ENGENHARIA NO SÉCULO XXI

Volume 3

Editora Poisson

Editora Poisson

Engenharia no Século XXI

Volume 3

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2019

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

Msc. Davilson Eduardo Andrade

Msc. Fabiane dos Santos Toledo

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57

**Engenharia no Século XXI - Volume 3/
Organização Editora Poisson - Belo
Horizonte - MG: Poisson, 2019**

Formato: PDF

ISBN: 978-85-7042-091-6

DOI: 10.5935/978-85-7042-091-6

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação.I. Título

CDD-620

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Análise da caracterização microestrutural dos compostos de fibras de bambu e cipó-titica.....	7
--	---

Lucas Thiego de Almeida Monteiro, Natasha Terra Demachki, Moacir Kuwahara

Capítulo 2: Caracterização de materiais compósitos de fibras de sisal e fibras de bambu e fibras de cipó-titica com comprimento de 15 mm	12
---	----

Natasha Terra Demachki, Lucas Thiego de Almeida Monteiro, C. B. Pereira, Moacir Kuwahara

Capítulo 3: Compósitos com fibras curtas (sisal e algodão): correlação das dimensões e proporções das fibras nas propriedades mecânicas	18
--	----

Luis Felipe Alencar Brandão, Amanda Chaves Azevedo, Hellen Cristina Mendonça Coelho, Evandro Costa do Rosário, Alessandro José Gomes dos Santos, Deibson Silva da Costa

Capítulo 4: Reaproveitamento de resíduos em compósitos poliéster: Influência das cinzas nas propriedades mecânicas e térmica	23
---	----

Lucas Rezende Almeida, Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira, Alice dos Prazeres Pinheiro, Diogo Pontes de Queiroz, Deibson Silva da Costa

Capítulo 5: Estudo da descontinuidade geométrica em compósito polimérico reforçado com fibra de juta.....	30
--	----

Glória Maria Leite Carlos, Ana Claudia de Melo Caldas Batista, Raphael Siqueira Fontes

Capítulo 6: Obtenção e caracterização de fibras vegetais para a preparação de biocompósito	39
---	----

Emilia Satoshi Miyamaru Seo, Isabella Tereza Ferro Barbosa, Alessandro Augusto Rogick Athiê

Capítulo 7: Avaliação mecânica e flamabilidade de compósitos com resíduos de lama vermelha e cobre.....	48
--	----

Diogo Pontes de Queiroz, Mario Henrique Moreira de Moraes, Denilson da Silva Costa, Emerson Rodrigues Prazeres, J.S.Souza, Deibson Silva da Costa

Capítulo 8: Cinzas volantes em compósitos poliméricos: análise mecânica e flamabilidade	56
--	----

Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira, Lucas Rezende Almeida, Mario Henrique Moreira de Moraes, Wassim Raja El Banna, Denilson da Silva Costa, Deibson Costa da Silva

SUMÁRIO

Capítulo 9: Estudo das propriedades eletromagnéticas de materiais poliméricos tipo radomes	63
---	----

Tamara Indrusiak Silva, Iaci Miranda Pereira, Matheus Carvalho Bispo, Míriam Kasumi Hwang Yassuda, Antônio Carlos da Cunha Migliano, Bluma Guenther Soares

Capítulo 10: Aplicação de resíduos de eva da indústria de calçados como agente de tenacificação de polímeros termorrígidos.....	71
--	----

Ledjane Lima Sobrinho, Allana Kellen Lima Santos Pereira, Henrique Nunes da Silva, Larissa Kerollaine Maia Gomes, Cybelle Rodrigues Duarte, Vanessa Ermes Santos, Henrique Pereira Cardoso, Ravena Yaskara Sampaio de Oliveira Tavares

Capítulo 11: Projeto e Construção de um Molde para Fabricação de Compósitos por RTM (Moldagem por Transferência de Resina).....	79
--	----

Enilson de Sousa Costa, GlerystonThiago Gomes da Silva, Carlos Cássio de Alcântara

Capítulo 12: Estudo da influência do tipo de substrato na absorção de filme absorvedor solar a base de cinza do bagaço da cana-de-açúcar.	89
---	----

Ithyara Dheylle Machado de Medeiros, Kelly Cristiane Gomes, Gabriela Oliveira Galvão, Marçal Rosas Florentino Lima Filho, Aline Karla Barbosa da Silva, Raissa Venâncio

