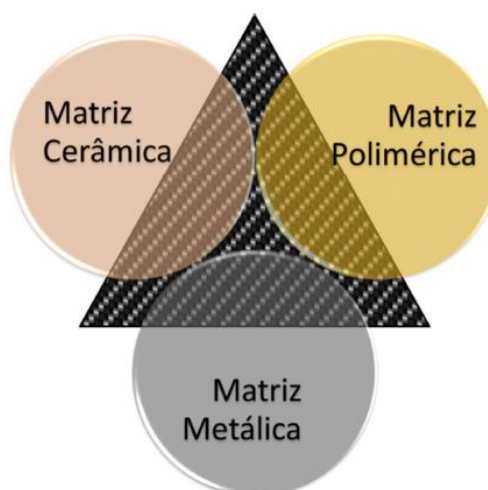
3.1 COMPÓSITOS

De acordo com a norma ASTM D 3878-95, compósito é um produto obtido a partir da união de dois ou mais materiais insolúveis entre si, com o intuito de formar um novo material com propriedades não encontradas em seus constituintes isolados.

Com o avanço tecnológico, os requisitos exigidos quanto ao desempenho dos materiais nos mais diversos segmentos, levaram ao desenvolvimento dos materiais compósitos (VENTURA, 2009). Dentre as principais vantagens dos compósitos estão a elevada resistência mecânica, baixo peso específico, resistência à fadiga, corrosão e durabilidade (GUIDI; SILVA, 2010). Essa diversidade de propriedades amplia o espectro de aplicações como, por exemplo, o mercado da construção civil, revestimento de aeronaves, fuselagem de aviões, coletes a prova de bala, próteses ortopédicas e medicamentos.

Os compósitos são materiais formados por uma fase contínua, chamada de matriz, que pode ser cerâmica, metálica ou polimérica, e por uma fase dispersa, que contém o material de reforço de diferentes aspectos, e seu desempenho depende das propriedades físicas e de fatores inerentes aos constituintes (POLETTI, 2017). Na Figura 1 é apresentado o esquema de classificação de materiais compósitos de acordo com o tipo de matriz.

Figura 1 Classificação dos compósitos segundo a matriz.

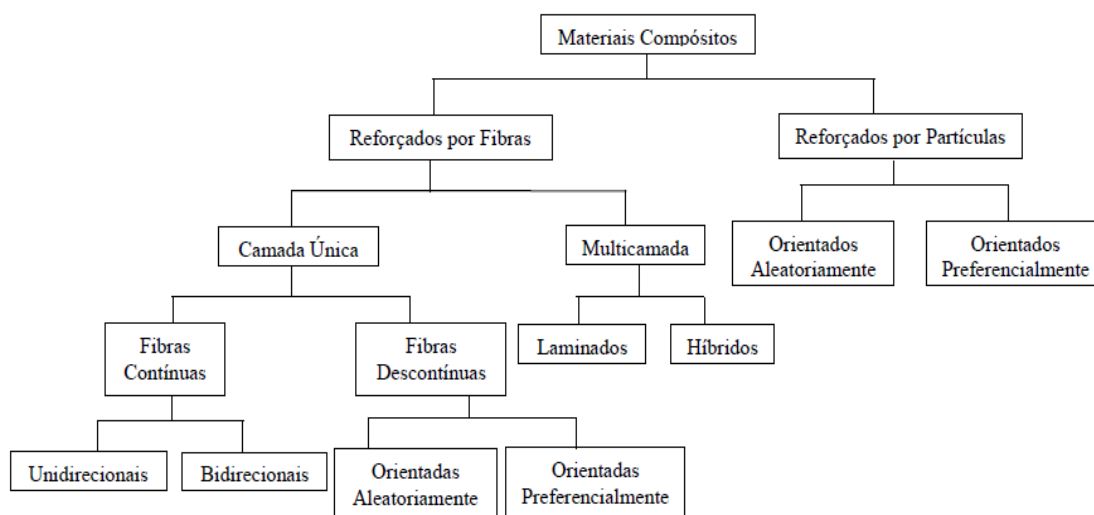


Fonte: Adaptado PARDINI; LEVY, (2006).

A matriz é basicamente o componente responsável por envolver o reforço e distribuir a tensão aplicada. A utilização de matrizes poliméricas tem sido atrativa devido à baixa massa específica, comparada a matrizes metálicas por exemplo. As interações entre matriz e reforço podem ser divididas nas seguintes partes, que são: interação física por meio da adesão mecânica entre a matriz e o reforço; interação química por meio de ligações entre os componentes; adsorção e molhamento; interdifusão e atração eletrostática. Para uma distribuição uniforme de carga aplicada é necessária uma boa adesão matriz/reforço (CIOFFI, 2011; SONG et al., 2011).

O reforço pode apresentar forma particulada ou de fibras, possuindo a responsabilidade estrutural e contribuindo com maior resistência mecânica. Na Figura 2 pode ser observada que a fase dispersa ou reforço existe em diversas formas sendo a classificação mais geral feita em três categorias: compósitos particulados, compósitos de fibras descontínuas e compósitos de fibras contínuas (MATTHEWS E RAWLISNGS, 1999).

Figura 2 Classificação dos materiais compósitos segundo sua fase dispersa: particulado ou reforçado por fibras.



Fonte: MATTHEWS E RAWLISNGS, (1999).

Os compósitos de matriz polimérica podem ser obtidos a partir de dois tipos de resinas, termoplástica ou termofixa. As matrizes termoplásticas proporcionam maior versatilidade quanto às rotas de processamento e precisão

dimensional. As resinas termofixas são amplamente utilizadas por serem de fácil manipulação e termicamente estáveis (UDHAYASANKAR; KARTHIKEYAN, 2015).

3.1.1 Matriz polimérica

As principais vantagens na utilização de matrizes poliméricas em relação às matrizes metálicas e cerâmicas nos compósitos são a facilidade de fabricação, baixa densidade, resistência a ataques químicos, isolamento térmico e transparência para alguns tipos de matrizes e cargas. Restrições são observadas quanto a menor dureza, temperatura de serviço baixa, alta inflamabilidade, susceptibilidade à deterioração pela exposição à radiação ultravioleta (MIRANDA, 2016).

A escolha da matriz depende da aplicabilidade do compósito e das propriedades desejadas. Industrialmente, as matrizes de resinas termoplásticas são mais viáveis, pelo número de peças que podem ser produzidas em curto espaço de tempo, com um número reduzido de mão de obra qualificada. Os compósitos de termoplásticos podem ser moldados por injeção, extrusão ou por outras técnicas de moldagem por aquecimento. As maiores restrições de peças de termoplásticos são as dimensões e o custo de equipamentos de processo, quanto maior a peça, maior susceptibilidade ao empenamento e mais caro o equipamento de processo (ALBINANTE et al, 2013).

Os polímeros termorrígidos (termofixos) são mais utilizados para uso estrutural em materiais compósitos por apresentarem alta rigidez, elevada estabilidade térmica, alta estabilidade dimensional, boas propriedades de isolamento elétrico e térmico, resistência à fluência e relaxação. As resinas termorrígidas mais usadas e mais baratas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; as quais são usadas principalmente para compor compósitos reforçados com fibras de vidro (SILVA, 2014).

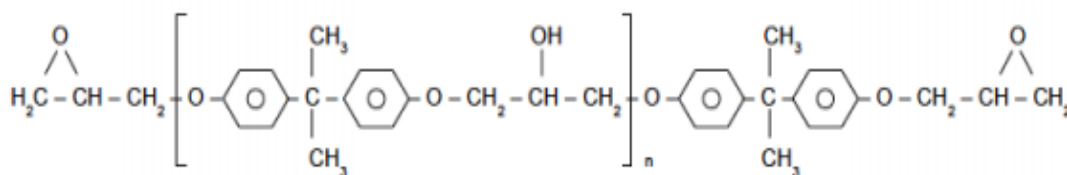
As resinas epóxi, embora mais caras, também são muito utilizadas em aplicações aeroespaciais e estruturais por possuírem melhores propriedades mecânicas e resistências à umidade frente aos poliésteres, poliuretanos e as resinas vinílicas (SILVA, 2014). A facilidade de processar polímeros em temperaturas baixas e de combiná-los com outros materiais para fabricar compósitos são de grande importância para diversas aplicações e dentre elas podemos citar a área da

construção civil em diversos segmentos como na produção de divisórias e painéis não estruturais.

3.2 RESINA EPÓXI

As resinas epóxi representam uma importante classe dos polímeros termofixos, sendo comercializadas desde a década de 40 a partir da reação de epicloridrina e bisfenol A produzindo a resina diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA), em destaque na Figura 3, com elevada resistência mecânica, aderência a diversos tipos de fibra e substratos, resistentes às ações químicas e apresentam baixa retração no processo de cura. As diferentes rotas de síntese possibilitam a obtenção de resinas com um amplo espectro de características e propriedades mecânicas (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2008).

Figura 3 Representação de uma molécula de resina epóxi DGEBA



Fonte: QUINI, (2013).

Essa resina é utilizada atualmente para uma infinidade de aplicações, como placas de circuito impresso, encapsulamentos de componentes, pisos industriais, tintas anticorrosivas entre outros. Empregadas em aplicações da engenharia estrutural, geralmente são formulações do tipo bi componente, ou seja, compostas por um agente principal (a própria resina) e um catalisador (endurecedor). Quando os componentes se misturam produzem uma reação química entre a resina epóxi e o endurecedor, originando uma estrutura sólida com propriedades muito especiais e pode ser curada à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas, dependendo dos produtos iniciais utilizados no processo ou das propriedades desejadas do produto final (BILYEU; BROSTOW; MENARD, 1999).

Os três principais componentes que formam as resinas epóxi são: i) resina base, ii) agente de cura e iii) agentes modificadores. Podem ser formuladas desde maneira simples, com uma resina base e um agente de cura, até formulações complexas com diversos componentes. Dependendo da formulação, esta cura pode se dar em temperatura ambiente, com uso de fonte externa de calor, ou outra fonte externa de energia como ultravioleta ou feixe de elétrons (TARGA, 2011).

As três principais classes de resinas epóxi são: éter de glicidil bisfenol, amina de glicidil aromática e ciclo alifáticas. As resinas éter de glicidil bisfenol são formadas pela reação de condensação entre a epícloridrina e um grupo fenol e entre elas está a resina epóxi mais produzida e utilizada e é conhecida como DGEBA ou éter de diglicidil do bisfenol-A (TARGA, 2011).

O desempenho e as características finais das resinas são controlados pela quantidade de bisfenol A (características como tenacidade, rigidez, e resistência a altas temperaturas), pelas ligações químicas feitas pelo éter (resistência química), e pelos grupos hidroxilas e epóxi presentes (propriedades adesivas e reatividade com diversos agentes químicos de cura). A viscosidade de resinas epóxi convencionais varia de produtos de baixa viscosidade até resinas sólidas, o que permite uma gama bem extensa de aplicações e possibilidades (TAN, et al. 2008).

3.2.1 Cura

A reação de cura de uma resina epóxi DGEBA é um processo de polimerização com formação de ligações cruzadas entre o grupo epóxi e o agente de cura formando cadeias longas, tornando-as resistentes a esforços mecânicos (ROMÃO, et al. 2004). A resina epóxi DGEBA apresenta boa fluidez antes da cura facilitando fácil processamento na temperatura ambiente. Após a cura a resina não sofre grande retração o que permite reproduzir com maior facilidade a geometria do molde (MONTEIRO et al., 2006).

Os agentes de cura ou endurecedores podem ser aminas alifáticas, poliamidas, anidridos, aminas aromáticas, polissulfetos, dentre outros e são classificados como catalíticos ou coreativos. Os catalíticos funcionam como um

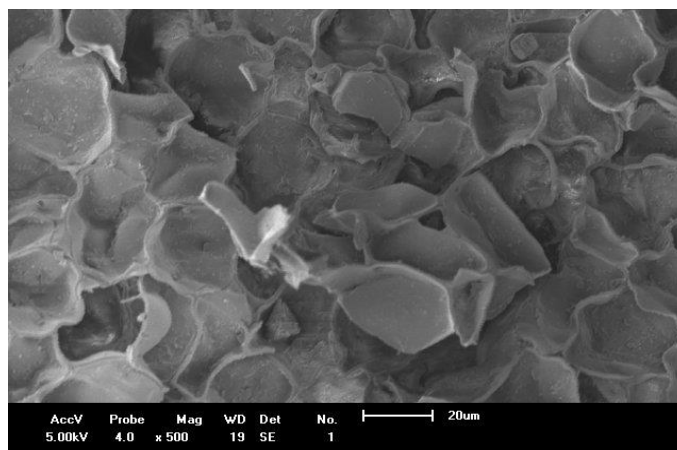
iniciador para homopolimerização da resina epóxi, enquanto que os coreativos atuam como monômeros no processo de polimerização (ALMEIDA, 2005).

3.3 CORTIÇA

A cortiça é uma matéria-prima natural, constituída por pequenos alvéolos em forma de poliedro de 14 lados, conhecida desde a antiguidade pela sua baixa densidade, comportamento hidrofóbico, uma elevada recuperação elástica e isolamento elétrico e acústico. Os romanos e os gregos descobriram que a cortiça era ideal como boia para redes de pesca e para fazer solados de sandálias devido ao amortecimento promovido (MOTTE, et al. 2017).

Obtida a partir de uma árvore popularmente conhecida como sobreiro, uma espécie específica de carvalho denominada *Quercus suber L.*, sendo Portugal o maior produtor mundial, com 50% da produção (MOTTE et al., 2017). A Figura 4 destaca a micrografia por MEV da cortiça com magnitude de 500x revelando o formato de sua estrutura celular.

Figura 4 MEV com amplitude de 500X da célula da cortiça.



Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

Na cortiça, assim como em outros materiais celulares, os componentes químicos estão localizados nas faces celulares e nas bordas das células, compondo uma rede tridimensional de uma matriz sólida que circunda células vazias cheias de ar. Os principais componentes estruturais da parede celular são a suberina, a lignina, polissacarídeos e hemiceluloses. A suberina é um dos principais

componentes estruturais das células da cortiça, representando cerca de 50% do material enquanto a lignina é um polímero reticulado de natureza aromática e é o segundo componente estrutural mais importante de suas células, equivalendo cerca de 30% do total do material. Na cortiça a lignina também oferece suporte mecânico e rigidez às paredes celulares ao ponto de que, em caso de remoção, as células entrariam em colapso total (PEREIRA, 2007).

Os agentes de enchimento orgânicos naturais são conhecidos pela sua baixa densidade, baixos custos, pela contribuição frente a redução da emissão de poluentes, característica biodegradável e configuram um recurso renovável. Entre os agentes de enchimento naturais, a cortiça é reconhecida como uma alternativa adequada em aplicações de engenharia, devido, além das características acima elencadas, à sua baixa condutividade térmica, absorção de ruído e vibrações, resistência à abrasão e compressão. Por manter suas propriedades elásticas mesmo em temperaturas altas, a cortiça é ideal para juntas de vedação de motores e é parte fundamental de placas térmicas usadas em algumas naves espaciais. (BRITES, et al. 2017).

Os compósitos a base de polímeros e cortiça são um dos campos mais promissores em termos de tecnologia para produzir novos materiais baseados no desenvolvimento sustentável. A cortiça combinada com matrizes poliméricas, como termoplásticos e termorrígidos pode resultar em produtos sustentáveis para diferentes setores de aplicação, com benefícios econômicos e de proteção ao meio ambiente (FERNANDES, et al. 2017).

A cortiça é a base de uma cadeia industrial econômica importante com um mercado global para seus produtos como, por exemplo, rolhas de vinho, materiais de revestimento e painéis isolantes (FERREIRA, 2016 b). A grande versatilidade da cortiça tem despertado o aprimoramento, o interesse industrial e a geração de novos produtos a partir de sua capacidade de integrar-se com outros materiais, tais como plástico, asfalto, cimento (CHIEBAO, 2011).

Neste trabalho a incorporação de cortiça a resina epóxi é uma possibilidade de formação de um novo produto para aplicações na construção civil, visando a produção de paredes/divisórias em resposta às necessidades atuais de conforto e preocupação ambiental na utilização de materiais ecológicos.

3.3.1 Tratamento alcalino

As propriedades de um compósito não só dependem das propriedades dos materiais isolados, mas também da adesão interfacial entre seus componentes garantindo interações interfaciais adequadas. A adesão entre carga/matriz é um dos principais fatores que caracterizam o comportamento físico e mecânico de um compósito (THEOCARIS, 1985). A adesão inadequada entre as fases envolvidas pode provocar o início de falhas interfaciais, comprometendo o desempenho do compósito. A adesão depende da estrutura e da polaridade entre fibra e matriz (ALVAREZ e VÁZQUEZ, 2006). Em compósitos com matrizes poliméricas, a falha deveria ocorrer na matriz. Na prática, a adesão nunca é perfeita e o processo de ruptura é gerado na interface. Portanto, na maioria dos casos, a falha do polímero reforçado ocorre por cisalhamento na região interfacial. A falha ocorre em função de debilidade das ligações atômicas ou intermoleculares entre a superfície da matriz e a superfície do reforço (ALVAREZ e VÁZQUEZ, 2006).

Como a qualidade da interface matriz/reforço é muito significativa para aplicação como reforço em polímeros, diversos métodos de modificação físicos e químicos podem ser utilizados para otimizar essa interface. Cada um desses métodos de modificação apresenta eficiência diferente na adesão entre a carga e a matriz (BLEDZKI e GASSAN, 1999).

A modificação química de cargas orgânicas pode ser utilizada para melhorar a compatibilidade entre o reforço e a matriz, a estabilidade dimensional, a baixa temperatura de degradação, a temperatura de processamento e a resistência à degradação biológica (ROWELL, et al. 1996). Um dos métodos clássicos de modificação química é a mercerização, que consiste em um tratamento alcalino com a finalidade de remover cera e graxas da superfície das fibras, além de remover parcialmente a hemicelulose e a lignina, que são parcialmente solúveis em álcalis (SILVA, 2003). De acordo com dados reportados na literatura Bledzki e Gassan (1999), normalmente os efeitos do tratamento alcalino de modificação superficial da carga orgânica, dependem do tipo e da concentração da solução alcalina, como também da temperatura e do tempo empregado no tratamento. O tratamento alcalino tem sido muito empregado na modificação superficial das fibras e cargas orgânicas devido ao baixo custo. No entanto, outros tratamentos superficiais das

fibras celulósicas empregando isocianato, peróxido de dicumila ou benzoíla e permanganato também podem ser utilizados (ALVAREZ e VÁZQUEZ, 2006).