Capítulo 13: Estudo da influência da granulometria e fração volumétrica no comportamento térmico e mecânico de compósitos de polipropileno com carbonato de cálcio.....	95
--	----

Ana Caroline de Souza Couto, Brunna Juliano de Oliveira, Amanda dos Santos Moreira

Capítulo 14: Análise das composições dos blocos cerâmicos influentes na eflorescência	102
--	-----

Lídia Bruna Teles Gonzaga, Lourena Barbosa Cavalcante Paiva, Jusciane da Costa e Silva, Danielle Dantas Pereira

Capítulo 15: Estudo da interferência da adição de RCD de cerâmica vermelha como agregado miúdo nas propriedades mecânicas do concreto	110
--	-----

Rodrigo Andraus Bispo, André Luís Gamino

Capítulo 16: Telha ecológica fabricada com resina poliéster e fibra de vidro reforçada com fibras de licuri.....	118
---	-----

Rúi Carlos de Sousa Mota, Bárbara Jane Martins Borges, Elba Gomes dos Santos Leal, Esly César Marinho da Silva

SUMÁRIO

Capítulo 17: Estudo das características do tijolo ecológico com adição de resíduo de gesso	125
---	-----

Wendel Melo Prudêncio de Araújo, Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana, Ataídes Oliveira Galvão Júnior, Mark Anderson Moreira e Silva, Renan Maycon Mendes Gomes

Capítulo 18: Correlação entre as propriedades físicas e mecânicas de tijolos produzidos com lama ferruginosa retirada do Rio Doce – MG	134
---	-----

Thais Maria Arruda Ferreira, Lucas da Silva Neves, Fabrício Moura Dias

Capítulo 19: Análise da resistência à compressão e absorção de água de tijolos solo-cimento com adição parcial de fibras de sisal	143
--	-----

Taynara Gonçalves Nonato, Fabrício Moura Dias

Capítulo 20: Avaliação do comportamento mecânico (tração na flexão) de argamassas com fibras vegetais em pó	150
--	-----

Amanda Moraes Almeida, Sérgio Renato Teixeira Nascimento, Thiago Francisco de Souza, Franco Dani Rico Amado

Capítulo 21: Argamassa pigmentada com adição de tensoativo como agente de fluidez.....	155
---	-----

Luis Gustavo Zerbato Sanchez, Ana Lidia da Silva Lino, Éder Baroni da Silveira, Pedro Garcia Lins, Gibran da Cunha Vasconcelos, Camila de Paula Fernandes, Jorge Santos Lyra

Capítulo 22: Influência da adição de fibra de carbono na resistência à compressão e no processo de conformação de argamassas	163
---	-----

Igor Novais Santos, Camila Fernanda de Paula Oliveira, Pedro Garcia Lins, Jorge Santos Lyra, Gibran da Cunha Vasconcelos, Éder Baroni da Silveira

Capítulo 23: Aplicação de concreto resfriado em fundações de edifício residencial: Estudo de caso em Natal/RN	170
--	-----

Ítalo Vale Monte Júnior, Danyel Flávio Lopes de Paiva, Hugo Alessandro Almeida Diniz, Lucy Kheyler Maciel de Mendonça, Cinthia Maia Pederneiras

Capítulo 24: Estudo do comportamento dúctil do concreto reforçado com fibra de álcool polivinílico (PVA) dosado pelo método de empacotamento de partículas.....	178
--	-----

Jéssica Andrade Dantas, Patrícia Maria do Amaral Sabatini, Marco Tadeu Nunes, Heloísa Cristina Fernandes Cordon

Autores	187
----------------------	-----

Capítulo 1

ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DOS COMPOSITOS DE FIBRAS DE BAMBU E CIPÓ-TITICA

Lucas Thiego de Almeida Monteiro

Natasha Terra Demachki

Moacir Kuwahara

Resumo: Diante do crescente consumo de materiais se tornou imprescindível a busca por novas vertentes que levam a utilização e ao reaproveitamento de materiais ou resíduos naturais antes pouco utilizados na engenharia. Neste contexto, o presente trabalho emprega materiais compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de bambu e a fibra de cipó-titica (*Heteropsis jenmanii*). Utilizando, para isto, o menor nível possível de processamento tecnológico nas etapas produtivas. A matriz utilizada foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, sob a denominação comercial de Deverlopy 754, tendo como agente de cura o Butanox M-50, obedecendo à proporção de 0,33% (v/v). As fibras de bambu foram cortadas com uso de um moinho granulador produzindo comprimentos 5 mm e as fibras cipó-titica, foram obtidas do comércio em Belém-PA, e cortadas em comprimentos também de 5 mm. As propriedades mecânicas analisadas por ensaios de tração e as superfícies de fratura geradas avaliadas por microscopia eletrônica de varredura de modo a se correlacionar os aspectos de fratura com as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

Palavras-chave: Fibras de bambu; Fibras de cipó-titica; Propriedades Mecânicas.

1 INTRODUÇÃO

As alterações provocadas no clima do planeta pela atividade humana, bem como previsões sombrias sobre o esgotamento dos recursos vegetais e minerais criaram um cenário sem precedentes na economia mundial, a insustentabilidade da produção industrial e prestação de serviços.

A população mundial alcançou, em julho do ano de 2007 a marca de 6,7 bilhões de habitantes e chegará a 9,2 bilhões de habitantes até 2050, segundo estimativas da ONU. Aliado a este fato deve-se considerar que grande parte da população mundial encontra-se em países em desenvolvimento, com potencial de tornarem-se “classe média” em algum momento da história. Se este contingente populacional passar a demandar materiais à mesma taxa que o crescimento das classes médias dos países ditos desenvolvidos, o problema é evidente (1).

Neste contexto, o desenvolvimento de compósitos reforçados por materiais naturais que são rejeitos de um dos mais fortemente extraídos produtos da Amazônia, a produção de madeira proveniente de florestas nativas, se constitui fator preponderante para a sustentabilidade dessa importante fonte de recursos da região.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de bambu foram obtidas manualmente, utilizando-se o menor nível possível de processamento tecnológico nas etapas de extração. E as fibras de cipó-titica foram obtidas no comércio da região metropolitana de Belém. O polímero usado no decorrer deste trabalho foi a resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, comprada na empresa NETFIBER FIBERGLASS sob a denominação comercial de Deverlopy 754, tendo como agente de cura o Butanox M-50, obedecendo a proporção de 0,33% (v/v). Combinada com fibras de bambu e cipó-titica com comprimentos de 5 mm cortada em um equipamento moinho Granulador 20 HP/5W da marca Rone e Modelo R-20.

Os corpos de prova foram fabricados através de moldes confeccionados de silicone como mostrado na figura 1(b). Os compósitos foram fabricados a partir da matriz já otimizada seguindo o procedimento realizado por (2), que fabricou compósitos particulados misturando as quantidades pré-pesadas de resina, agente de cura e, no caso deste trabalho, fibras de bambu e cipó-titica.

A Fig. 1 mostra o equipamento de corte moinho onde foi cortado as fibras de tamanho 5 mm e o molde de silicone.

Figura 1 – (a) Equipamento para corte das fibras; (b) Molde de silicone

Foram fabricados 8 (oito) corpos de prova para cada fração mássica definida com as seguinte proporção 4,87%, a fabricação foi realizada por moldagem manual, sem pressão ou compactação.

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638M e seguiram as medidas como demonstrado esquematicamente na fig. 2.

Figura 2 - Medidas do corpo de prova segundo a norma ASTM D 638M.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 1 mostra os resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu e cipó-titica com as fibras de 5 mm e fração mássica de 4,87%.

Tabela 1 – Resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu e cipó-titica.

FIBRAS VEGETAIS	Reforço	Fração Mássica Reforço (FM)%	Resist. Tração (σ) (MPa) Média (Desvio Padrão)
Bambu	5 mm	4,87	21,27 ($\pm 1,24$)
Cipó-titica	5 mm	4,87	24,89 ($\pm 2,21$)

A Tab. 2 mostra os resultados da caracterização mecânica dos compósitos de outras fibras vegetais de diversos autores.

Tabela 2 – Resultados da caracterização mecânica dos compósitos de fibras vegetais de diversos autores.