A definição de mercerização proposta pela ASTM D1696 considera este um processo no qual, fibras vegetais são submetidas a uma interação com solução aquosa de uma base forte, para produzir grande intumescimento, resultando em mudanças na estrutura, nas dimensões, na morfologia e nas propriedades mecânicas das fibras (Bledzki e Gassan, 1999).

A superfície da cortiça deve ser modificada por meio de algum tipo de tratamento. Barbosa, et al. 2017 destacaram o tratamento a plasma bem como o uso de silanos, titanatos, zirconatos como agentes de acoplamento com intuito de melhorar as interações carga/matriz. Já Abdallah, et al. 2010 utilizaram o tratamento alcalino com hidróxido de sódio na cortiça no intuito de melhorar a adesão e a preservação da estrutura celular. Neste trabalho, a escolha pelo uso do processo alcalino para realizar o tratamento do pó de cortiça, foi decidida em virtude de o mesmo proporcionar processo eficaz, simples e de baixo custo de aplicação.

3.4 COMPÓSITOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com a literatura, os tijolos obtidos a partir da combinação de argila e palha foram os primeiros materiais compósitos produzidos pelo homem para fins de construção civil há mais de 6 mil anos atrás. Atualmente, o concreto formado por cimento, pedras e areia é um dos compósitos mais utilizados nesta área (LIMA, 2016).

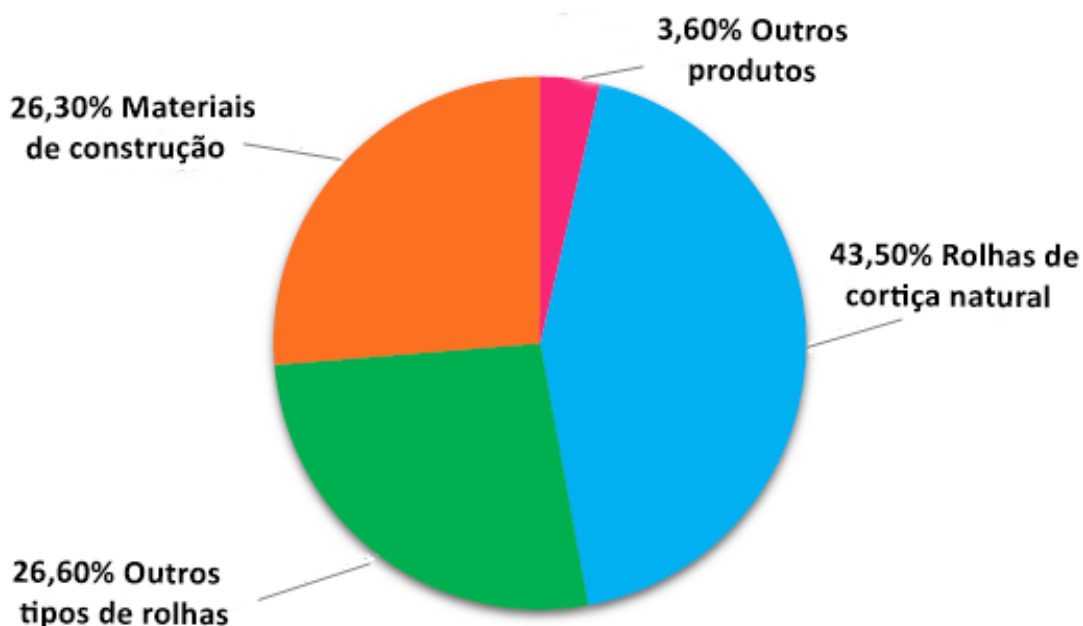
Segundo Halliwell (2002), a indústria da construção civil passará por grandes desafios e renovações nas próximas décadas, onde os materiais poliméricos e compósitos serão alternativas para fornecer soluções efetivas e de baixo custo. A utilização de compósitos na construção civil é uma realidade, uma vez que promove a redução de infiltrações, corrosão, dilatações e empenamentos; produção de materiais e componentes sustentáveis e energeticamente eficientes; redução de tempo e custo de construção; redução do peso das estruturas; diminuição nos resíduos de construção; da economia de água no setor construtivo; melhoramento do isolamento térmico e acústico das edificações, reforço de

estruturas monumentais e históricas, etc (HALLIWELL, 2002; KÖHLER-HAMMER, KNIPPERS e HAMMER, 2016).

Especialmente, os compósitos poliméricos podem ser utilizados na construção civil em reparos, como reforço de estruturas convencionais de concreto, tecidos bidirecionais, laminados unidirecionais, tubos, perfis e barras. Os tecidos bidirecionais ou laminados unidirecionais são comumente empregados no reforço de lajes e vigas de concreto. Os tubos rígidos ou folhas flexíveis unidirecionais, pré-impregnadas, são mais utilizados no confinamento de pilares de concreto. As barras nervuradas e as cordoalhas podem ser empregadas em substituição às armaduras e cordoalhas de aço e os perfis de seções transversais, cheias ou vazadas, têm sido utilizados no projeto de novas estruturas (CARNEIRO e TEIXEIRA, 2008).

O setor da construção se mantém como uma das atividades que mais contribui para a degradação do ambiente e a sociedade corrente criou medidas e políticas ambientais, assim como um apoio crescente na escolha de materiais provenientes de matérias-primas renováveis ou que causem baixos impactos ambientais. Nos últimos dez anos, a indústria da construção civil tem buscado soluções para a substituição de alguns produtos tradicionais, como por exemplo, paredes de alvenaria por paredes ou divisórias (*drywall*) a base de compósitos poliméricos sustentáveis (BATISTA, 2017; CARNEIRO e TEIXEIRA, 2008; FERREIRA., et al 2016 a).

As aplicações da cortiça na construção civil são datadas da Pré-História onde seria utilizada na sua forma natural em pranchas e nos primeiros milênios a.C. na arquitetura tradicional na Sardenha. Na atualidade, embora o principal setor de destino dos produtos de cortiça seja a indústria de vinhos, absorvendo 70%, o segundo setor de maior absorção desse recurso natural é o da construção civil com 26%, com representado na Figura 5 (BATISTA, 2017; GIL, 2015).

Figura 5 Consumo de cortiça por setores em 2014

Fonte: BATISTA (2017); GIL, (2015).

Essa utilização na construção deve-se ao desenvolvimento de novos materiais derivados da natureza e à melhoria das suas características, apoiada pela crescente tendência para a utilização de materiais naturais e sustentáveis como a cortiça. Os produtos de cortiça mais empregados na construção civil são granulados e triturados, aglomerados expandido de cortiça, aglomerados de cortiça com borracha e produtos de cortiça em associação com outros materiais. A Figura 6 identifica esquematicamente algumas dessas funções (BATISTA 2017; GIL, 2015).

Figura 6 Esquema exemplificativo da aplicação de cortiça em uma construção



Fonte: BATISTA (2017); GIL, (2015).

3.4.1 Drywall

Segundo Barbosa (2015), a construção civil passa por um processo de avanço tecnológico em todos os setores. A necessidade de racionalização em obras devido aos custos e à competitividade faz com que o setor da construção civil procure soluções técnicas com melhores desempenhos, custo, benefícios e inovação, ganhando destaque a divisória do tipo drywall, expressão de origem inglesa que significa “muro seco” ou “parede seca”. Esta é uma técnica de revestimento que substitui paredes construídas de alvenaria por placas pré-moldada. No Brasil a utilização do drywall foi iniciada década de 1990, em um primeiro momento apenas com importação do produto e, posteriormente, a partir da instalação de fábricas no país. Atualmente a utilização do drywall vem ganhando espaço no mercado brasileiro devido ao aquecimento da indústria da construção.

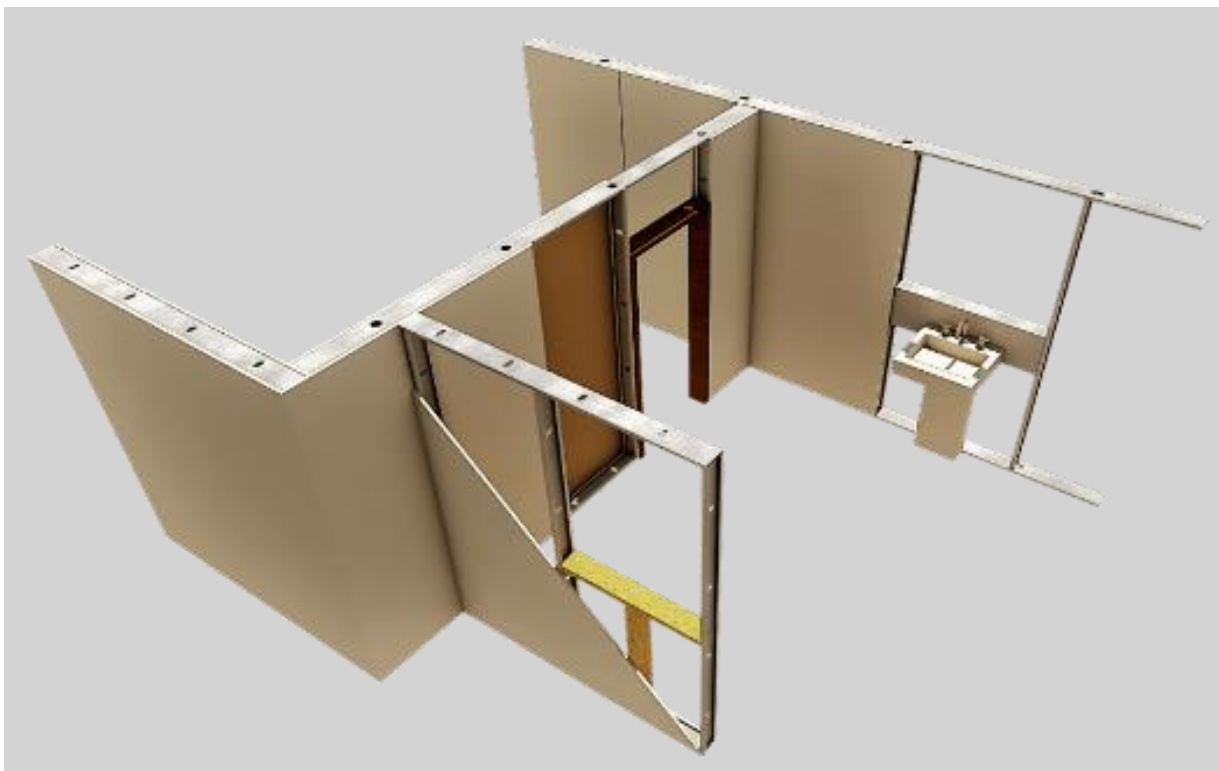
As divisórias podem ser empregadas em uma diversidade de ambientes, desde aqueles sem umidade a ambientes muito úmidos, como banheiros e copas. As vantagens de se utilizar divisórias (drywall) são: instalação simples e rápida; versatilidade na mudança de espaços; fácil acesso à manutenção de instalações elétricas, hidráulicas e ar condicionado; manutenção; isolamento termo-acústico, além da redução de resíduos durante a fase de construção e, conseqüentemente, redução de custos com transporte de resíduos. Essas características estimulam

arquitetos, engenheiros a encontrar soluções alternativas para uma construção mais sustentável (VASCONCELOS, et al 2013).

As divisórias podem ser empregadas em diversos ambientes tais como: academias, hospitais, shoppings, escolas, hotéis, prédios comerciais, teatros, cinemas, igrejas, auditórios, bibliotecas, museus, casas de festas, casas de máquinas, galerias de exposição, sanitários públicos, etc. As divisórias do tipo drywall podem apresentar miolos em fibra mineral, lã de vidro, isopor, esponjas e cargas particuladas. As ferragens de sustentação e fechaduras podem ser em alumínio, aço galvanizado ou aço naval, dentre outros (BARROS FILHO, 2010).

A concepção básica do sistema drywall, como pode ser observada na Figura 7, é de uma estrutura leve em perfis de chapa de aço galvanizado, constituída basicamente por guias e montantes, sobre os quais são fixadas as chapas, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície pronta para receber o acabamento (pintura, papel de parede, cerâmica, laminados plásticos, etc (BARROS FILHO, 2010).

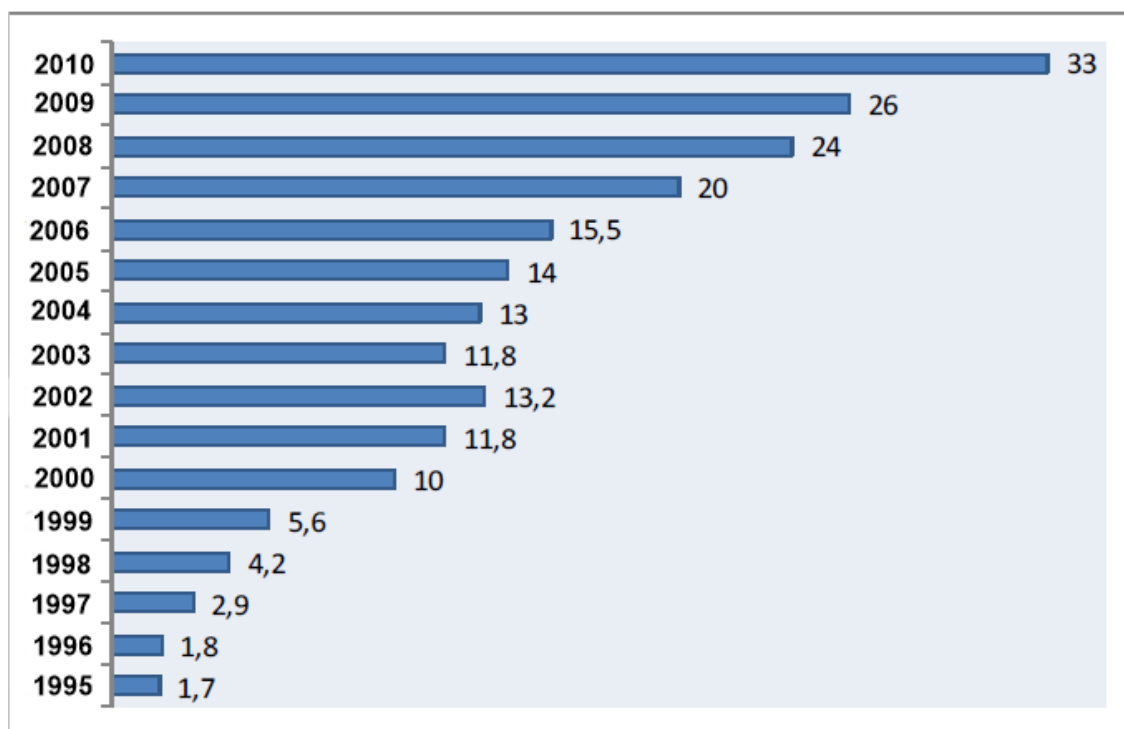
Figura 7 Divisórias em *drywall*



Fonte: Adaptado BARROS FILHO, (2010).

Dados da ASSOCIAÇÃO DRYWALL (2011) indicam um significativo crescimento do mercado de divisórias ou estruturas do tipo *drywall* desde o ano 1995 até 2010. Em um período de 12 meses, entre 2009 e 2010 foi registrado um aumento de 22% na demanda por esse tipo de produto, como apresentado no perfil estatístico da Figura 8.

Figura 8 Consumo de chapas drywall no Brasil (mil m²)



Fonte: ASSOCIAÇÃO DRYWALL, (2011).

Apesar de a utilização do sistema *drywall* ter apresentado evolução nas duas últimas décadas, o Brasil ocupa uma posição modesta no cenário internacional, quando comparado com os EUA, o maior consumidor de *drywall*. Este perfil de consumo deve-se ao fato de, no Brasil, a utilização de blocos cerâmicos para a construção de paredes ainda é amplamente praticada, existindo jazidas de argila em abundância em diversas regiões para atender o mercado, enquanto que nos EUA as construções utilizam basicamente as estruturas *drywall* (GOUVEIA, 2013).

Dentre as regiões do país a Nordeste é a que apresenta um menor índice de aplicação desse tipo de produto e diante desses levantamentos, esta pesquisa

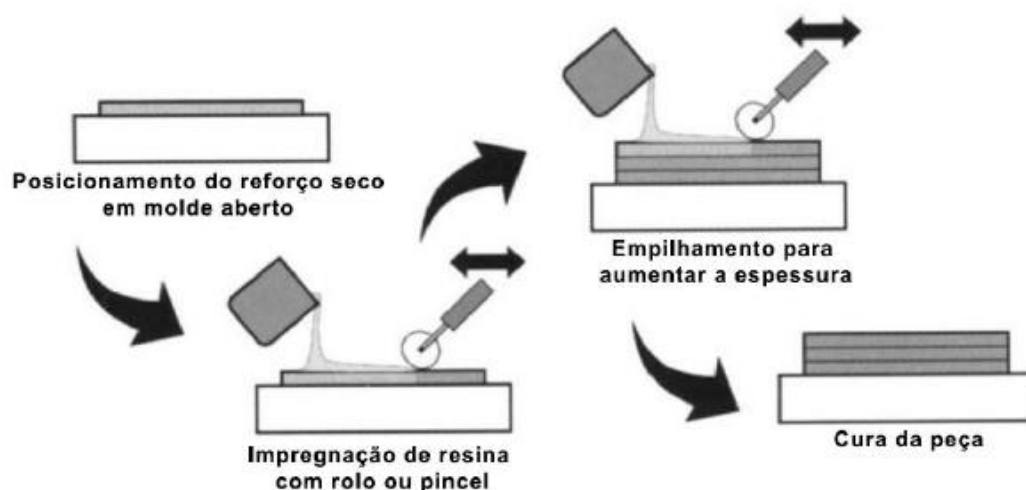
propôs o desenvolvimento de um material alternativo aos tradicionalmente utilizados para aplicações em *drywall* (GOUVEIA, 2013)

3.5 Processamento de Compósitos – *Hand lay up*

Os materiais compósitos podem ser obtidos por diferentes rotas de processamento a depender do tipo de resina e de carga. Resinas do tipo termofixas são manipuladas via técnicas de pultrusão, transferência de resina, filamento winding, *hand lay-up*, moldagem por compressão, entre outras (MIRANDA, 2007).

O processo conhecido como *Hand Lay Up*, “laminação manual”, é o processo mais utilizado quando o objetivo é produzir grandes peças em baixa escala, principalmente no setor náutico (BELINGARDI; CAVATORTA; SALVATORE PAOLINO, 2008). Sua principal característica, como mostrada na Figura 9, consiste em aplicar manualmente uma camada de resina para cada camada de reforço, em um molde aberto, até que se obtenha a espessura desejada.

Figura 9 Processo esquemático da impregnação manual de resina (*Hand Lay Up*).