AUTOR	FIBRAS VEGETAIS	FRAÇÃO MÁSSICA REFORÇO (FM)%	RESIST. TRAÇÃO (σ) (MPa) MÉDIA (DESVIO PADRÃO)
Barbosa, 2013(3)	Palha da costa	7,98	16,48 ($\pm 1,31$)
Carvalho, 2011(4)	Carnaúba	10,00	17,49 ($\pm 1,01$)
Santos, 2013(5)	Timbó-açu	5,94	24,14 ($\pm 1,99$)

As Tab. 1 e Tab. 2 mostram um comparativo dos resultados obtidos, podemos comparar o desempenho de resistência à tração média com outros compósitos reforçados com fibras vegetais. Analisando-se a tabela 1, o compósito fabricado com fibra de cipó-titica obteve um desempenho melhor do que o compósito fabricado com fibras de bambu. Com os dados é possível observar que o valor do comportamento mecânico do compósito reforçado com fibras de cipó-titica foi próximo aos compósitos reforçados com fibra de timbó-açu, cujo trabalho foi desempenhado por (3). O compósito fabricado com fibras de cipó-titica se mostrou mais resistente que os compósitos de fibras de palha da costa, e superior aos compósitos de carnaúba.

Figura 3 – Superfície fraturada dos compósitos reforçados com fibras de 5 mm

Com base na microscopia eletrônica de varredura, a Figura 3 mostra a superfície de fratura dos compósito de matriz polimérica reforçados com fibras de bambu, pode-se observar a presença de bolha, o descolamento das fibras e a nota-se a presença de fibras rompidas aumentando a resistência do compósito.

Figura 4 – Superfície fraturada dos compósitos reforçados com fibras de 5 mm

Observa-se a ocorrência de fibras sacadas da matriz em compósitos reforçados com fibras de 5 mm, conforme as setas pretas. As setas brancas mostram o descolamento das fibras decorrentes da baixa adesão fibra/matriz. Como os corpos de prova constituídos por fibras de 5 mm possuem uma menor área de contato com a matriz devido a uma menor razão de aspecto aumentando as concentrações de tensões nas extremidades das fibras e a presença destas na região transversal podem influir pouco ou negativamente no comportamento mecânico do compósito.

O método de fabricação se mostrou viável, bastante simples, pois as fibras apresentam uma boa dispersão na matriz, e apesar da ausência de pressão no processo de moldagem o número de bolhas que se formaram foi relativamente baixo. Os compósitos reforçados com fibras de cipó-titica apresentaram resistência superior aos compósitos fabricados com fibras de bambu e também apresentaram desempenho mecânico bastante satisfatório em relação às demais fibras vegetais tradicionalmente utilizadas como reforço de compósitos, por exemplo, a fibra de sisal.

O método de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi satisfatório indicando falhas dominantes em cada compósito fabricado. E mostrando as características das superfícies de fraturas dos compósitos.

Portanto, a utilização de fibras naturais em substituição às fibras sintéticas como materiais de reforço dos compósitos mostrou um baixo custo para produção e a redução dos impactos ambientais, obtendo resultados satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Faculdade Faci Wyden e ao laboratório de Materiais compósitos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará e ao Programa de Pós- Graduação de Engenharia Mecânica.

REFERÊNCIAS

- [1] RODOLFO JR., A. Estudo da Processibilidade e das Propriedades de PVC Reforçado com Resíduos de Pinus. 2005. 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [2] RODRIGUES, Jean da Silva. Comportamento de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira. Dissertação de mestrado. UFPA, Fevereiro-2008.
- [3] BARBOSA, D.O. Características de compósitos de fibras de palha da costa (raphia vinifera) com resina poliéster. 2013, 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- [4] CARVALHO, L.F. Tratamento de fibras de carnaúba (copernicia prunifera) para o desenvolvimento de compósitos biodegradável. 2011, 95 f.. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
- [5] SANTOS, A.J.G. Material compósito de poliéster e timbó- açú. 2013, 38 f.
- [6] Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. ANALYSIS OF THE MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF BAMBOO FIBER COMPOSITES AND CIPÓ-TITICA

Capítulo 2

CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS DE FIBRAS DE SISAL E FIBRAS DE BAMBU E FIBRAS DE CIPÓ-TITICA COM COMPRIMENTO DE 15 mm

Natasha Terra Demachki

Lucas Thiego de Almeida Monteiro

Moacir Kuwahara

Resumo: A busca, de materiais e tecnologias que envolvam menores quantidades de energia, matéria prima em abundância, material menos poluente, material de baixo custo, menos dependentes de tecnologias, gerem menos resíduos e poluentes. Percebe-se na atualidade que as pesquisas buscando materiais alternativos que aliem alto desempenho com excelentes propriedades mecânicas que tenham fundamentos econômicos ambientais e sociais. O uso de fibras naturais como elemento de reforço na constituição estrutural de compósitos é uma ótima alternativa para utilização de materiais que aqueçam dinâmica da economia do país (gerando emprego e renda, devido ao cultivo, produção e comercialização) além da diminuição dos impactos ambientais. A fibra natural de bambu, sisal e cipó-titica como outras fibras naturais, tem propriedade de resistência, custo e benefício com o potencial promissor em tornar realidade a substituição mais profunda das fibras sintéticas. Neste artigo foram produzidos compósitos reforçados com fibras de sisal, de bambu e cipó-titica de comprimento 15 mm. A manufatura dos compósitos foi realizada através da moldagem manual, sem compactação ou pressão e à temperatura ambiente, usando resina poliéster insaturada com a proporção de agente de cura/resina de 0,33%. Os resultados da resistência a tração dos compósitos de sisal foi de 26,97 Mpa, os resultados da resistência a tração dos compósitos de cipó-titica foi de 25,95 Mpa e os resultados da resistência a tração dos compósitos de bambu foi de 24,05 Mpa. Os resultados mostraram que os compósitos de fibras de sisal apresentaram melhor resistência mecânica. A caracterização mecânica foi efetuada através do ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D 638M enquanto que as superfícies fraturadas foram analisadas através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para investigação comportamento mecânico do compósito.

Palavra-chave: Fibras Vegetais; Propriedades mecânicas; Matrizes Poliméricas.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais compósitos está crescendo em importância, e campos de aplicação. A sua caracterização, porém, requer o domínio de técnicas e critérios específicos, que diferem em muito dos critérios adotados nos materiais convencionais de engenharia. A aplicação desses materiais é uma realidade atual nas indústrias de ponta com destaque no segmento aeronáutico e aeroespacial. Porém, pouco se sabe sobre os compósitos de fibras naturais de origem vegetal. As fibras de celulose como o bambu, sisal, coco, juta, curauá, cipó-titica e malva, dentre inúmeras outras, abrem um leque renovável, inesgotável e alternativo de uso como elemento de reforço para compósitos de matriz frágil. No entanto, deve-se levar em consideração algumas questões relevantes ao seu uso, como sua durabilidade, reação e aderência a matriz e outros fatores que questionam sua aplicação. Estudos podem ajudar na avaliação das propriedades de engenharia desses materiais, melhorando-os para que se tornem mais duráveis e sua aplicação seja viável e satisfatória. De acordo com o tipo de componente disperso, os compósitos podem ser classificados em três grupos: particulares (reforçados com partículas), fibrosos (reforçados com fibras) e compósitos estruturais (reforçado com elementos estruturais). Entende-se por partícula um componente disperso que apresenta aproximadamente a mesma dimensão em todas as direções, enquanto as fibras apresentam uma elevada relação entre seu comprimento e diâmetro (1). Objetivo principal deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da obtenção de compósitos usando resina poliéster reforçada com fibras de bambu, sisal e cipó-titica utilizando cortes de manual de 15 mm, analisando suas características mecânicas e microestrutural, através de ensaio mecânicos e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As fibras de sisal da espécie *Agave Sisalana* foram obtidas no comércio da cidade de Belém-Pa, e as fibras utilizadas na forma como adquiridas, sem tratamento superficial e em condições ambientais. A extração das fibras de bambu da espécie *Bambusa vulgaris* foi realizada utilizando-se o menor nível possível de processamento tecnológico nas etapas de extração. Os colmos de bambu foram colhidos na região de Belém. O cipó-titica foi adquirido no comércio da região metropolitana de Belém do Pará.

Na fabricação dos compósitos poliméricos foi usando resina poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, combinada com fibras de bambu, sisal e cipó-titica com comprimentos de 15 mm cortadas manualmente. Foram fabricados 8 (oito) corpos de prova para cada fração mássica definida com as seguintes proporções; 3,90% e a fabricação foi realizada por moldagem manual, sem pressão ou compactação, usando resina poliéster insaturada com a proporção de agente de cura/resina de 0,33%.