Fonte: CAMPBELL, (2006)

Na laminação manual, o reforço do compósito polimérico é usualmente composto por fibras de aramida, vidro, carbono, fibras naturais ou até mesmo uma

combinação dessas que podem ser formadas por fibras longas em forma de tecido, ou picotadas e compactadas em forma de manta. Por se tratar de um processo manual, a matriz é normalmente composta por uma resina de baixa viscosidade que facilita a sua aplicação, mas que contém altos níveis de estireno que por sua vez geram gases voláteis nocivos à saúde e ao meio ambiente. Normalmente, a resina utilizada para esse processo possui a sua cura à temperatura ambiente, o que descarta o uso de estufas para a polimerização da mesma, minimizando o custo final da peça (CAMPBELL, 2006).

3.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA

A seguir, são apresentados alguns estudos tomados como base para a proposta desta pesquisa, destacando-se os realizados por Assumpção, Panzera e Christoforo, (2012); Kandare, Luangtriratana e Kandola, (2013); Kumar, et al. (2014); Hoto, et al. (2014); Barbosa, et al. (2015); Lakreb, Bezzazi e Pereira, (2015); Barbosa, et al. (2017) e Sajith, Arumugam e Dhakal, (2017).

Assumpção, Panzera e Christoforo, (2012) investigaram os efeitos da granulometria e da fração mássica do pó de serragem (40%, 60% e 80%) incorporado em resina epóxi. As condições de processamento dos compósitos foram mantidas constantes: tempo de mistura, tempo de cura (7 dias) e temperatura ambiente para a obtenção de corpos de prova a serem posteriormente submetidos aos ensaios de flexão e densidade volumétrica. Os resultados mostraram que a adição da serragem em compósitos de resina promoveu alterações nas propriedades avaliadas e com o aumento do percentual de carga promovendo a diminuição da densidade e resistência dos compósitos. Em destaque, o compósito com proporção de 60% de serragem foi o que apresentou o melhor desempenho mecânico. Comportamento inverso foi observado para o compósito com 80% de carga, provavelmente devido a formação de aglomerado.

Kandare, Luangtriratana e Kandola, (2013) desenvolveram compósitos laminados a base de linho/epóxi sem aditivos retardantes de chama (RC), laminados linho/ epóxi com aditivos (RC); compósitos híbridos de balsa/linho/epóxi sem e com aditivos (RC). A caracterização das propriedades de resistência ao fogo dos compósitos foi realizada utilizando o método do Calorímetro de Cone, sendo as amostras submetidas a um aquecimento radiante operando a um fluxo de calor de 50 Kw. Os autores concluíram que a presença do aditivo a base de fosfato de amônio na superfície dos compósitos promoveu a redução da intensidade da combustão dos materiais e que, para os compósitos laminados, as taxas de liberação de calor e o tempo de exposição foram mais baixos quando comparados a os demais compósitos. De uma maneira geral, a presença do aditivo retardante de chama e os compósitos na forma sanduiche são mais eficazes na redução da inflamabilidade, o que permite a sua aplicação em áreas com alto risco de inflamabilidade na engenharia.

Kumar, et al. (2014) avaliaram compósitos a base de pó de madeira, com tamanho médio de partícula 2 μm , e resina epóxi nas proporções de 2,5%; 5%; 7,5%, 10% e 12%. As partículas do pó de madeira foram limpas, secas e misturadas mecanicamente com resina epóxi. A mistura foi vertida gradualmente dentro de uma câmara de vidro revestida previamente com papel filme. Toda a mistura foi curada de 24-48 horas à temperatura ambiente. Os compósitos foram avaliados quanto ao comportamento mecânico de tração e flexão segundo as Normas ASTM D 638-03 e ASTM D 790-03. De acordo com os resultados obtidos a inserção do pó de madeira melhorou as propriedades de tração e flexão da resina polimérica, tendo o compósito produzido com 10% de pó de madeira apresentado as melhores propriedades mecânicas. Para o maior percentual de carga foi percebido uma queda nas propriedades de tração e flexão, provavelmente devido a uma mistura deficiente e conseqüentemente formação de aglomerados.

Hoto et al., (2014) desenvolveram compósitos de basalto, linho, cortiça e resina epóxi com duas ou três camadas. Os compósitos foram caracterizados via resistência mecânica (flexão) e absorção de água via Norma ASTM D 570. Os resultados obtidos evidenciaram que a camada de revestimento a base de cortiça possibilitou uma redução na absorção de água do material e que o número de camadas de reforço provocou apenas a aceleração de absorção de água, quanto a deformação, o painel que teve a cortiça modificada com resina ofereceu melhor resistência mecânica. Contudo, a possibilidade de produção de compósitos verdes é alternativa para indústria de processamento e produção de materiais, devido seu baixo custo de produção e preocupação com meio ambiente.

Barbosa, et al. (2015) desenvolveram compósitos poliméricos a base de resina epóxi e micropartículas de cortiça com tamanho de 125-250 μm e avaliaram o efeito da quantidade de partículas de cortiça na reação de cura e nas propriedades de um adesivo estrutural. Nesse estudo, foram desenvolvidos compósitos contendo 0,5; 1; 2; e 5% de micropartículas de cortiça, sendo os mesmos caracterizados por Espectroscopia por Transformada de Fourier-FTIR, Calorimetria Exploratória diferencial -DSC e propriedades mecânicas. Os autores observaram por DSC que a presença de cortiça não apresentou influência significativa quanto a velocidade, tempo e temperatura de cura. Por FTIR os autores observaram que as micropartículas de cortiça introduzidas não afetaram os níveis moleculares da

estrutura do adesivo e que os resultados dos testes de tração em resinas puras e nos compósitos não alteraram significativamente a resistência à tração.

Lakreb, Bezzazi e Pereira, (2015) desenvolveram sistemas de painéis tipo sanduíches a partir de multicamadas de madeira com um núcleo de aglomerado de cortiça e resina de poliuretano. As camadas dos painéis foram produzidas utilizando os seguintes materiais: aglomerados de cortiça, folhas de madeira e uma resina de poliuretano utilizada como um adesivo. Os compósitos foram caracterizados através de ensaios mecânicos como compressão, dobra e corte. Os resultados obtidos mostraram a possibilidade um material promissor, inovador e ecológico. E as propriedades mecânicas obtiveram excelentes resultados. Contudo o número de camadas do painel de sanduiche melhorou a resistência possibilitando assim a produção de um material com baixos custos de produção e com uma variedade de aplicações.

Barbosa, et al. (2017) desenvolveram um estudo com resina epóxi e micropartículas de cortiça, com o intuito de melhorar a tenacidade de adesivos quebradiços. As propriedades do adesivo reforçado não são somente baseadas na matriz ou no material de reforço, existem vários parâmetros que contribuem para o processo de melhoria da tenacidade e que influencia grande parte do material compósito formado. Dentre esses parâmetros, o estudo destacou a quantidade de partículas variando de 0,25 % para 1 %, e a interface entre a partícula/matriz. Os compósitos foram produzidos com diferentes quantidades de cortiça com e sem tratamento de superfície a plasma, eles foram caracterizados, por ensaios de tração, ensaios de fratura, microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise do tamanho da partícula e método de Taguchi. Por meio das micrografias, as partículas de cortiça com e sem tratamento de superfície apresentaram estruturas na forma de favo de mel, algumas células abertas e outras fechadas. Nos ensaios de tração observou que a quantidade e tamanho das partículas alteraram as propriedades mecânicas dos adesivos. Nos ensaios de fratura os compósitos tiveram melhores resultados do que a resina pura, e de um modo geral é possível obter através da adição de cortiça ou do tratamento de superfície compósitos com uma série de características que podem ser estudadas para diversas aplicações no cotidiano.

Sajith, Arumugam e Dhakal, (2017) investigaram a viabilidade do uso de fibras lignocelulósicas (casca de coco em pó, casca de arroz e pó de madeira) como

alternativas de reforços em uma resina epóxi. Para os três reforços, os compósitos foram preparados nos seguintes tamanhos (75 – 105 mm e 106 -180 mm) e adicionados em 2,5 e 4,5% em peso na matriz. A produção dos compósitos ocorreu de acordo com as seguintes etapas: às fibras foram obtidas por trituração das matérias-primas correspondentes, em seguida uma malha foi utilizada para peneirar de acordo com BS 410-1: 200 no intuito de separá-las em tamanhos diferentes. A água destilada foi utilizada para remover as impurezas e depois as fibras foram secas em uma estufa a temperatura de 120°C durante 4 horas. Posteriormente, as mesmas foram misturadas com a resina epóxi e o material produzido foi vertido em um molde e seco em temperatura ambiente por 24 horas. Como resultado, o tipo de carga, o tamanho e o percentual em massa têm grande influência na capacidade de deformação dos compósitos. O tipo de carga foi o parâmetro mais influente, e o compósito com pó de madeira apresentou uma melhor deformabilidade devido a uma boa interação entre os componentes. Os compósitos contendo cascas de coco tornaram-se mais rígidos do que os de casca de arroz e o pó de madeira, possivelmente devido ao maior teor de lignina e de partículas de forma esférica. Contudo é comprovado que as propriedades dos compósitos poliméricos de epóxi são diretamente influenciadas pelo tipo, tamanho e volume das cargas adicionadas.

4 PARTE EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Resina epóxi e endurecedor

Como matriz polimérica foi utilizada a resina epóxi de nome comercial Silaex SQ 2004 e o endurecedor SQ 3140. De acordo com o fabricante, a proporção utilizada resina/endurecedor deve ser 100/50 em peso, tempo e temperatura de cura entre 4 e 6 horas a 20°C, respectivamente. A Tabela 1 apresenta algumas das propriedades da resina/endurecedor.

Tabela 1 Propriedades do sistema.

Propriedades	SILAEX SQ 2004
Força de compressão (MPa)	25,6
Força de tensão (MPa)	20,7 – 42,7
Elongação (%)	4.9
Impacto Izod (J/m)	16 - 32
Dureza barcol	20 – 30
Viscosidade (cPs)	500 - 800

Fonte: Ficha técnica SILAEX (Modificada).

4.1.2 Silicone

O silicone, de nome comercial azul OS foi utilizado para a fabricação dos moldes e apresenta característica vulcanizável a temperatura ambiente e após cura resultou em um produto elástico e resistente. De acordo com o fabricante, a proporção utilizada silicone/catalisador deve ser 100/3 em peso.

A resina, o endurecedor e o silicone foram fornecidos pela Empresa Redelease – São Paulo/SP.

4.1.3 Cortiça

Como carga vegetal foi utilizado o pó de cortiça com granulometria 74 μm e densidade de 0,075 g/cm³, fornecido pela Empresa Corticeira Paulista – São Paulo. A Tabela 2 apresenta algumas características do pó de cortiça, segundo especificações do fabricante.

Tabela 2 Características do pó de cortiça.

Características	Pó de cortiça
Densidade (g/l)	65 a 85
Mesh 50 - (0,30 mm) (%)	20 a 50
Mesh 60 - (0,25 mm) (%)	10 a 45
Mesh 80 - (0,18 mm) (%)	5 a 30
Umidade (%)	7,0 Máximo

Fonte: Ficha técnica - Corticeira Paulista LTDA.

4.1.4 Hidróxido de Sódio (NaOH)

Para o tratamento alcalino da cortiça em pó foi utilizado o Hidróxido de Sódio, com aspecto sólido, branco, inodoro e de peso molecular 40g/mol. O reagente foi adquirido pela Empresa Labsynth Produtos para Laboratório – São Paulo/SP.

4.2 MÉTODOS

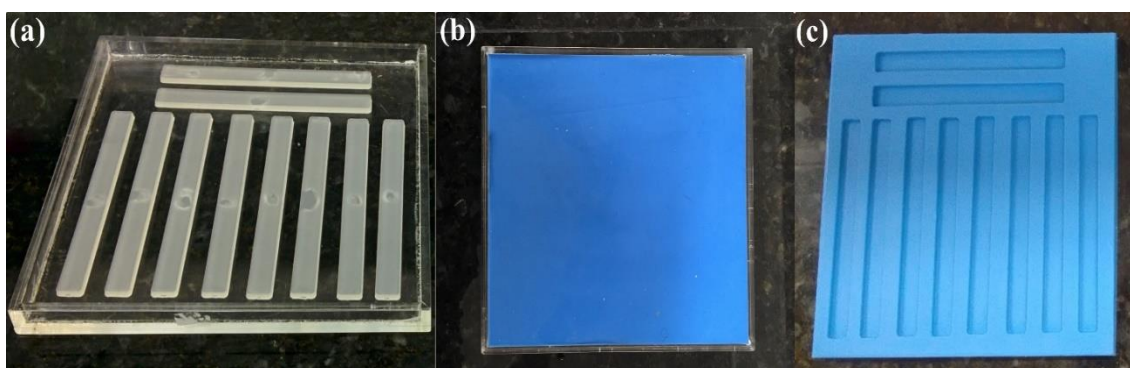
4.2.1 Preparação do molde de silicone

Para a confecção dos corpos de prova foram fabricados moldes de silicone conforme apresentado na Figura 10 a partir de amostras de referência com

dimensões requeridas pelas normas de ensaios de resistência a flexão, ASTM D790-17 (2017).

Ao longo de uma base de acrílico foram depositadas amostras de referência e sobre as mesmas foi vertida a resina de silicone para a formação do molde. A Figura 10 apresenta as etapas de preparação do molde de silicone.

Figura 10 Etapas de preparação do molde de Silicone a) placa de acrílico com amostras de referência para os ensaios; b) silicone vertido sobre as amostras; c) molde final de silicone



Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

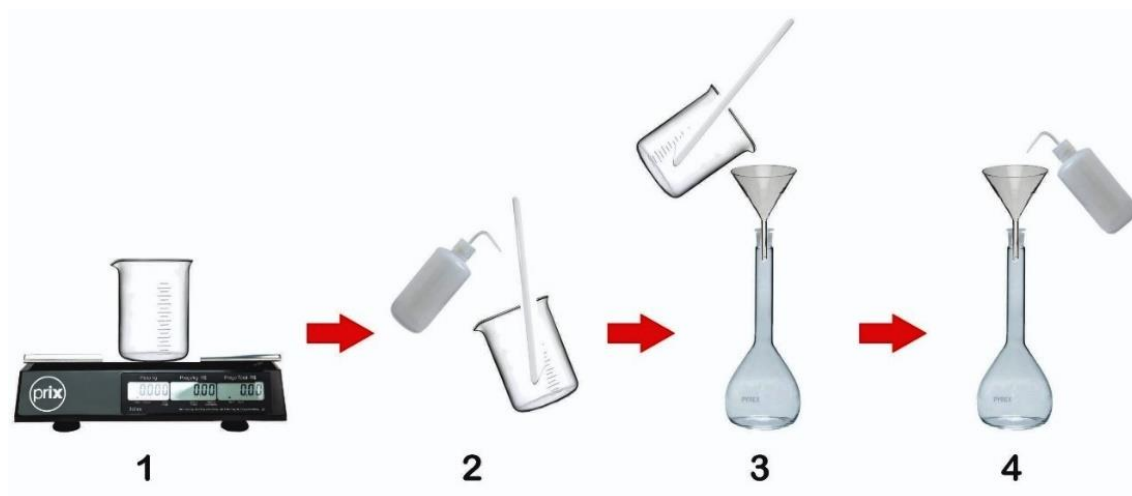
A produção do molde de silicone teve como objetivo facilitar a desmoldagem dos corpos de prova produzidos, uma vez que estes não têm aderência ao silicone, otimizando o processo de produção.

4.2.2 Preparação da Solução Alcalina de Hidróxido de Sódio (NaOH)

A solução de Hidróxido de sódio de concentração final de 0.01 molar foi preparada utilizando 0,412g de NaOH (considerando a pureza de 97% do Hidróxido de sódio) para 1 litro de água destilada de acordo com a equação 1:

$$M = m(g)/MM \times V(l) \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, M é molaridade, m é a massa, MM é a massa molar e V o volume. A Figura 11 ilustra o procedimento de preparação da solução: 1) Quantidade de hidróxido de sódio; 2) Adição de água destilada e dispersão do hidróxido de sódio; 3) Transferência da solução para o balão volumétrico; 4) Diluição da solução.

Figura 21 Esquema de preparação da solução alcalina

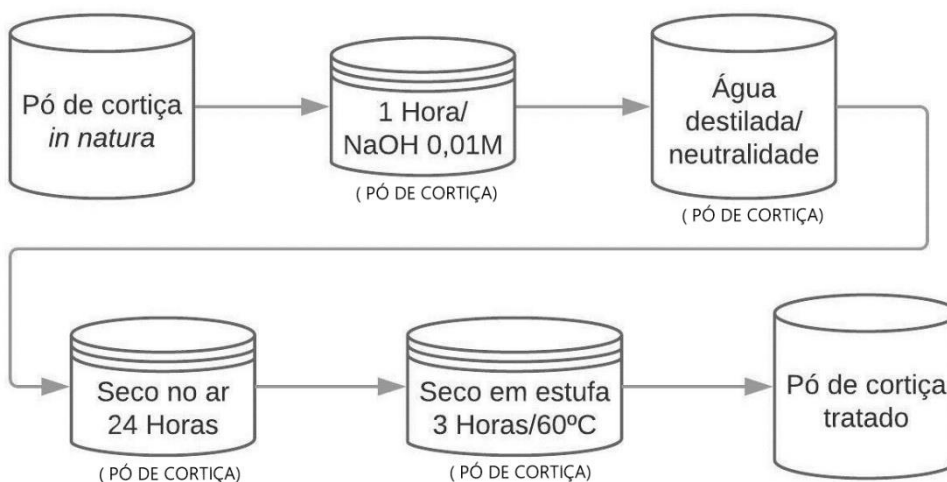
Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

4.2.3 Modificação química da cortiça em pó (tratamento alcalino)

O tratamento químico da superfície da cortiça foi realizado no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados da Universidade Federal do Piauí de acordo com a metodologia seguida por Abdallah, et al. (2010). A Figura 12 apresenta o fluxograma referente ao tratamento alcalino realizado na cortiça em pó.

Inicialmente a cortiça *in natura* foi imersa durante 1 hora na solução de NaOH a uma concentração de 0.01M e após esse tempo, o material foi lavado com água destilada até alcançar a neutralidade da reação. Em seguida, a cortiça foi seca a temperatura ambiente por 24 horas e posteriormente seca em estufa durante 3h a 60 °C.