Os ensaios de tração nos compósitos foram realizados de acordo com a norma ASTM D 638M em uma máquina de ensaio universal Kratos Cof modelo MKCA-KE – com célula de carga de 5 kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min. E após a realização dos ensaios mecânicos, a superfície de fratura dos corpos de prova foi analisada de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição fabricada. A morfologia da superfície de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

A Fig. 1 mostra o equipamento de ensaios de tração dos compósitos e o equipamento, adequado para obter imagem de superfície analisada, revelando a fractografia dos compósitos.

Figura 1 – (a) Máquina de ensaio de tração dos compósitos; (b) Equipamento de microscopia eletrônica de varredura (MEV)

(a)

(b)

A Fig. 2 mostra as fibras de bambu, cipó-titica e sisal vazadas nos moldes de silicone prontas para serem curadas.

Figura 2 – (a) Fibras de bambu nos moldes de silicone; (b) Fibras de cipó-titica nos moldes de silicone; (c) Fibras de sisal nos moldes de silicone.

(a)

(b)

(c)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 1 mostra os resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu, cipó-titica e sisal com as fibras de 15 mm.

Tabela 1 – Resultados da caracterização mecânica dos compósitos de bambu, cipó-titica e sisal de fração mássica 3,90%.

Reforço	Fração Mássica Reforço (FM)%	Resist. Tração (σ) (MPa) Média (Desvio Padrão)
Bambu	3,90	24,05 ($\pm 1,86$)
Cipó-titica	3,90	25,05 ($\pm 2,21$)
Sisal	3,90	26,97 ($\pm 2,59$)

Os dados da Tab. 1 são os resultados comparativos dos compósitos de fibras de bambu, cipó-titica e sisal de frações mássicas 3,9%, e o compósito de sisal foi o que melhor obteve resistência a tração de 27,07 MPa. O desempenho do compósito de fração mássica de 3,90% das fibras de sisal é considerado como bom para fabricação de compósitos com fibras de sisal (2). E comprovando assim, o que tem sido reportado por diversos autores sobre a variabilidade das propriedades das fibras naturais (3).

A Fig. 3 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de bambu de fração mássica de 3,90%.

Figura 3 – Superfície de fratura de compósitos de bambu

Com base na microscopia eletrônica de varredura, a Figura 3 mostra a superfície de fratura do compósito de matriz polimérica reforçado com fibras de bambu, onde o mecanismo de predominância observado foi o descolamento das fibras da matriz, e a presença de fibra rompida.

A Fig. 4 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de cipó-titica de fração mássica de 3,90%.

Figura 4 – Superfície de fratura de compósitos de cipó-titica

A Figura 4 apresenta uma maior uniformidade na superfície fraturada, onde a ruptura das fibras ocorre predominantemente em um mesmo plano. A imagem acima é possível observar fibras rompidas na matriz no plano de propagação da trinca.

A Fig. 5 mostra a micrografia dos compósitos de matriz poliéster reforçada com fibras de sisal de fração mássica de 3,90%.

Figura 5 – Superfície de fratura de compósitos de sisal

Na Figura 5 mostra a superfície de fratura do compósito de matriz polimérica reforçado com fibras de sisal, onde o mecanismo de predominância observado foi o rompimento de fibras da matriz, observa-se o arrancamento de fibras da matriz (pull out).

4 CONCLUSÕES

A metodologia empregada na fabricação dos compósitos foi satisfatória, mas a ausência de pressão diminui a quantidade de reforço. Os compósitos reforçados com fibras de bambu e cipó-titica apresentaram desempenho mecânico bastante satisfatório em relação às demais fibras vegetais tradicionalmente utilizadas como reforço de compósitos, por exemplo, a fibra de sisal. O método de microscopia eletrônica foi satisfatório indicando falhas dominantes em cada compósito fabricado. E mostrando as características das superfícies de fraturas dos compósitos.

O trabalho proporcionou uma nova opção de materiais compósitos de reforçados por fibras vegetais, os quais podem substituir parcialmente compósitos de fibras de vidro, além do que podem gerar renda para população local de onde as fibras são extraídas, além de ser um material que preserva o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de Materiais compósitos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica e a Faculdade FACI \Wyden.

REFERÊNCIAS

- [1] CALLISTER, JR. W. D. Ciência e Engenharia de materiais: uma introdução. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- [2] COSTA, D. S. Caracterização de Materiais Compósitos de Matriz Poliéster e fibras de bambu, sisal e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- [3] SILVA, R. V. Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2003.