Figura 32 Fluxograma da modificação química da cortiça – Tratamento Alcalino



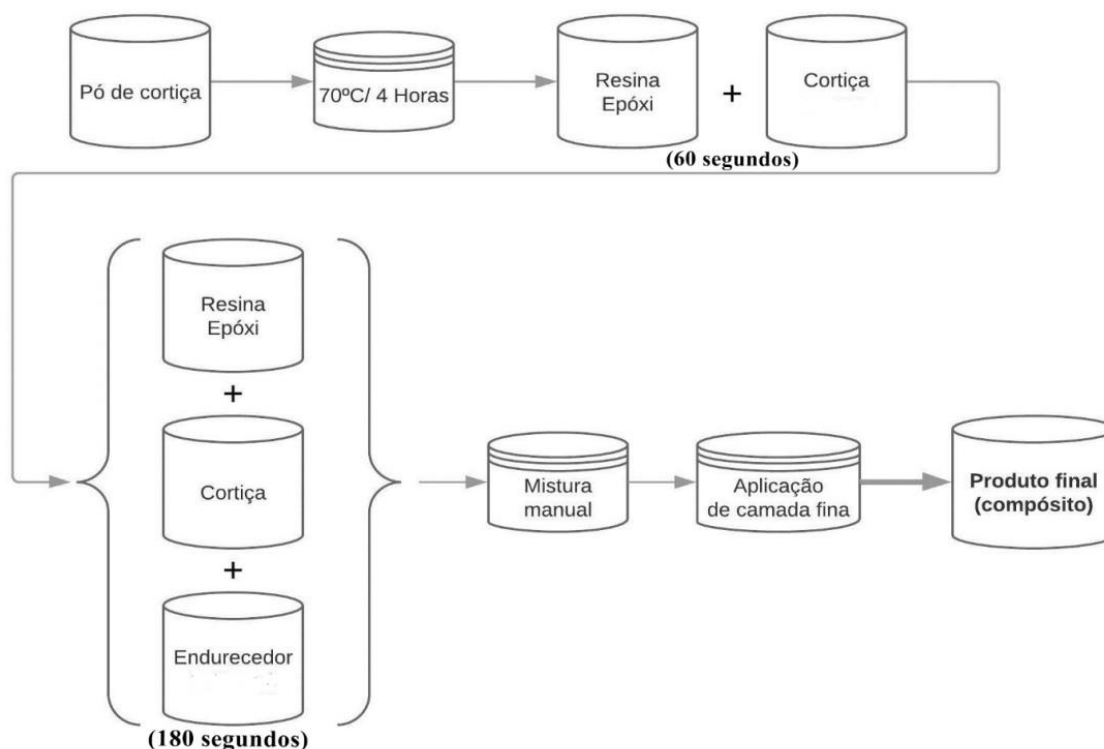
Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

4.2.4 Preparação dos compósitos – *Hand Lay- Up*

Como referência foram inicialmente preparados corpos de prova de resina epóxi pura. A temperatura ambiente, a resina pura foi misturada durante 90 segundos na proporção 100/50 em peso com o endurecedor e em seguida, a mistura foi vertida no molde de silicone nas dimensões preconizadas para os ensaios. A cura completa dos corpos de prova ocorreu no período de 48 horas, respectivamente.

A produção dos compósitos com e sem tratamento alcalino no pó de cortiça foi realizada com base no fluxograma da Figura 13.

Figura 43 Fluxograma de produção dos compósitos com e sem tratamento alcalino no pó de cortiça.



Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

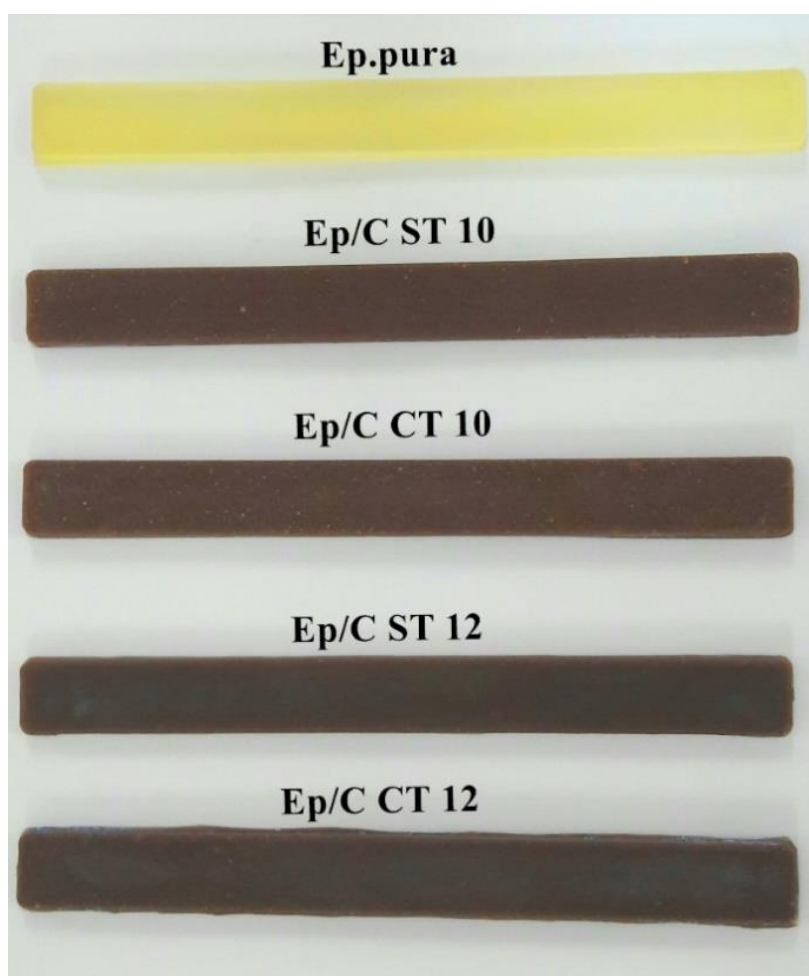
Inicialmente, a cortiça em pó foi seca em estufa a uma temperatura de 70° C durante 4 horas a fim de reduzir a umidade e melhorar a adesão entre os materiais. Após esse tempo, ocorreu uma pré-mistura manual da resina com o pó de cortiça durante 60 segundos e logo em seguida o endurecedor foi adicionado. A mistura total dos três componentes ocorreu em um período de 180 segundos. O molde recebeu inicialmente uma camada fina da mistura e foi aquecido com auxílio de um soprador térmico com intuito de evitar a presença de bolhas e ou defeitos. Depois dessa etapa, o restante da mistura foi vertida no molde. O tempo de desmoldagem e de cura total foram os mesmos dos corpos de prova para a resina epóxi pura.

Os corpos de prova da matriz pura e os compósitos foram produzidos de acordo com as composições destacadas na Tabela 3 e ilustrados na Figura 14.

Tabela 3 Formulação e legendas dos compósitos.

Compósitos (legenda)	Quantidade de Resina Epóxi (%)	Quantidade de Cortiça em pó (%)
Ep.Pura	100	0
Ep/C ST 10	90	10
Ep/C CT 10	90	10
Ep/C ST 12	88	12
Ep/C CT 12	88	12

Ep. Pura – resina epóxi; Ep/C ST 10 – compósito com 10% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 10 – compósito com 10% de cortiça com tratamento; Ep/C ST 12 - compósito com 12% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 12 - compósito com 12% de cortiça com tratamento

Figura 54 Corpos de prova da resina pura e dos compósitos

Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

4.3.1 Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A avaliação morfológica dos corpos de prova foi realizada por meio de um microscópio óptico marca Leica Microsystems, modelo MD500, operando no modo de reflexão com câmera de captura ICC 50E e ampliação de 40X (500 μm) da superfície da fratura do corpo de prova. A caracterização foi realizada no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados – LAPCON da Universidade Federal de Piauí – UFPI.

A morfologia da superfície de fratura após o teste de flexão também foi analisada por meio de um microscópio eletrônico de varredura de marca SHIMADZU, modelo SSX-550 com magnitude de 500x, pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI. As amostras foram previamente metalizadas com fina camada de ouro durante dois minutos, em um equipamento Quick Coater SC-701.

4.3.2 Propriedades Mecânicas da resina e dos compósitos

4.3.2.1 Ensaio de Resistência à Flexão

Foi realizado o ensaio de flexão em três pontos de acordo com a norma ASTM D790-17 (2017) em máquina de ensaios universal da marca EMIC, modelo DL 30000N, pertencente ao Laboratório de Ensaio Mecânicos do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí, com uma célula de carga de 50kN a uma taxa de deflexão de 2 mm/min. Foram utilizados durante o ensaio 6 corpos de prova.

4.3.2.2 Ensaio de Resistência ao Impacto

O comportamento mecânico sob impacto foi avaliado segundo a norma ASTM D256, sem entalhe. Os ensaios foram efetuados com 5 corpos de prova para cada sistema em máquina de ensaio da marca CEAST, modelo Resil 5.5 operando

com martelo de 2,75 J, pertencente ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

4.3.3 Teste de inflamabilidade horizontal

O ensaio de inflamabilidade dos compósitos e da resina pura foi realizado segundo a norma UL-94 HB a fim de se avaliar o comportamento do material em contato com o fogo. O teste foi conduzido em 4 corpos de prova com o objetivo determinar a taxa/velocidade de queima dos materiais.

A taxa de queima das amostras foi calculada por meio da Equação 2.

$$V = \frac{60L}{t} \quad \text{Eq. (2)}$$

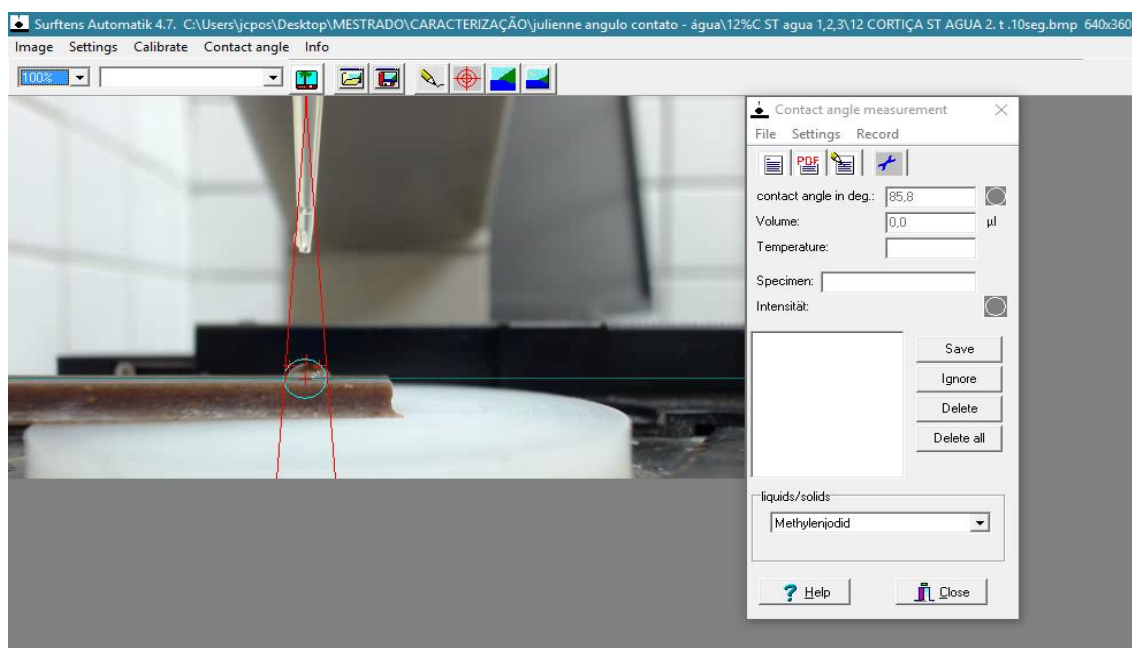
Onde V é a velocidade de queima em mm/min, L é o comprimento consumido pela chama (75 mm) e t é o tempo necessário para que 75 mm do corpo de prova sejam consumidos pela chama. As dimensões dos corpos de prova exigidos pela norma são: 125 ± 5 mm de comprimento, $13 \pm 0,5$ mm de largura e $3,0 \pm 0,2$ mm de espessura. O ensaio foi realizado no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados – LAPCON da Universidade Federal de Piauí – UFPI.

4.3.4 Medida de Ângulo de Contato

O método da Gota Sessil para a análise do ângulo de contato foi empregado com a finalidade de estudar a característica da superfície do material, determinando o caráter hidrofílico ou hidrofóbico. Sobre a superfície dos corpos de prova foi depositada uma gota de 10 μ l de água destilada, sendo este procedimento acompanhado em tempo real com auxílio de uma câmera da marca Logitech modelo HD 1080p e registrado em um computador por meio do software Midia Play Classic. Posteriormente, utilizou-se este mesmo programa para extrair as imagens referentes aos instantes desejados: 0s, 10s, 20s, 30s, 40s, 50s e 60s. Para a análise das imagens obtidas foi utilizado o software *Surftens* versão 4.5 que calculou o valor do ângulo de contato. O cálculo do valor do ângulo de contato foi realizado após 5

marcações e sua respectiva tangente, conforme é mostrado na Figura 15. Os valores de ângulo de representam uma média das medições de três imagens de cada amostra e para cada imagem foram feitas cinco medições para se obter a média e o desvio padrão. Esse ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais do Instituto Federal do Piauí – IFPI.

Figura 15 Medida do ângulo de contato por meio do programa SurfTens



Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

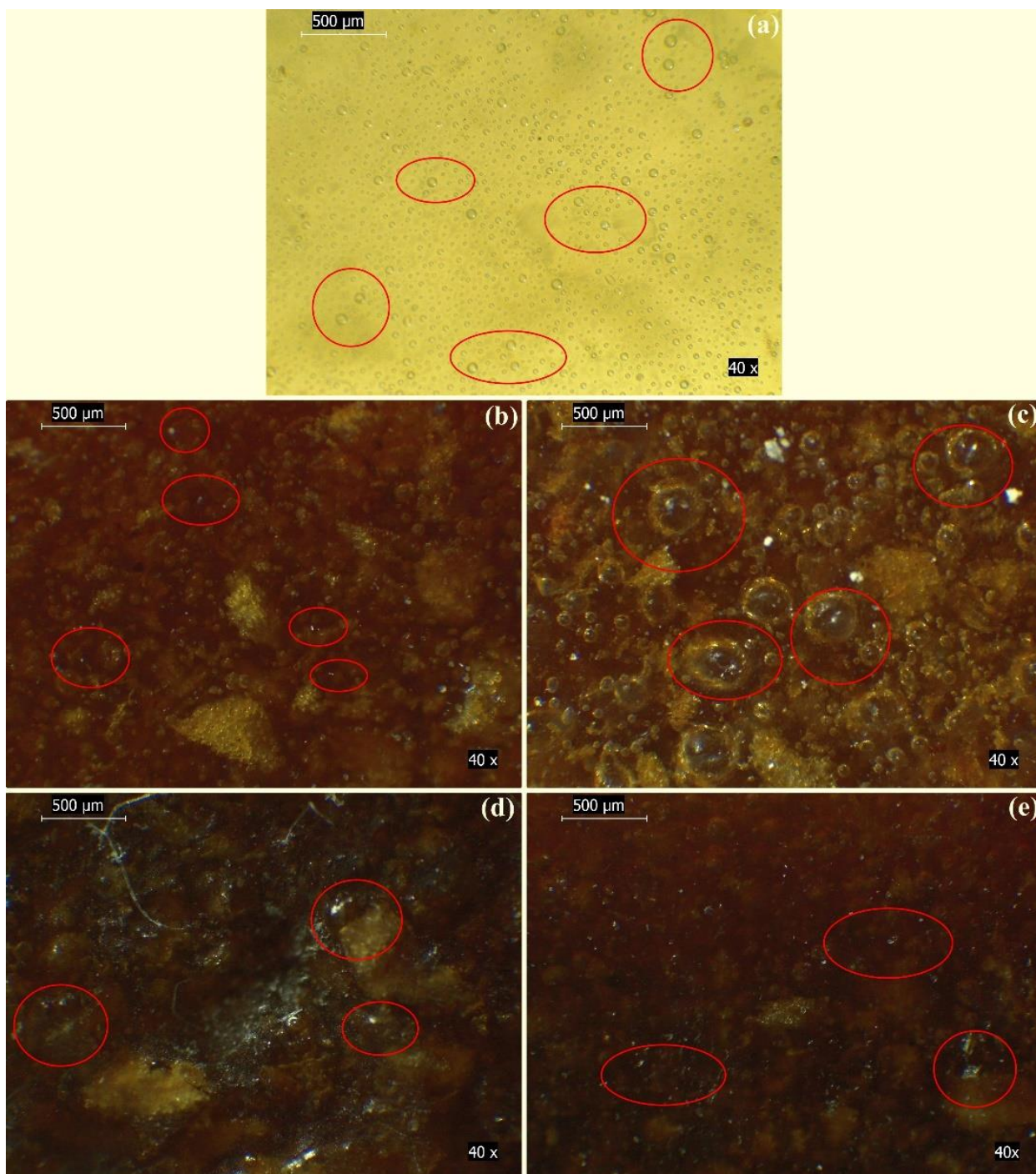
5.1 Microscopia Óptica (MO) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

5.1.1 Microscopia Óptica (MO)

Na Figura 16 são apresentadas as micrografias ópticas com ampliação de 40X das superfícies dos corpos de prova da resina epóxi e dos compósitos.

Na micrografia óptica do corpo de prova da resina epóxi (Figura 16.a) são observadas bolhas de ar de diferentes tamanhos distribuídas pela superfície do material (círculos vermelhos) e alguns pontos de impurezas. Nas imagens dos compósitos (Figura 16.b, 16.c, 16.d e 16.e) observou-se também a presença de bolhas de ar por toda a superfície dos materiais produzidos bem como a distribuição irregular da cortiça ao longo de toda a superfície dos compósitos. A presença de bolhas e a baixa distribuição da carga foram atribuídas ao tipo de processamento realizado para fabricação dos compósitos e pela baixa densidade da cortiça. Esse comportamento foi observado em todos os compósitos produzidos.

Figura 66 Micrografias ópticas com magnitude de 40x da superfície da resina epóxi e dos compósitos (a) Ep. Pura – resina epóxi; (b) Ep/C ST 10; (c) Ep/C CT 10; (d) Ep/C ST 12; (e) Ep/C CT 12.

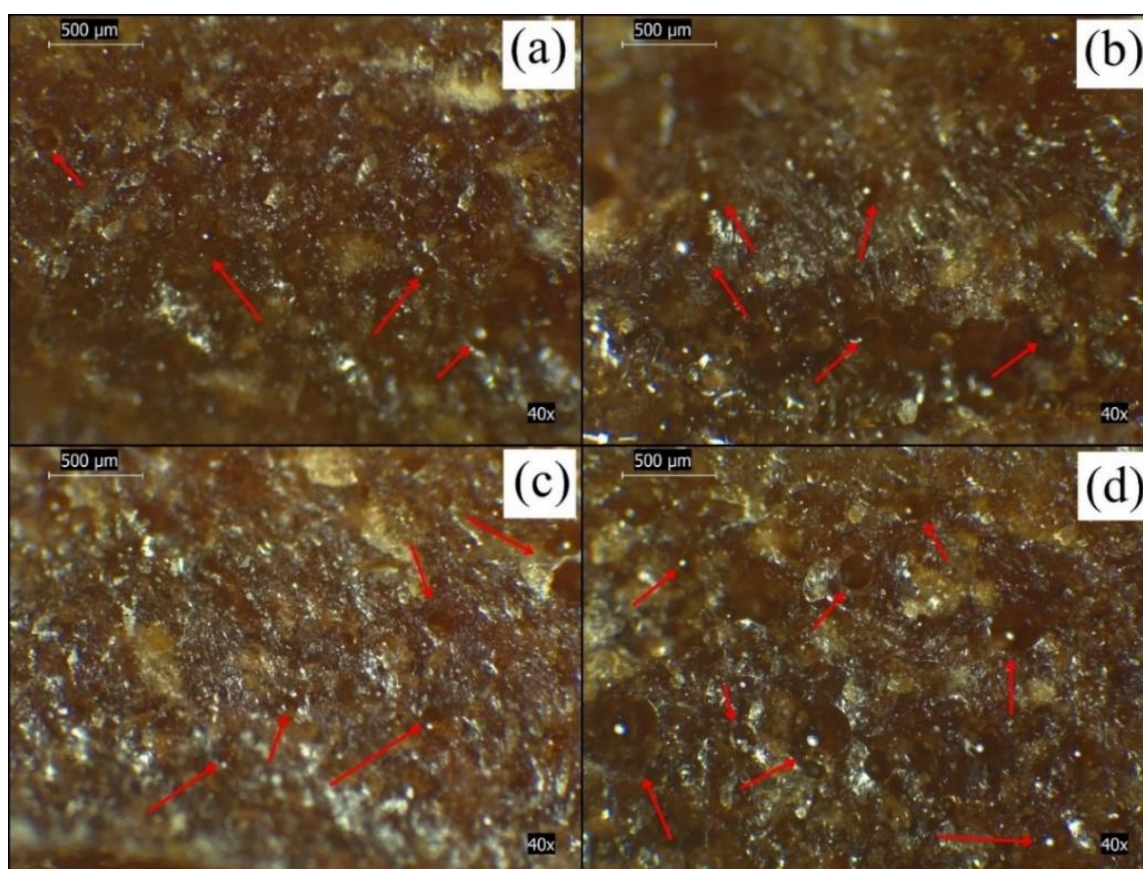


Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

Na Figura 17 são apresentadas as micrografias ópticas da superfície de fratura dos compósitos produzidos com cortiça em pó com e sem tratamento alcalino após o teste de flexão. Foi observada em todos os compósitos a presença de bolhas (setas vermelhas), falta de homogeneização e baixa uniformidade na distribuição da

cortiça ao longo da matriz polimérica. Essas características foram determinantes durante o ensaio de flexão formando áreas que atuaram como pontos de iniciação da fratura e acabaram por induzir a ruptura do material. Comportamento contrário foi observado para os corpos de prova a base de resina pura que não apresentaram ruptura durante o ensaio. A adição de 10% e 12% de cortiça em pó dificultou a mistura colaborando para uma baixa distribuição e aumentando a viscosidade final da mistura, isso ocorreu possivelmente devido à baixa densidade da carga selecionada que ocasionou um aumento significativo dos defeitos (bolhas) durante o processamento. Os compósitos constituídos da cortiça tratada também apresentaram semelhantes características, diferenciando apenas em relação a diminuição da viscosidade final da mistura, possivelmente devido a eliminação de impurezas e ceras presentes na carga.

Figura 17 Micrografias ópticas com magnitude de 40x da superfície de fratura dos compósitos (a) Ep/C ST 10; (b) Ep/C CT 10; (c) Ep/C ST 12; (d) Ep/C CT 12.



Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

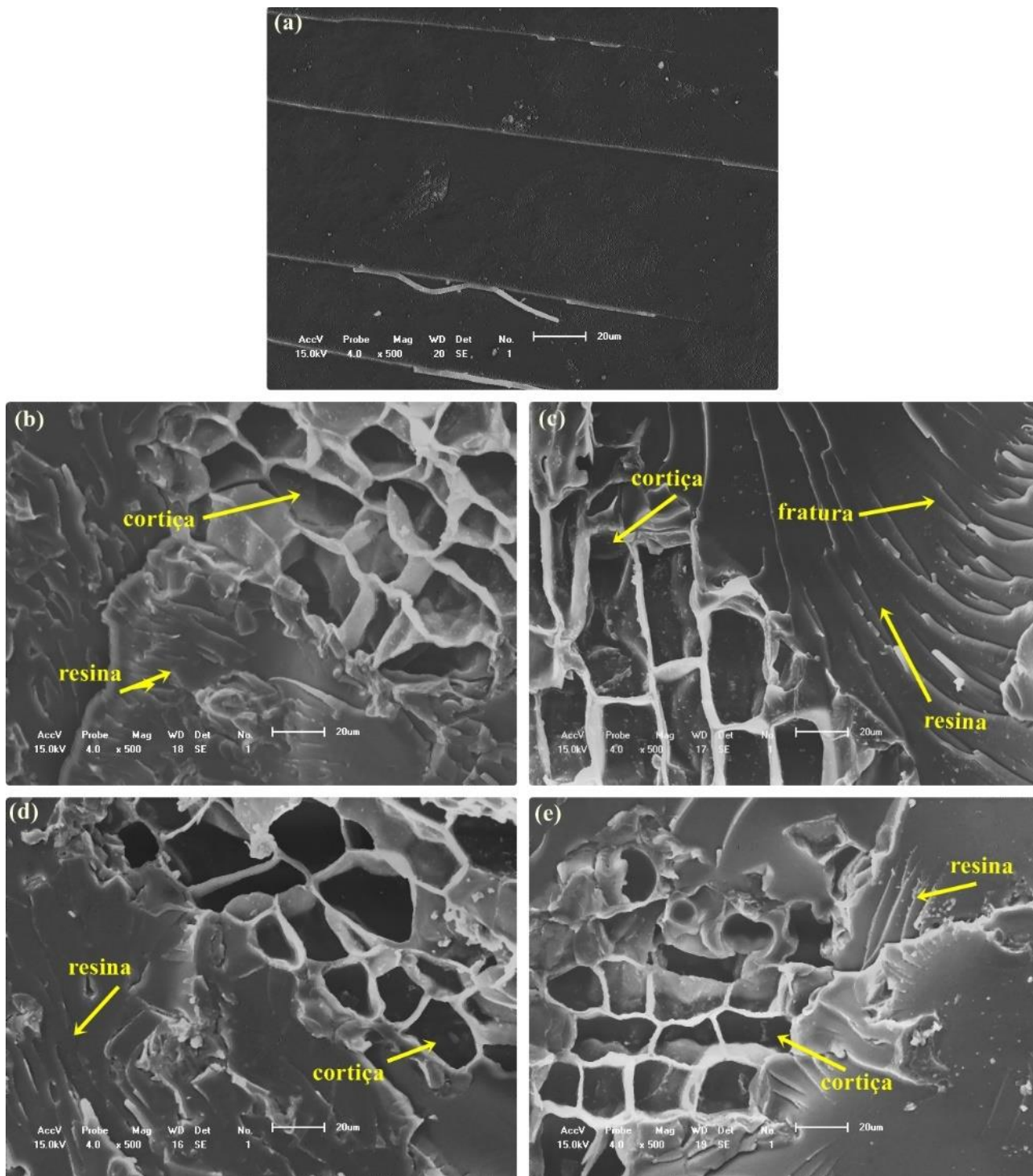
Resultados semelhantes foram relatados no trabalho de Oliveira, Becker e Amico, (2015) que avaliaram as características da resina epóxi com diferentes aditivos no intuito de evitar a formação de bolhas. O estudo mostrou que a presença desse defeito afeta severamente as propriedades das resinas poliméricas e por consequência as propriedades dos compósitos produzidos, principalmente as mecânicas.

Existem várias causas para a formação desses defeitos, entre elas: o aprisionamento de gás durante o processo de impregnação das cargas com a resina e os voláteis gerados durante a formulação da resina. A quantidade de bolhas de ar aprisionadas pode ser, por vezes, reduzida se a resina for sujeita a um processo de retirada do gás por vácuo, ou pelo uso de aditivos químicos especiais, ou por um processo de mistura automático contribuindo para uma melhor dispersão e uniformidade do compósito (OLIVEIRA, BECKER e AMICO, 2015).

5.1.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A Figura 18 apresenta as micrografias MEV da matriz pura e da fratura sob flexão dos compósitos sem tratamento alcalino (ST) e com tratamento alcalino (CT) com magnitude de 500X.

Figura 18 Micrografias MEV com magnitude de 500x da resina pura (a) Ep. pura e da superfície de fratura dos compósitos: (b) Ep/C ST 10, (c) Ep/C CT 10 (d) Ep/C ST 12, (e) Ep/C CT 12.



Legenda: Ep. Pura – resina epóxi; Ep/C ST 10 – compósito com 10% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 10 – compósito com 10% de cortiça com tratamento; Ep/C ST 12 - compósito com 12% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 12 - compósito com 12% de cortiça com tratamento.

Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

A adesão interfacial da matriz polimérica com a carga foi estudada através das micrografias MEV da superfície de fratura dos compósitos com aumento de 500x e (Figura 18.b, 18.c, 18.d e 18.e). Para ambos os compósitos, a interação interfacial matriz-carga não foi eficiente. Estudos sobre a estrutura interna de cargas vegetais mostraram a presença de impurezas na superfície dessas cargas provenientes do beneficiamento. Esses resíduos presentes na superfície das cargas diminuem a adesão quando estas cargas vegetais são utilizadas em materiais compósitos ou laminados, uma das alternativas é remover parcialmente impurezas da superfície das fibras, deixando-a mais rugosa, o que pode aumentar a adesão na interface fibra/matriz (MARINELLI, et al. 2008).

Foi possível perceber a presença de fratura frágil em destaque na (Figura 18.c) verificado por meio do aspecto liso e brilhante que caracteriza esse tipo de fratura, contudo as células da cortiça permaneceram intactas em todos os compósitos, visto que o tratamento químico alcalino na concentração de 0,01 molar não comprometeu a estrutura celular, desta forma, mantendo a morfologia das paredes das células da cortiça.

Na literatura alguns resultados semelhantes foram observados nos estudos de Barbosa, et al. (2016) e Abenojar, et al. (2014) onde os autores destacaram o efeito da adição de cortiça para produção de compósitos e mostraram que o tratamento realizado na superfície da cortiça tem a função de remover parcialmente a hemicelulose, ceras e lignina presentes na superfície das partículas de cortiça, o que melhorou a adesão entre matriz – carga corroborando com melhores propriedades mecânicas, para materiais que usam a cortiça como carga de reforço.

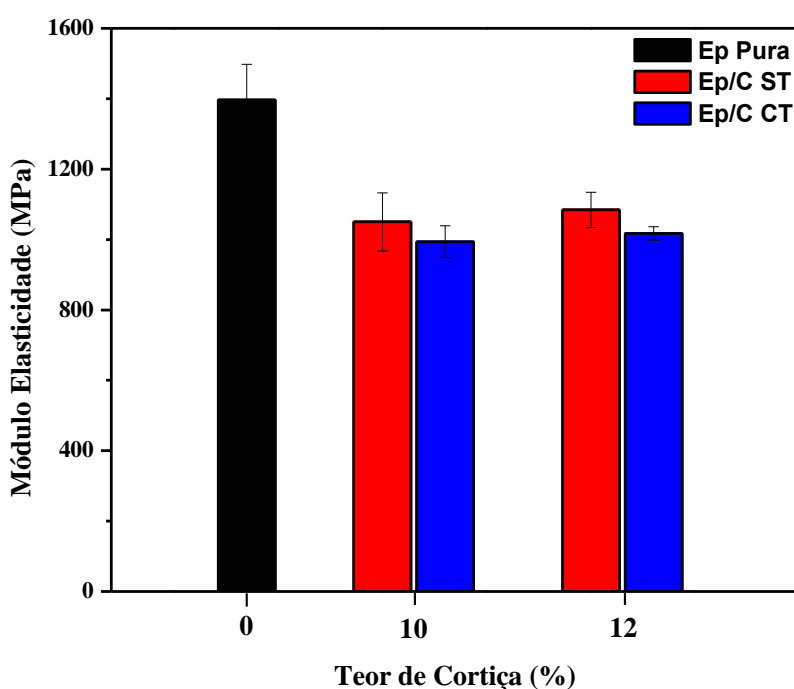
Comportamento similar da estrutura da cortiça foi reportado por Abdallah et al. (2010) ao ressaltarem o tratamento químico alcalino com hidróxido de sódio realizado na cortiça com concentrações de 0,1 M e 0,01 M. Os autores observaram que em soluções de maiores concentrações ocorria uma modificação na estrutura celular da cortiça ocasionando baixas propriedades mecânicas, já o tratamento alcalino feito com a menor concentração (0,01M), foi responsável por não afetar a estrutura celular da cortiça, produzindo assim, células intactas e com uma boa eficiência na distribuição durante o processamento, porém não promovendo vantagens nas propriedades mecânicas estudadas.

5.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MATRIZ PURA E DOS COMPÓSITOS

5.2.1 Ensaio de Flexão

As propriedades mecânicas são parâmetros ou características do material que determinam sua resposta a esforços mecânicos sofridos. A natureza dessa resposta depende da temperatura e do tempo, bem como da estrutura do material, do peso molecular e das condições do ensaio e da preparação da amostra (FREIRE, MONTEIRO e CYRINO, 1994). O efeito da adição de 10% e 12% de cortiça em pó e o tratamento alcalino realizado na carga foram investigados sob as propriedades mecânicas através do ensaio de flexão. Os valores do módulo de elasticidade estão representados na Figura 19.

Figura 7 Módulo de elasticidade da resina pura (Ep. Pura) e dos compósitos (Ep/C ST 10; Ep /C CT 10; Ep /C ST 12; Ep /C CT 12).



Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

Foi observada que a presença de cortiça nos compósitos gera uma redução no módulo de elasticidade em comparação a resina pura. O valor referente

ao módulo de elasticidade sob flexão do material puro foi afetado diretamente, tanto pela proporção de cortiça em pó adicionada quanto pelo tratamento alcalino realizado. O valor do módulo de elasticidade sob flexão para a resina pura (Ep. Pura) foi em média 1396 MPa e os compósitos apresentaram uma redução de aproximadamente 25,77%. Os valores encontrados para o módulo de elasticidade estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 Módulo de elasticidade da resina pura e dos compósitos.

Compósito	(MPa)
Ep.Pura	1396 ± 101,9
Ep/C ST 10	1050 ± 82,29
Ep/C CT 10	993.8 ± 45,34
Ep/C ST 12	1084 ± 50,17
Ep/C CT 12	1017 ± 18,99

Esses valores podem ser devido à baixa homogeneidade, o tipo de processamento empregado, presença de porosidade e a baixa densidade da cortiça, dificultando assim, a mistura e a baixa interação entre a carga e a resina. Diversas técnicas adicionais têm sido sugeridas para melhorar as propriedades mecânicas de plásticos modificados com cargas lignocelulósicas. A adição de auxiliares de processamento, tais como, a adição de compatibilizantes, como polímeros funcionalizados, facilita a processabilidade e/ ou introduz maior polaridade no composto polimérico, promovendo maior dispersão e distribuição das cargas. Os materiais lignocelulósicos, como é o caso da cortiça, possuem grupos hidroxilas polares na superfície, sendo que estes grupos polares facilitadores na interação com matrizes poliméricas polares, como é o caso da resina epóxi, promovendo assim melhores propriedades mecânicas (MARINELLI, et al. 2008). De uma maneira geral, todos os compósitos apresentaram valores inferiores que podem ser atribuídos, ao aparecimento de defeitos e a baixa distribuição e dispersão da carga.

A formação de defeitos é devida também a descontinuidade na impregnação do reforço pela matriz, limitação de interface matriz/reforço e por

monômeros que não reagiram e podem reduzir o desempenho mecânico dos compósitos (MONTICELI, 2017; VARNA *et al.*, 1995; MONTORO, 2014).

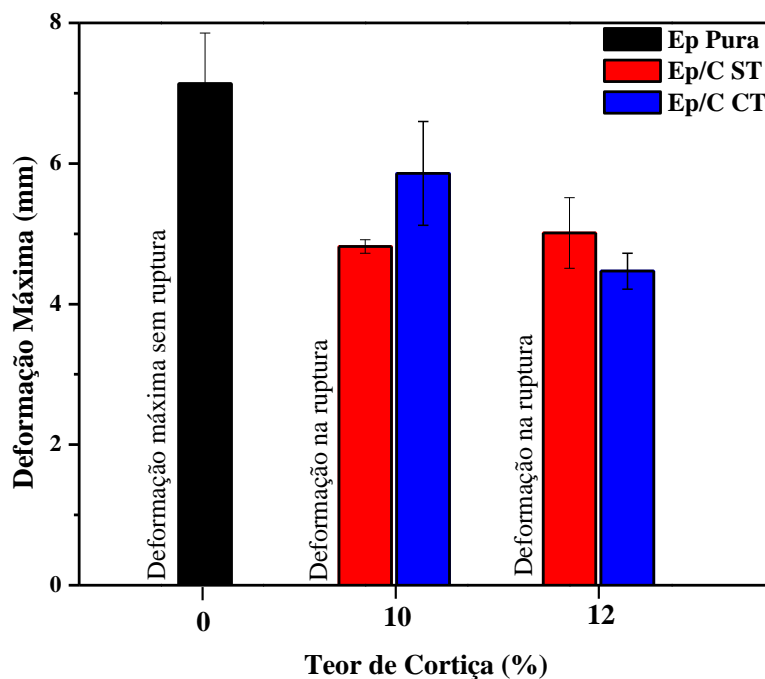
Características semelhantes em relação a quantidade de cortiça e o módulo de elasticidade foram citadas por Nóvoa, et al. (2004) ao estudarem as características mecânicas de um polímero modificado com cortiça granulada. Os autores constataram o efeito da diminuição do volume relativo da resina ao longo do compósito e a baixa resistência da cortiça são as principais responsáveis pela diminuição das propriedades mecânicas observadas.