Capítulo 3

Compósitos com fibras curtas (sisal e algodão): correlação das dimensões e proporções das fibras nas propriedades mecânicas

Luis Felipe Alencar Brandão

Amanda Chaves Azevedo

Hellen Cristina Mendonça Coelho

Evandro Costa do Rosário

Alessandro José Gomes dos Santos

Deibson Silva da Costa

Resumo: Neste trabalho, compósitos a base de matriz polimérica com fibras naturais em formato de fio de algodão e sisal foram fabricados. O método de produção utilizado foi “hand lay up”, sendo realizada uma prensagem uniaxial, utilizando-se como matriz a resina poliéster isoftálica juntamente com acelerador de cobalto (1,5 %) e iniciador (1 %) em volume, as proporções de fibras foram de 0 %, 1 %, 3 % e 5 % em massa e as dimensões das fibras foram de 15 mm e 30 mm. As caracterizações mecânicas seguiram as normas ASTM D3039 para ensaios de tração e a norma ASTM D 790 para ensaios de flexão. As caracterizações físicas como Massa Específica Aparente (MEA), Porosidade Aparente (PA) e Absorção de Água (AA) a norma foi NBR 12766. Como resultados notam-se um aumento na resistência mecânica dos compósitos e uma estabilidade física em comparação a compósitos de fibra e matriz plena.

Palavras-chave: Fibras Naturais, Resistência Mecânica, Compósitos.

1 INTRODUÇÃO

Polímeros reforçados com fibras são utilizados em diversas áreas na engenharia, tais como os setores automotivos, construção civil e naval. Isto se deve a uma constatação presente na maioria dos compósitos que consiste na união das melhores propriedades dos materiais presentes na sua fase matriz e fases dispersas. (1)

O material compósito é, em suma, a união de uma fase matriz e um ou mais reforços ou cargas, a fim de obter-se um maior desempenho mecânico ou químico com um menor custo, mas ainda se respeitando os limites impostos na sua utilização. Portanto há a necessidade de constantemente serem feitas pesquisas a fim de descobrir-se combinações e proporções de diferentes materiais.

Materiais naturais tais como as fibras abordadas neste artigo, têm despertado o interesse da comunidade acadêmica por conta das suas propriedades. Fibras naturais são materiais renováveis, de baixo custo, apresentam baixa densidade e baixa abrasão. Além disto, a um valor social associado fibras naturais no Brasil, por conta da geração de emprego (2).

E também há outro benefício na combinação de fibras com polímeros, segundo os estudos (3), matriz aplicada em fibras vegetais melhora a resistência à umidade e ao ataque de insetos e fungos. Sendo assim, a utilização destes materiais abrange desde o recobrimento superficial até o reforço estrutural, com o objetivo de aumentar a vida útil de equipamentos e minimizar custos de manutenção (3).

O objetivo deste trabalho é analisar a relação entre a proporção mássica de fibras e tamanho das mesmas nos compósitos e as suas propriedades mecânicas e propriedades físicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A fabricação dos compósitos neste trabalho utilizou-se dos seguintes materiais:

- Poliéster Isoftálico AM-910 da Empresa Aerojet.
- Catalisador MEK-P da Empresa Aerojet.
- Acelerador de Octoato de Cobalto da Empresa Aerojet.
- Fibras de algodão (*Gossypium barbadense*) em formato de fio, cortadas nas dimensões de 15 mm e 30 mm de comprimento.
- Fibras de sisal (*Agave sisalana*) em formato de fio, cortadas nas dimensões de 15 mm e 30 mm de comprimento.
- Desmoldante.
- Molde retangular inoxidável, no laboratório de materiais da Universidade Federal do Pará(UFPA) e Prensa Hidráulica.

Fabricação dos compósitos

No fabrico dos compósitos foi feito primariamente com a secagem das fibras utilizadas a fim da remoção de umidade. Após isto, foi aplicada uma fina camada de desmoldante até que este desenvolvesse uma película, em seguida houve a distribuição aleatória das fibras em um molde retangular em aço inoxidável. O acelerador foi adicionado a resina na proporção de 1,5 %, e por fim o catalisador MEK-P em proporção de 1 %. Esta mistura foi homogeneizada e despejada no molde. Após o compósito atingir o ponto de gelificação, o mesmo foi prensado com uma carga de 2,5 toneladas, então houve o processo de cura do material por 24 horas.