Gomes, et al. (2017), estudaram a absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos a base de resina poliéster e resíduos de MDF em concentrações de 10, 15 e 20%. Os autores observaram que os compósitos apresentaram uma diminuição gradual na resistência a flexão e no alongamento com o aumento de teor de resíduo, e que o módulo de elasticidade sob flexão foi crescente com a maior quantidade de resíduos incorporados.

Nos estudos de Assumpção, Panzera e Christóforo (2012), os autores incorporaram serragem particulada em resina epóxi e investigaram a influência da carga nas frações 40, 60 e 80 % e granulometrias 100/200 e 10/20 (US-Tyler) sob as propriedades mecânicas. Os valores do módulo de elasticidade variaram de 0,03GPa a 1,45GPa influenciados tanto pela granulometria quanto pela fração de serragem. Observou-se uma melhor organização exibida pelas partículas mais finas (100/200 US-Tyler), e desta forma, uma distribuição mais homogênea e uma melhor interação entre carga e matriz. Os resultados mostraram que a adição de serragem em compósitos de resina epóxi foi bastante promissora e que o fator granulometria da serragem exibiram efeitos significativos sobre todas as propriedades investigadas neste trabalho. Contudo, o aumento do percentual de serragem promoveu a diminuição da densidade e resistência dos compósitos. Em destaque, a proporção de 60% foi satisfatória para várias aplicações na engenharia, já a proporção de 80% exibiu um comportamento mecânico inadequado.

A Figura 20 ilustra o comportamento da deformação máxima da matriz pura (E_p pura) e da deformação na ruptura nos compósitos com cortiça tratada (E_p/C CT) e sem tratamento alcalino (E_p/C ST). Os corpos de prova da matriz pura não romperam, desta forma, os valores reportados referem-se à deformação máxima alcançada no referido sistema.

Figura 80 Deformação máxima x Teor de cortiça dos compósitos.



Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

Os resultados de deformação mostraram a característica semirrígida da matriz de resina epóxi quando submetida a uma deformação máxima de 5% segundo a ASTM D790. A matriz pura (Ep.Pura) suportou uma deformação de 7,135mm sem se romper e ao adicionar a cortiça em pó os valores de deformação foram modificados, provocando a ruptura para todos os compósitos produzidos.

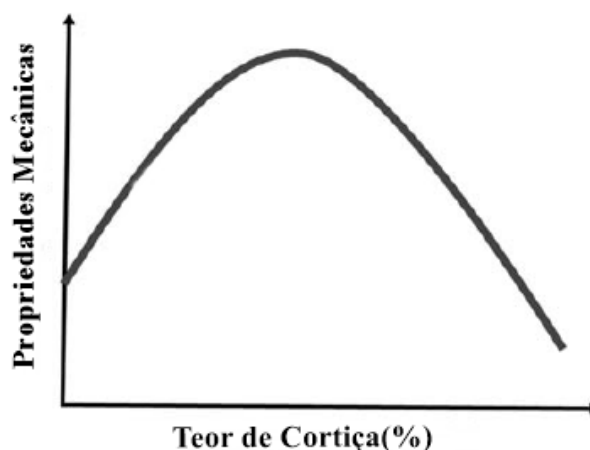
A Tabela 5 apresenta os valores de força máxima e da deformação máxima suportada pelo material. É possível observar que tanto a proporção como o tratamento alcalino realizado na cortiça afetaram a deformação e a característica de ruptura do material. A Ep.pura suportou uma deformação máxima de 7,135mm e uma força máxima de 8,202 kgf e isso pode ser explicado através da característica semirrígida da resina epóxi utilizada que não rompeu durante o ensaio mecânico realizado.

Tabela 5 Deformação Máxima e Força Máxima Suportada.

Compósitos	Deformação Máxima	Força Máxima Suportada
Ep.Pura	7,135mm	8,202 kgf
Ep/C ST 10	4,818mm	5,229kgf
Ep/C CT 10	5,859mm	4,710kgf
Ep/C ST 12	5,012mm	5,337kgf
Ep/C CT 12	4,341mm	4,376kgf

Legenda: Ep. Pura – resina epóxi; Ep/C ST 10 – compósito com 10% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 10 – compósito com 10% de cortiça com tratamento; Ep/C ST 12 - compósito com 12% de cortiça sem tratamento; Ep/C CT 12 - compósito com 12% de cortiça com tratamento.

Em relação aos compósitos foi possível perceber que os valores reportados de deformação máxima e força máxima não apresentaram uma diferença tão acentuada. Esse comportamento na deformação e força máxima suportada durante o processamento pode ser explicado através de um volume crítico presente nas respectivas composições, até um determinado teor, a mesma pode atuar como reforço e à medida que o percentual de carga aumenta essa passa a atuar como carga de enchimento e, assim, diminuindo as propriedades mecânicas do compósito. A Figura 21 ilustra o efeito do teor de cortiça sob as propriedades mecânicas de um compósito, até o teor limiar de concentração de cortiça, as propriedades foram melhoradas e, após esse teor limite, as propriedades tendem a decrescer.

Figura 91 Efeito do teor de cortiça sob as propriedades mecânicas de um compósito

Fonte: Adaptada de BARBOSA et al., (2016).

Resultados semelhantes foram reportados por Barbosa, et al. (2016) ao estudarem a influência da quantidade de cortiça como material de reforço em resina epóxi. As amostras com quantidades mínimas de cortiça apresentaram valores superiores de deformação máxima quando comparada à resina pura, ou seja, a cortiça atuou como reforço e melhorou a deformação do material quando comparada ao sistema puro. Nesse estudo, a quantidade de cortiça utilizada foi de até 1,5%, o que foi bastante significativa para obtenção de propriedades mecânicas. As boas propriedades mecânicas reportadas no estudo são consequências de um estudo realizado no volume crítico de carga que pode ser adicionada em um compósito, à medida que a carga ultrapassa esse volume crítico ela atua como enchimento provocando a redução das propriedades mecânicas no material. Contudo, o percentual de carga adicionado em um compósito é um fator determinante na busca por melhores propriedades mecânicas.

Comportamento similar também foi reportado no estudo feito por Kumar, et al. (2014) ao desenvolverem compósitos de epóxi reforçado com pó de madeira. Nesta pesquisa, as proporções utilizadas de pó de madeira foram de 2,5; 5; 7.5; 10; 12,5 e 15 % que foram misturadas mecanicamente. Foi observado que quanto maior a proporção da carga adicionada, menores foram os valores das propriedades mecânicas do material, esse comportamento foi explicado devido à presença de aglomerados e isso ocorreu devido a formação de aglomerados do pó de madeira ao redor da resina epóxi, evitando um processo de cura eficiente do compósito. O pó de madeira possui boas características por melhorar as propriedades de tração e flexão da resina polimérica, sendo que o compósito produzido com 10% de pó de madeira como apresentou os melhores resultados.

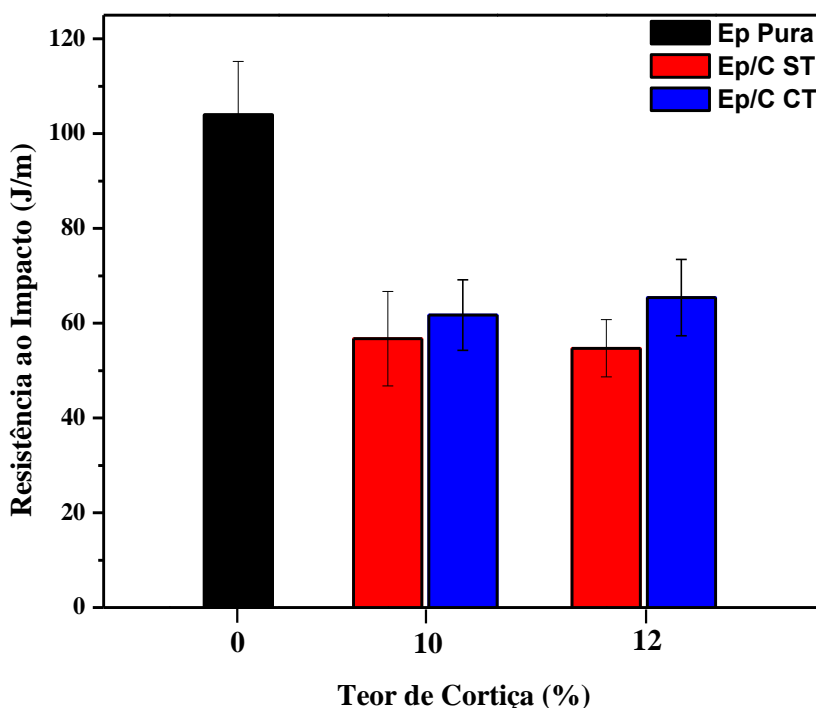
Sajith, Arumugam e Dhakal (2017), realizaram um estudo comparativo das propriedades mecânicas usando casca de coco em pó, casca de arroz e pó de madeira com proporções variando de 2,5 % a 6,5 % em uma resina epóxi. A deformação do material variou com o percentual de carga presente no compósito e quanto menor foi o volume, maior a mobilidade da fração polimérica, resultando em uma alta ductilidade. A medida que aumentou a concentração em volume, a distância média entre as partículas diminuiu, e assim reduzindo a mobilidade do polímero, a perda da ductilidade e, conseqüentemente, o aumento da rigidez. O tipo de carga foi o parâmetro mais influente, e o compósito com pó de madeira

apresentou uma melhor deformabilidade devido a uma boa interação entre os componentes. Os compósitos contendo cascas de coco tornaram-se mais rígidos do que os de casca de arroz e o pó de madeira, possivelmente devido ao maior teor de lignina e de partículas de forma esférica. Contudo é comprovado que as propriedades dos compósitos poliméricos de epóxi são diretamente influenciadas pelo tipo, tamanho e volume das cargas adicionadas.

5.2.2 Resistência ao Impacto

A Figura 22 ilustra os resultados de resistência ao impacto da matriz pura e dos compósitos na presença da cortiça em pó com e sem tratamento alcalino.

A adição de cortiça afetou negativamente as propriedades de impacto dos compósitos. Isto pode ser observado tanto nos compósitos com tratamento alcalino como nos compósitos sem tratamento. A adição de 10% e 12% com tratamento alcalino recuperou parcialmente a perda na propriedade, mas não conseguiu superar o desempenho dos corpos de prova da matriz pura. No caso da resina epóxi pura constatou-se um aumento de 42,65% nessa propriedade comparando com os compósitos.

Figura 102 Resistência ao impacto x Teor de cortiça dos compósitos

Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

Para os compósitos com 10% de cortiça os valores de energia absorvida foram de 56,70 J/m (Ep/C ST 10) e 61,70 J/m (Ep/C CT 10) e os compósitos com 12% de cortiça apresentaram os valores de 54,69 J/m (Ep/C ST 12) e 65,38 J/m (Ep/C CT 12).

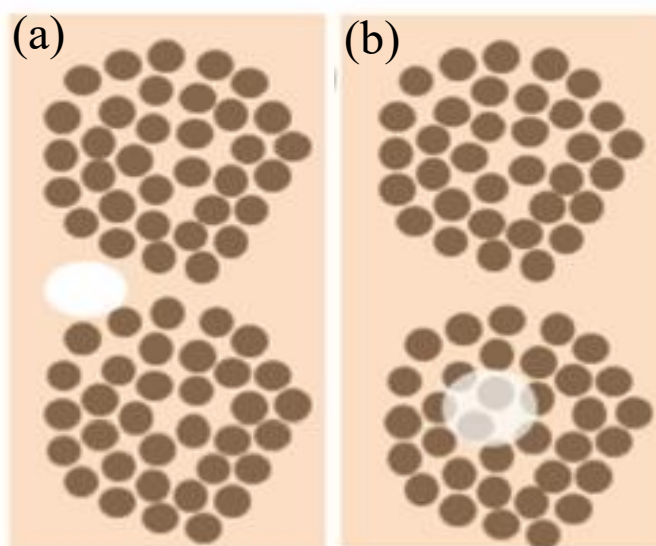
A redução dos valores da resistência ao impacto dos compósitos em relação a matriz epóxi foi possivelmente devido à falta de homogeneização ocorrida durante o processamento e, conseqüentemente, ocorreu uma redução nessa propriedade, como foi observado ao adicionar a cortiça em pó na resina epóxi. Esse decréscimo também pode ser explicado pela cura inapropriada da resina que afetou a cadeia do polímero, diminuindo as propriedades mecânicas (HERTER, 2010).

Ao comparar os compósitos com cortiça sem tratamento alcalino com os compósitos com a cortiça tratada observou-se que a modificação química possibilitou aos compósitos um aumento na absorção de energia. Esse comportamento pode ser explicado através da redução de impurezas e ceras retiradas do pó de cortiça durante o tratamento químico e, como consequência,

aumento da resistência ao impacto. Este aumento deve-se à manutenção da estrutura celular da cortiça, formando uma barreira à propagação da trinca e uma boa adesão da interface fibra/matriz, que demanda maior quantidade de energia para ser rompida (HERTER, 2010).

Oliveira, Becker e Amico (2015) destacaram em seu estudo, a avaliação de propriedades mecânicas e a morfologia por microscopia óptica da resina epóxi com diferentes aditivos desaerantes. Os compósitos fraturaram de forma frágil e ao reduzir os defeitos e bolhas de ar, um melhor resultado dessa propriedade foi obtido. De acordo com o comportamento mecânico realizado no estudo proposto, os valores encontrados das propriedades foram inferiores à matriz pura. Os resultados obtidos podem ser atribuídos a presença de vazios ou bolhas, que sofrem forte influência dos parâmetros de processamento da resina, bem como da fração de reforço (MONTICELI, 2017; COSTA et al., 2001; PARK et al., 2011). Na Figura 23 são ilustradas as possíveis posições dos vazios ou bolhas nos compósitos preparados.

Figura 11 Diferentes posições de formação de vazios ou bolhas: a) entre as partículas e b) vazios junto às partículas.



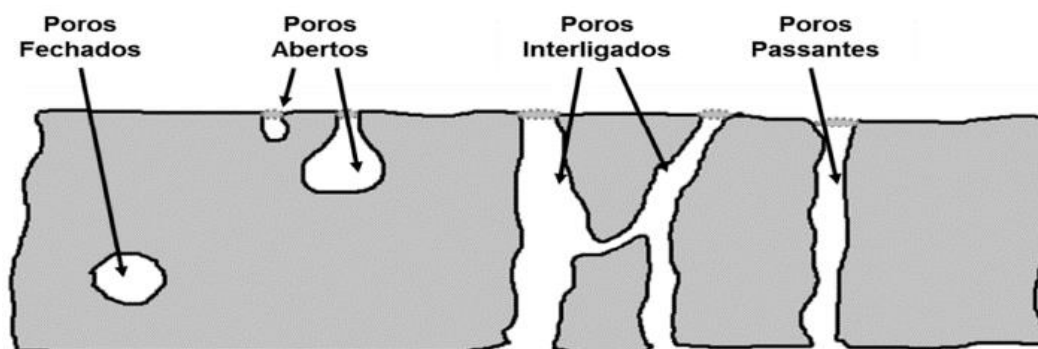
Fonte: MONTICELI, (2017).

Os compósitos, quando submetidos à aplicação de carga, perdem resistência mecânica visto que os vazios ou bolhas são concentradores de tensões. Os vazios ou bolhas superficiais prejudicam a resistência mecânica dos compósitos, devido ao fato de que a fratura se inicia em falhas superficiais. A grande influência mecânica que um poro pode causar em um compósito é a diminuição da interface

entre a matriz e o reforço. Ocorre então a diminuição da área em que a matriz distribui a carga para o reforço, concentrando a tensão aplicada. O resultado disso é o rompimento prematuro (PARK, et al. 2011; OLIVEIRA, BECKER e AMICO, 2014). Nem sempre uma melhoria na adesão promove aumento na resistência do compósito, principalmente com relação ao impacto. O ideal seria uma combinação de propriedades para se obter compósitos resistentes e que apresentem reprodutibilidade de propriedades durante os testes ou ensaios mecânicos (PAIVA, et al.1999).

Outro ponto importante é a presença de poros em materiais. Os poros sem conexão com a superfície são formados pelo fechamento de poros na superfície ou por gases liberados durante o processo que não houve tempo de sair do material ou de reagir. A Figura 24 ilustra os tipos de poros com e sem conectividade com a superfície (MONTICELI, 2017).

Figura 124 Ilustração dos tipos de poros presentes em compósitos



Fonte: MONTICELI, (2017).

A matriz polimérica também possui alguns fatores que podem influenciar diretamente na formação de vazios ou bolhas no material final. Algumas resinas epóxis têm a necessidade de desgaseificação, que pode ser feito pelo aquecimento para retirada de bolhas da matriz quando na fase líquida. Utilizar a temperatura, tempo e pressão de vácuo adequado para a desgaseificação é um fator que garante um processamento com ausência de bolhas na resina, eliminando o fator que pode aumentar a fração de vazios no compósito (MONTICELI, 2017).

Um problema comum no uso de compósitos onde as propriedades mecânicas são reduzidas é a presença de umidade, sendo mais grave nos compósitos a base de fibras ou cargas naturais (vegetal) devido a sua natureza

hidrofílica. Além disso, essas fibras ou cargas são bastante susceptíveis a ataques de fungos e bactérias. A natureza hidrofílica proporciona baixa molhabilidade e adsorção da matriz polimérica em sua superfície, resultando em fraca adesão interfacial polímero-fibra no compósito final (DE MEDEIROS, et al. 2003; NÓBREGA, et al. 2006). A tendência das cargas lignocelulósicas em absorver umidade irá gerar a formação de vapores durante o processamento. Se o material não for adequadamente seco, antes do processamento, haverá a formação de um produto com porosidade e com microestrutura semelhante a um expandido estrutural. Esta distribuição de porosidade é influenciada pelas condições de processamento e, conseqüentemente, trará comprometimento às propriedades mecânicas do material modificado (MARINELLI, et al.2008).

5.3 – INFLAMABILIDADE

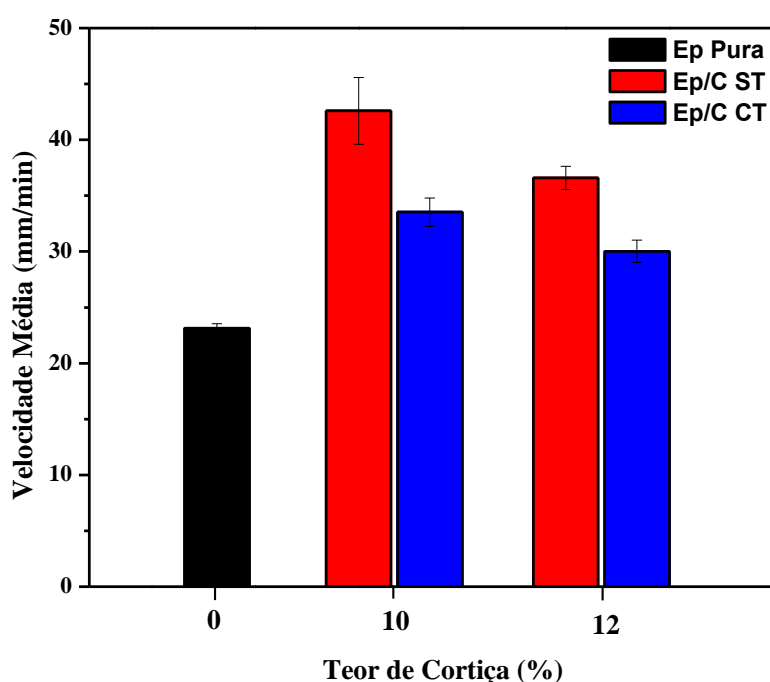
A Figura 25 apresenta a velocidade média de queima da matriz pura (Ep.Pura) e dos compósitos produzidos com e sem tratamento alcalino (Ep/C ST 10, Ep/C CT 10, Ep/C ST 12, Ep/C CT 12).

O ensaio de queima horizontal representa a velocidade de propagação da chama (mm/min), portanto, está relacionado diretamente à reatividade do material, e, assim, à sua taxa de decomposição e a conseqüente liberação de compostos combustíveis. Durante o ensaio de inflamabilidade foram observadas as seguintes características em todos os compósitos: intenso gotejamento durante o deslocamento da chama, aumento significativo na quantidade de fuligem, chama alta/ intensa e a presença de fumaça.

Segundo Nunes (2010), durante a queima de um substrato polimérico ocorre a liberação de fumaça e/ou vapores que contenham vários elementos químicos inflamáveis que, na maioria das vezes, ocorre liberação simultânea de gases potencialmente tóxicos que podem ser prejudiciais aos seres vivos que estejam no raio de ação da fumaça ou que adentrem a área de influência dos potenciais agentes danosos. A quantidade de fumaça liberada dependerá de inúmeros fatores, como por exemplo, fonte de ignição, disponibilidade de oxigênio no ar e a constituição e propriedades do material combustível.

A adição de cortiça em pó e o tratamento químico alcalino foram determinantes nas características do material durante o ensaio e nos valores da velocidade média de queima. Ao comparar o comportamento da velocidade de queima da matriz pura com a velocidade de queima dos compósitos produzidos, observou-se um aumento de até 54,32%, ou seja, os compósitos apresentaram uma queima mais rápida em relação a resina epóxi pura.

Figura 135 Velocidade Média de queima x Teor de cortiça



Fonte: Arquivo pessoal, (2017).

Observou-se também que o efeito do tratamento alcalino realizado na cortiça favoreceu a uma diminuição na velocidade média de queima dos compósitos. Os compósitos Ep/ C ST10 apresentaram um valor superior de queima em torno de 27% em relação aos compósitos Ep/ C CT10, já os compósitos Ep/ C ST12 em comparação Ep/ C CT12 esse valor foi de 22%, ou seja, os compósitos tratados tiveram uma velocidade de queima menor. Uma possível explicação para esse comportamento pode ter sido pela redução das impurezas, ceras e da eliminação de materiais lignocelulósicos após o tratamento alcalino realizado no pó de cortiça,

desta forma, a modificação contribuiu para a diminuição de material orgânico e, conseqüentemente, diminuindo a queima do material.

Como a maioria dos produtos orgânicos, os polímeros são em maior ou menor grau, inflamáveis. Isto ocorre porque durante o aquecimento há a liberação de pequenas moléculas que atuam como combustíveis em presença do fogo. Em algumas aplicações é essencial se evitar a combustão, o que tem incentivado o desenvolvimento de formulações retardantes de chama, reduzindo assim a probabilidade de combustão durante a fase de iniciação do fogo, bem como a velocidade de propagação da chama. Pelas crescentes exigências das normas de segurança, em algumas aplicações a inflamabilidade é uma das barreiras de utilização de alguns polímeros (RABELLO, 2000).

Na literatura, o comportamento de compósitos perante o fogo foi avaliado no trabalho de Gonzáles, et al. (2010) com formulações de resina epóxi e fibras de carbono. Esses materiais não apresentaram um bom comportamento individual, ou seja, a resina epóxi sozinha ou a fibra de carbono não apresentaram uma redução no comportamento ao fogo e esse desempenho só foi melhorado quando compósitos na forma sanduíches foram desenvolvidos. Esse resultado foi diferente do trabalho em questão, já que a cortiça disposta no formato de partículas não melhorou os resultados de velocidade média de queima dos materiais.

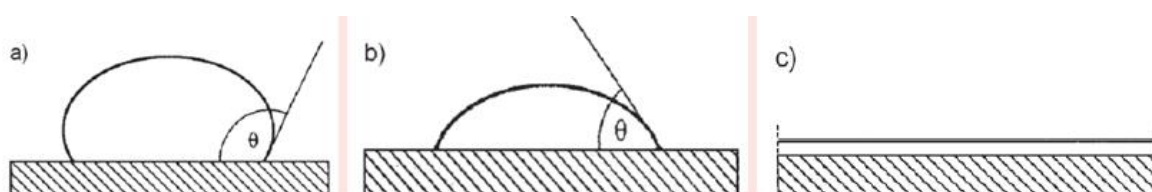
Resultados semelhantes foram reportados por Ribeiro, et al. (2013). Ao prepararem compósitos de resina poliéster insaturada reforçado com fibra de abacaxi, os mesmos verificaram que a presença da fibra aumentou a velocidade de queima dos compósitos. A possível explicação foi atribuída a relação do caráter orgânico da resina e a composição da carga de reforço que afetaram diretamente no aumento da velocidade de queima dos compósitos. As fibras celulósicas e ou partículas que possuem celulose que é o caso da cortiça, em sua composição inflamam-se a temperaturas mais baixas e queimam mais rapidamente, tornando o material menos resistente ao fogo.

De acordo com Horrocks e Kandola, (2005) as fibras inorgânicas fundem-se ou amolecem, enquanto, as fibras orgânicas podem degradar-se em pequenos produtos dependendo da sua estabilidade térmica. Segundo Kandola e Horrocks, (2001) as fibras celulósicas inflamam-se a temperaturas mais baixas e queimam rapidamente.

5.4 - ÂNGULO DE CONTATO

Por definição tem-se que quando $\theta > 90^\circ$, não há o molhamento do sólido pelo líquido, ou seja, não ocorre o espalhamento do líquido (Fig. 26 a); quando $\theta < 90^\circ$, há o molhamento e o líquido se espalha espontaneamente (Fig. 26 b); quando $\theta \approx 0^\circ$, o líquido se espalha indefinidamente sobre o sólido, ou seja, o molhamento é total (Fig. 26 c) (LUZ, RIBEIRO E PANDOLFELLI, 2008).

Figura 146 Representação do ângulo de contato (a) maior do que 90° , (b) menor do que 90° e (c) espalhamento total.



Fonte: LUZ, RIBEIRO E PANDOLFELLI, (2008).

A Figura 27 apresenta o comportamento do ângulo de contato para a matriz pura (Ep.Pura) e para os compósitos produzidos sem tratamento alcalino (Ep/C ST 10 , Ep/C ST 12) e com tratamento alcalino (Ep/C CT 10 , Ep/C CT 12).A matriz pura (Ep.Pura) apresentou ângulo de contato em torno de $87,04^\circ$, caracterizando o material como hidrofílico. É possível também perceber uma mudança na molhabilidade do material pela adição de cortiça em pó e pelo tratamento químico alcalino realizado.

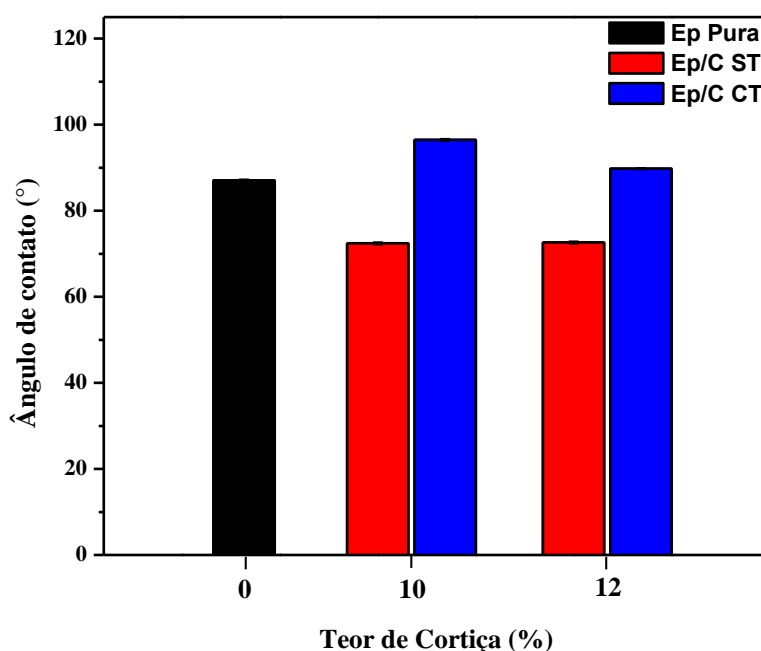
Ao adicionar cortiça em pó sem tratamento a matriz de epóxi observou-se que a característica da superfície se manteve hidrofílica. Esse comportamento se deve a presença de poros e fissuras que estão presentes na superfície dos materiais, além de não apresentarem uma superfície lisa, o que promoveu hidrofiliabilidade ao material. Já a medida que foi realizado o tratamento químico alcalino no pó da cortiça, verificou-se mudanças na superfície do material, passando a ter um caráter hidrofóbico, em destaque a composição com 10% de cortiça com tratamento químico.

A mercerização (solução de NaOH) tem sido muito utilizado para tratar fibras celulósicas e melhorar as características adesivas da superfície removendo as

impurezas, através desse tratamento, a tensão superficial e conseqüentemente a molhabilidade das cargas se tornam maiores, melhorando também a ligação através de uma força mecânica de entrelaçamento entre a matriz e a superfície rugosa das fibras. A mercerização também proporciona o desfibrilamento das fibras, ou seja, a desagregação das fibras em microfibras, aumentando assim a área superficial efetiva disponível para o contato com a matriz líquida (MARINELLI, et al. 2008).

Na literatura, o comportamento de modificação da superfície do material foi observado por Barbosa, et al. (2013) tendo os autores reportado que o tratamento por meio de plasma foi capaz de alterar o comportamento de cortiça de hidrofóbico para hidrofílico. Essa característica é independente da orientação ou do crescimento celular da carga (radial, tangencial ou axial), assegurando que a adesão das partículas de cortiça é uniforme em toda a superfície dos compósitos.

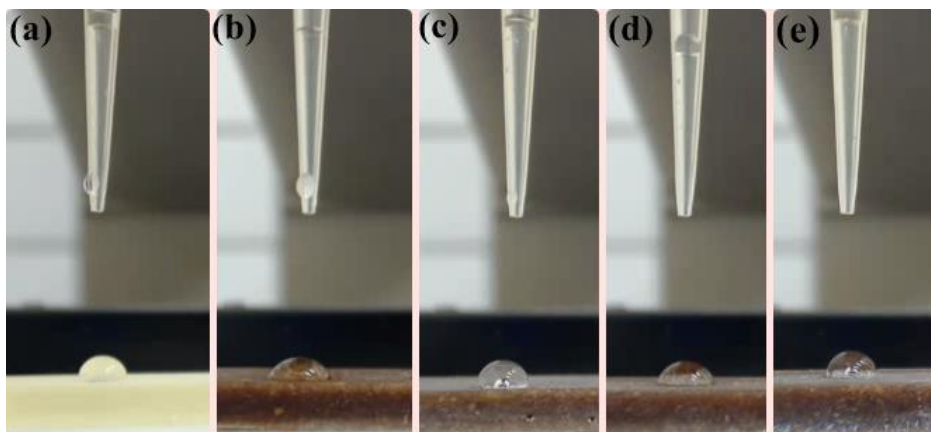
Figura 157 Ângulo de contato x Teor de cortiça



Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

Na Figura 28 é possível observar a superfície do material com a inserção da gota de água na resina pura e nos compósitos com e sem tratamento, confirmando assim a diferença da molhabilidade.

Figura 168 Representação da gota de água sob a superfície dos materiais, (a) Ep.pura; (b) Ep/C ST 10; (c) Ep/C CT 10; (d); Ep/C ST 12; (e) Ep/C CT 12.



Fonte: Arquivo pessoal, (2018).

Alguns autores citam que a rugosidade, a heterogeneidade da superfície do material, reações entre líquido e o sólido, atmosfera do ensaio, tempo e a temperatura são os principais fatores que podem afetar o comportamento de molhabilidade de um sólido por um líquido (BÉNARD, FOLIS e GRISEL, 2007; LONG et al. 2005; NAKAE et al. 1998). Contudo, a modificação que ocorreu na superfície do material com o tratamento químico realizado pode ser explicada por meio da morfologia da célula de cortiça tratada que permaneceu intacta em sua estrutura e pela eliminação de impurezas, visto que essas características favorecem o caráter hidrofóbico quando comparados com aqueles que possuem microestruturas aglomeradas, facilitando a formação de poros e conduzindo a uma superfície hidrofílica.

Valores semelhantes foram reportados por Barbosa et al., (2012) ao avaliarem a influência do tamanho e da quantidade de partículas de cortiça em um adesivo estrutural. Os autores encontraram um comportamento hidrofóbico por parte da cortiça, a presença da suberina, que é o principal componente em sua composição, dificultando assim, a adesão entre as partículas de cortiça e a resina epóxi.

No trabalho de Botelho et al. (2004) os autores encontraram o valor do ângulo de contato para resina epóxi pura em torno de 72° confirmando como molhante a superfície do material.

Sunny et al. (2017) estudaram a morfologia e a hidrofiliçidade da resina epóxi com nanopartículas de óxido de cobre. A resina epóxi pura apresentou um valor do ângulo de contato a 79° e à medida que aumentou a proporção das nanopartículas ocorreu um aumento na hidrofiliçidade do material. Foi também destacado nesse trabalho que os agregados formados pela carga e a distribuição uniforme ajudaram a melhorar a molhabilidade e hidrofiliçidade do material. Resultados semelhantes são observados no trabalho aqui apresentado, tanto quanto a superfície da resina epóxi como para a diminuição da hidrofiliçidade ocasionado por uma distribuição não uniforme, tornando a superfície hidrofóbica dos compósitos na presença da cortiça tratada.

O presente trabalho destaca ainda que o uso de cortiça em pó sem tratamento e após tratamento alcalino é alternativa de cargas para a resina epóxi em substituição aos materiais tradicionais já utilizados. Esse estudo tem como destaque o tipo de processamento (*Hand lay up*), baixo custo de investimento, moldes simples e de fácil manipulação, baixa emissão de gases e vapores, baixo ou nenhum consumo de energia térmica ou elétrica e nenhum consumo de água.

Os resultados encontrados foram satisfatórios dentro da proposta pretendida, devido ao uso de uma carga natural de baixa densidade, formulação inédita na literatura, processamento manual e o tratamento químico realizado com concentração de 1% de NaOH. Os valores encontrados para as propriedades mecânicas dos compósitos com a matriz polimérica termofixa e pó de cortiça foram atribuídas a presença de defeitos, questão que poderá ser resolvida em novos estudos e adaptações no processamento. Em relação a velocidade de queima existe a necessidade de utilizar aditivos retardantes a chama para melhorar o desempenho diante do fogo. Contudo, esses resultados norteiam e destacam a cortiça como uma possibilidade de material eficiente para a produção de materiais compósitos.

6 CONCLUSÕES

Neste estudo, foram desenvolvidos compósitos de resina epóxi e cortiça em pó com e sem tratamento alcalino, por meio do processamento *hand lay-up*. Este é um trabalho inicial em que diversos parâmetros de processos podem ser adequados, como exemplo: meio para agitação, aditivos, temperatura, etc... para a obtenção de compósitos com menor formação de defeitos. Em destaque, pode ser citado a utilização de um material natural e renovável reduzindo assim, os impactos ao meio ambiente.

Por MO e MEV pôde-se avaliar identificar a presença bolhas bem como a estrutura celular da cortiça intacta. Nos resultados mecânicos e no ensaio de inflamabilidade foram destacados que a influência da quantidade de cortiça, a falta de interação entre a matriz e a carga, e o tratamento alcalino afetaram nos valores encontrados. O caráter hidrofóbico adquirido através da medida do ângulo de contato na composição de 10% dos compósitos com tratamento alcalino é uma característica relevante para a possível aplicação em divisórias.

Contudo nesse estudo, pode-se destacar que os compósitos de um modo geral apresentaram boas características para uma possível aplicação na construção civil. Desta forma, tais materiais se tornam uma alternativa viável em substituição as matrizes poliméricas convencionais, como por exemplo, na produção de paredes/divisórias e ou parede de vedação sem função estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D256-02. Standard Test Methods Determining the Pendulum Impact of Notched Specimens of Plastics. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2002.

ASTM D790-17. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.

ASTM D3878-07. American Standards for Testing and Materials. Standard Terminology of Composite Materials. Conshohocken, USA, 2015.

ASTM D1696–95. (Reapproved 2011). Standard Test Method for Solubility of Cellulose in Sodium Hydroxide, 2005.

ABENOJAR, J.; BARBOSA, A.Q.; BALLESTEROS, Y.; REAL, J.C.; SILVA, L.F.M.; MARTÍNEZ, M.A. Effect of surface treatments on natural cork: surface energy, adhesion, and acoustic insulation. **Wood Sci Technol**, 48. p. 207-224, 2014.

ABDALLAH, F.B.; CHEIKH, B.F.; BARKLOUTI, M.; DENCHEV, Z.; CUNHA, A.M. Effect of surface treatment in cork reinforced composites. **Journal of Polymer Research**, vol .17, p. 519-528, 2010.

ALBINANTE, S. R., PACHECO, É. B. A. V., VISCONTE, L. L. Y. (2013) Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. *Química Nova*, vol. 36, n. 1, p. 114-122.

ALMEIDA, C. N. Propriedades mecânicas e térmicas do sistema epóxi DGEBA/Etilenodiamina modificado com nanoplateformas de silsesquioxano substituídas com grupos ésteres. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) Pós-Graduação em Engenharia, UEP, 2005.

ALVAREZ, V., VÁZQUEZ, A. Influence of fiber chemical modification procedure on the mechanical properties and water absorption of mater Bi-Y/sisal fiber composites. **Composites, Part A**, v. 37, 1672–1680, 2006.

AMARAL, T.P.; BARRA, G.M.O.; BARCIA, F.L.; SOARES, B.G. Estudo das Propriedades de Compósitos de Polianilina e Resina Epoxídica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 11, n 3, p. 140-157, 2001.

ASSUMPÇÃO, M. E.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L. Estudo da adição de serragem em compósitos particulados poliméricos. **Madeira: arquitetura e engenharia**, 12(28), p. 27-36, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.drywall.org.br/teses.php>. Acesso em: 03 de jun.de 2018.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F.M.; OCHSNER, A.; ABENOJAR, J.; DEL REAL, J.C. Influence of the size and Amount of Cork Particles on the Impact Toughness of a Structural Adhesive. **The Journal of Adesion**, 88:4-6, p. 452-470, 2012.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F.M.; ABENOJAR, J.; DEL REAL, J.C.; PAIVA, R.M.M.; OSCHSNER, Utilization of microparticles of cork as reinforcing material of fragile structural adhesives. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, 25, p. 42-49, 2013.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F. M.; OCHSNER, A. Effect of the amount of cork particles on the strength and glass transition temperature of a structural adhesive. *Journal of Materials : Desing and Aplications*, 228, p. 323-333, 2014.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F.M.; ABENOJAR, J.; DEL REAL, J.C.; PAIVA, R.M.M.; OSCHSNER, A. Kinect analysis and characterization of na epoxy/cork adhesive. **Thermochimica Acta**, 605, p. 52-60, 2015.

BARBOSA, E.M.L. Análise comparativa entre alvenaria em bloco cerâmico de vedação e drywall, **Especialize On Line**, vol.1, n 10, 2015.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F.M.; ABENOJAR, J.; FIGUEIREDO, M.; OCHSNER, A. Toughness of a brittle epoxy resin reinforced with micro cork particles. **Composites Part B**, doi: 10.1016/compositesb.2016.10.072, 2016.

BARBOSA, A.Q.; SILVA, L.F.M.; OCHSNER, A.; MARQUES, E.A.S. Micro Cork Particles as Adhesive Reinforcement Material for Brittle Resins. **Materials Design and Aplications Part VIII**, 65, p. 399-418, 2017.

BARROS FILHO, R. M. Sistema Drywall e Stell Frame. Faculdade INAP, 2010.

BATISTA, F. N. A. O uso da cortiça na construção sustentável. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

BÉNARD, Q.; FOLIS, M.; GRISEL, M. Roughness and fibre reinforcement effect onto wettability of composite surfaces, **Appl. Surf. Sci.** v. 253, p. 4753-4758, 2007.

BELINGARDI, G.; CAVATORTA, M. P.; SALVATORE PAOLINO, D. Repeated impact response of hand lay-up and vacum infusion thick glass reinforced laminates. **International Jurnal of Impact Engineering**, v. 35, n. 7, p. 609 – 619, 2008.

BILYEU, B.; BROSTOW, W.; MENARD, K. P. Evaluation of the curing process in a fiber-reinforced epoxy composite by temperature-modulated and Step Scan DSC and DMA. (J. Mater, Org.). [S.I.]: CAS. p. 21, 281, 1999.

BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. **Progress in Polymer Science**, v. 24, 221-274, 1999.

BOTELHO, E.C.; SILVA, R.A.; PARDINI, L.C.; REZENDE, M.C.; Avaliação da Colagem Estrutural na Obtenção de Compósitos Híbridos de Fibra Contínua/Epóxi/Alumínio. 7º Congresso Brasileiro de Polímeros, Minas Gerais, 2004.

BRITES, F., MALCA, C., GASPAR, F., HORTA, J. F., FRANCO, M. C., BISCAIA, S., MATEUS, A. Cork Plastic Composite Optimization for 3D Printing Applications. *Procedia Manufacturing*, 12, 156-165, 2017.

CAMPBELL, F.C. Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials. Elsevier Ltd, 2006.

CARNEIRO, L. A. V., TEIXEIRA, A. M. A. J. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, 3, 2008.

CIOFFI, M. O. H. Resina epóxi reforçada com tecido de carbono não dobrável por processo RTM. Tese (Livre Docente em Processamento de Polímeros). Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2011.

CHIEBAO, F. Manual materiais de construção e decoração.". **Cultura, Natureza, Futuro, APCOR**, 2011.

CORDEIRO, N.; BELGACEM, N.M.; GANDINI, A.; NETO, C.P. Cork Suberin as a New Source of Chemicals: Crystallinity, Thermal and Rheological Properties. Bioresource Technology, **Elsevier Science** 63, p. 153-158, 1997.

COSTA, M.L.; REZENDE, M.C.; PARDINI, L.C. Métodos de Estudo da Cinética de Cura de Resina Epóxi. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*- abr/ jun, 1999.

COSTA, M. L.; ALMEIDA, S. F. M.; REZENDE, M. C. Resistência ao cisalhamento interlaminar de compósitos com resina epóxi com diferentes arranjos das fibras na presença de vazios. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 4, p. 182-189, 2001.

DE MEDEIROS, E. S., AGNELLI, J. A. M., JOSEPH, K., DE CARVALHO, L. H., MATTOSO L. H. C. Curing behavior of a novolac-type phenolic resin analyzed by differential scanning calorimetry. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 90, pp.1678-1682,2003.

FERREIRA, R., PEREIRA, D., GAGO, A., PROENÇA, J. Experimental characterisation of cork agglomerate core sandwich panels for wall assemblies in buildings. **Journal of Building Engineering**, 5, p. 194-210, 2016 a.

FERREIRA, J., MIRANDA, I., ŞEN, U., PEREIRA, H. Chemical and cellular features of virgin and reproduction cork from *Quercus variabilis*. **Industrial crops and products**, 94, p.638-648, 2016 b.

FERNANDES, F. A. O., TAVARES, J. P., DE SOUSA, R. A., PEREIRA, A. B., ESTEVES, J. L. Manufacturing and testing composites based on natural materials. **Procedia Manufacturing**, 13, p. 227-234, 2017.

FREIRE, E., MONTEIRO, E. E., CYRINO, J. C. Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 4(3), 25-32, 1994.

GIL, L. Cortiça na construção sustentável e energeticamente eficiente. Chiado Editora, Lisboa, 2015.

GOMES, J. W.; GODOI, G. S.; SOUZA, L. G. M. D.; SOUZA, L. G. V. M. D. Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, 27(Suppl), p. 48-55, 2017.

GOUVEIA, F. P. Efeito da adição de filer gesso nas propriedades dos ligantes asfálticos e concretos asfálticos. Doutorado (Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2013.

GUIDI, E. S., DE AZEVEDO SILVA, F. Estudo do comportamento mecânico no ensaio de flexão em três pontos de materiais compósitos poliméricos utilizando elementos finitos. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2010.

GONZÁLEZ, J.; RANZ, D.; MÁRQUEZ, J.A.; MIRAVETE, A. Desarrollo de um nuevo sistema de maerial compuesto: resistente bal fuego y altamente estructural. **Materiales de Construcción**, 60,298, p. 109-121, 2010.

HALLIWELL, S.M. Polymers in Building and Construction. **Rapra Review Reports**, 13, 10, p. 3-27, 2002.

HERTER, F. F. Desempenho de compósitos tri-componente epóxi/fibra de vidro/hidróxidos duplos lamelares, 2010.

HORROCKS, A. R.; KANDOLA, B. K. Flammability and fire resistance of composites, In: Long AC, editor, Design and manufacture of textile composites, chapter 9, p 330. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd. 2005.

HOTO, R.; FURUNDARENA, G.; TORRES, J.P.; MUÑOZ, E. ANDRÉS, J.; GARCÍA, J.A. Flexural behavior and water absorption of asymmetrical sandwich composites from natural fibers and cork agglomerate core. **Materials Letters**, 127, p. 48-52, 2014.

KANDARE, E.; LUANGTRIRATANA, P.; KANDOLA, B.K. Fire reaction properties od flax/ epoxy laminates and their balsa – core sandwich composites with or without fire protection. **Composites: Part B**, 56, p. 602-610, 2014.

KANDOLA, B. K.; HORROCKS, A. R. **Composites**. In: Horrocks A. R, Price D, editors. **Fire retardant materials**, Chapter 5, p 182. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.2001.

KILIARIS, T.; PAPASPYRIDIES, C. D. Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. **Progress in Polymer Science**. V. 35, nº 7, p. 902-958, 2010.

KÖHLER-HAMMER, C., KNIPPERS, J., HAMMER, M.R. Bio-based plastics for building facades. *Start-Up Creation*, p. 329 – 346, 2016.

KUMAR, R.; KUMAR, K.; SAHOO, P.; BHOWMIK, S. Study of mechanical properties of wood dust reinforced epoxy composite. *Procedia Materials Science*, 6, p. 551-556, 2014.

LAKREB, N.; BEZZAZI, B.; PEREIRA, H. Mechanical behavior of multilayered sandwich panels of wood veneer and a core of cork agglomerates. **Materials and Design**,65, p. 627-636, 2014.

LIMA, B. H. R. Nanopartículas de Fe₃O₄ funcionalizadas e nanocompósitos de base epóxi. Tese (Doutorado). São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, 2016.

LONG, J. et al. Thermodynamic modeling of contact angles on rough, heterogeneous surfaces. **Adv. Colloid Interface Sci.** v.118, p.173-190, 2005.

LUZ, A. P.; RIBEIRO, S.; PANDOLFELLI V. C. Use of the wettability in the investigation of the corrosion behaviour of the refractory materials. **Cerâmica**, 54 (330), p. 174-183, 2008.

MARINELLI, A. L., MONTEIRO, M. R., AMBRÓSIO, J. D., BRANCIFORTI, M. C., KOBAYASHI, M.,NOBRE, A. D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 18(2), 92-99, 2008.

MARTINS, R.R.; PIRES, A.T.N.; AL-QURESHI, H.A.; BARRA, G.M.O.; Estudo da viabilidade de utilização de fibras naturais curtas em matrizes de resina epóxi. **Revista Matéria**, v 13, n 4, p. 605-610, 2008.

MATTHEWS, F. L.: RAWLINGS, R. D. Composite materials: engineering and Science. London. **Chapman & Hall**, 1999.

MIRANDA, R. M. Estudo do comportamento mecânico de um eco-compósito para aplicação como painéis divisórios de ambientes. 345 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, 2007.

MIRANDA, R. M. Desenvolvimento de uma estrutura sanduíche de base polimérica, produzida com resíduos das indústrias de mineração e metalurgia, para aplicação como painel divisório de ambientes internos na construção civil. 185 f. Tese

(Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia), Universidade Federal do Pará, 2016.

MONTICELI, F. M. Otimização da determinação de vazios em compósitos híbridos processados por RTM. Dissertação (Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá). Universidade Estadual Paulista, 2017.

MONTORO, S. R. **Influência dos parâmetros de processamento por RTM no volume de vazios em compósitos carbono/epóxi**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

MONTEIRO, S. N., MENEZES, G. W., SKURY, A. L. D., LOPES, F. P., RODRIGUEZ, R. J., & BOBROVNITCHII, G. S. Propriedades mecânicas e termomecânicas de compósitos com partículas de diamante dispersas em matriz epoxídica modificada na razão resina/endurecedor. **Matéria**, 11, p.385-394, 2006.

MOTTE, J. C., DELENNE, J. Y., BARRON, C., DUBREUCQ, É., MAYER-LAIGLE, C. Elastic properties of packing of granulated cork: Effect of particle size. **Industrial Crops and Products**, 99, p. 126-134, 2017.

NAKAE, H. et al. Effect of surface roughness on wettability, **Acta Mater.** v. 46, p. 2313-2318, 1998.

NÓBREGA, M.M.S., BRAZ, C.J.F., ALVES, T.S., FONSECA, V.M., CARVALHO, L.H. Tensile and Impact Properties of Macambira and Caroá fiber reinforced Unsaturated Polyester Composites. International Conference on **Science, & Technology for Sustainable Development**. New Delhi, 2006.

NÓVOA, P.J.R.O.; RIBEIRO, M.C.S.; FERREIRA, A.J.M.; MARQUES, A.T. Mechanical Characterization of lightweight polymer mortar modified with cork granulates. **Composites Science and Technology**, 64, p. 2107-2205, 2004.

NUNES, S. A. Influência do uso de retardantes de chama halogenados e não halogenados em poliolefinas, Dissertação (Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

OLIVEIRA, A.; BECKER, C. M.; AMICO, S. C. Evaluation of the characteristics of an epoxy resin with different degassing agents. **Polímeros**, 25(2), p. 186-191, 2015.

OLIVEIRA, A.; BECKER, C. M.; AMICO, S. C. Efeito de aditivos desaerantes nas características de compósitos de epóxi/fibras de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 117-122, 2014.

PAIVA, J. M., TRINDADE, W. G., FROLLINI, E. Compósitos de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, 9(4), 170-176, 1999.

PARDINI, L. C.; LEVY NETO, F. Compósitos estruturais: Ciência e tecnologia. *Edição. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 2006.*

PARK, C. H.; LEBEL, A.; SAOUAB, A.; BRÉAD, J.; LEE, W. Modeling and simulation of voids and saturation in liquid composite molding processes. **Composites Part A: Applied science and manufacturing**, v. 42, n. 6, p. 658-668, 2011.

PENDHARI, S. S., KANT, T., DESAI, Y. M. (2008). Application of polymer composites in civil construction: A general review. **Composite structures**, 84 (2), p.114-124, 2008.

PEREIRA, H. Cork: biology, production and uses. Amsterdam, Netherlands: **Elsevier**, 2007.

POLETTTO, M. Compósitos termoplásticos com madeira uma breve revisão. **Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada**, 2(4), p. 42-48, 2017.

QUINI, J.G. Polimeros Termofixos para impermeabilização moldada in loco. 13º Simpósio Brasileiro de impermeabilização, 2013.

RABELLO, M. Aditivção de Polímeros, Artliber Editora Ltda, São Paulo, p. 242, 2000.

RIBEIRO, L.M.; LADCHUMANANANDASIVAM, R.; GALVÃO, A.O.; BELARMINO, D.D. Flamabilidade e Retardância de Chama do Compósito: Poliéster Insaturado Reforçado com Fibra de Abacaxi (PALF). **Holos**, p. 29, 2013.

ROMÃO, B. M. V. et al. Aplicação de FT-MIR e FT-NIR ao estudo de reação de cura de sistemas epoxídicos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 14, n. 3, p. 142-149, 2004.

ROWELL, R. M., SANADI, A., CAULFIELD, D. F., JACOBSON, R. E. Utilization of natural fibers in plastic composites problems an opportunity. **First international lignocellulosics plastics composites**, São Paulo, 1996.

SAJITH, S.; ARUMUGAM, V.; DHAKAL, H. N. Comparison on mechanical properties of lignocellulosic flour epoxy composites prepared by using coconut shell, rice husk and teakwood as fillers. **Polymer Testing**, 58, p. 60-69, 2017.

SARASINI, F.; TIRILLÒ, J.; FERRANTE, L.; VALENTE, M.; VALENTE, T.; LAMPANI, L.; GAUDENZI, P.; CIOFFI, S.; IANNACE, S.; SORRENTINO, L. Drop -weight impact behavior of woven hybrid basalt-carbon/epoxy composites. **Composites: 82 Part B**, 59, p. 204-220, 2013.

SILVA, I. L. M. PROPRIEDADES E ESTRUTURA DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS CONTINUAS DE JUTA. Tese (Centro

de Ciência e Tecnologia), da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2014.

SILVA, R. V. Compósito de Resina Poliuretano Derivada do Óleo de Mamona e Fibras Vegetais. Tese Doutorado em Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, 2003.

SMITH, W.F.; HASHEMI. J. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais**. 5ed. Porto Alegre: p.707 Afiliada, 2012.

SONG, A. G. W.; LIANG, G.; YUAN, L. Effect of the surface roughness on interfacial properties of carbon fibers reinforced epoxy resin composites. **Applied Surface Science**, v. 257, n. 9, p. 4069-4074, 2011.

SOUZA FILHO, J. R. D. Obtenção e caracterização de um eco-compósito à base de látex e bainha da palha do coqueiro para isolamento térmico e acústico, 2015.

SUNNY, A. T.; MOZETIC, M.; PRIMC, G.; MATHEW, S.; THOMAS, S. Tunable morphology and hydrophilicity to epoxy resin from copper oxide nanoparticles. **Composites Science and Technology**, 146, p.34-41, 2017.

TAN, H., HAN, J., MA, G., XIAO, M., NIE, J. Preparation of highly exfoliated epoxy-clay nanocomposites by sol-gel modification. **Polymer degradation and Stability**, 93(2), 369-375, 2008.

TARGA, G. N. Compósito reforçado por laminado de bambu com matriz de poliuretano e epóxi: desenvolvimento, produção e caracterização mecânica. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, 2011.

THEOCARIS, P. S. The Unfolding model for the representation of the mesophase layer in composites. **Journal Applied Polymer Science**, v. 30, 621-645, 1985.

Underwriters Laboratories. UL 94: Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. 2016.

UDHAYASANKAR, R., & KARTHIKEYAN, B. A Review on Coconut Shell Reinforced Composites. **International Journal of ChemTech Research**, 8(11), p. 624-637, 2015.

VARNA, J.; JOFFE, R.; BERGLUND, L.A. Effect of voids on failure mechanisms in RTM laminates. **Composites Science and technology**, v. 53, n. 2, p. 241-249, 1995.

VASCONCELOS, G., LOURENÇO, P. B., MENDONÇA, P., CAMÕES, A., MATEUS, R., BRAGANÇA, L. POLETTI, E. Proposal of an innovative solution for partition

walls: mechanical, thermal and acoustic validation. **Construction and Building Materials**, 48, p. 961-979, 2013.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. **Ciência & tecnologia dos materiais**, v. 21, n. 3-4, p. 10-19, 2009.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados, discussão e conclusões relatadas nesta pesquisa, algumas sugestões para trabalhos futuros são abordadas a seguir.

- Utilizar diferentes granulometrias da cortiça e outros tipos de cargas e, posteriormente, observar a influência nas propriedades dos compósitos.
- Utilizar diferentes métodos de modificação superficial do pó da cortiça e estudar o efeito sob as propriedades dos compósitos.
- Misturar os compósitos via outros métodos de processamento, como por exemplo, em um misturador mecânico.
- Modificar os teores de pó de cortiça e resina epóxi com o objetivo de estudar novos tipos de aplicações.
- Utilizar métodos de desgaseificação e de vácuo adequado para retiradas de bolhas durante o processamento dos compósitos.
- Estudar a possibilidade de aditivos retardantes a chama e da fabricação de protótipos referentes a aplicação escolhida.