Preparo dos corpos de prova

As chapas do compósito foram cortadas nas dimensões ideais seguindo a norma ASTM D3039 (4) para ensaios de tração, também para a norma ASTM D790 (5) para ensaios de flexão, e seguindo as recomendações da NBR 12766 (6) para caracterizações físicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ensaio de Tração

Os resultados obtidos nos ensaios de tração são descritos na tabela 1. Nota-se um aumento de 43 % na resistência na composição 3 % A15 (Algodão 15 mm) em relação a resina. O que indica que houve uma boa interação na transferência de carga da matriz para a fibra, a qual atuou como reforço estrutural (7), assim como nas demais composições, com exceção da 5 % A15 e 5 % A30 (Algodão 30 mm).

Tabela 1: Tensão Máxima de Tração (MPa).

Composição	Fração Mássica de Fibra			
	0%	1%	3%	5%
	8,64 ± 0,67			
A15		11,17± 2,21	12,37± 1,29	6,33± 1,73
A30		10,53± 1,04	9,27± 0,82	6,33± 1,74
S15		10,02± 1,54	11,32± 0,75	11,71± 0,70
S30		11,23± 0,48	8,99± 0,72	9,94± 1,03

Ensaio de Flexão

Quanto aos resultados de flexão, nota-se um leve incremento na resistência a flexão de no máximo 7 % na composição de 5 % A30. Também é visto que em boa parte das composições há uma redução brusca na resistência. Isso pode estar associado a uma má interação matriz-fibra ou a defeitos de fabricação (7). É encontrado também um desvio padrão consideravelmente alto se comparado aos demais em algumas composições como 3 % A15 e 5 % A15.

Tabela 2: Tensão Máxima de Flexão (MPa).

Composição	Fração Mássica de Fibra			
	0%	1%	3%	5%
	63,04± 9,09			
A15		31,35± 3,87	63,34± 12,20	60,96± 12,46
A30		60,88± 5,23	36,41± 8,00	67,54± 4,47
S15		38,56± 7,34	28,07± 3,25	31,55± 1,13
S30		62,11± 5,26	30,04± 2,83	38,64± 2,98

Ensaio Físicos

A propriedade de Massa Específica Aparente (MEA) é mostrada na tabela 3.

Tabela 3: Massa Específica Aparente (g/cm³).

Composição	Fração Mássica de Fibra			
	0%	1%	3%	5%
	1,00± 0,0005			
A15		1,20± 0,0024	1,20± 0,0012	1,20± 0,0015
A30		1,20± 0,0016	1,20± 0,0027	1,20± 0,0019
S15		1,00± 0,0005	1,00± 0,0019	1,00± 0,0019
S30		1,00± 0,0004	1,00± 0,0040	1,00± 0,0006

O aumento leve no desvio padrão da massa específica nos compósitos de sisal, S15 e S30 (Sisal 15 mm e Sisal 30 mm), e um maior aumento nas composições de algodão (A15 e A30) pode ser explicado relativizando a massa específica das fibras (8) e do polímero (7). Já a propriedade de Porosidade Aparente (PA) é mostrada na tabela 4.

Tabela 4: Porosidade Aparente (%).

Composição	Fração Mássica de Fibra			
	0%	1%	3%	5%
	0,41 ± 0,20			
A15		0,54 ± 3,87	0,58 ± 0,6	0,70 ± 0,06
A30		0,54 ± 0,10	0,58 ± 0,03	0,68 ± 0,09
S15		0,59 ± 0,05	1,06 ± 0,16	1,40 ± 0,26
S30		0,66 ± 0,04	1,06 ± 0,31	1,16 ± 0,16

São notados resultados semelhantes aos encontrados na bibliografia utilizada (7). A propriedade Absorção de Água (AA) é mostrada na tabela 5.

Tabela 5: Absorção de Água (%).

Composição	Fração Mássica de Fibra			
	0%	1%	3%	5%
	0,41 ± 0,03			
A15		0,45 ± 0,05	0,48 ± 0,04	0,58 ± 0,05
A30		0,45 ± 0,08	0,48 ± 0,03	0,56 ± 0,09
S15		0,49 ± 0,04	0,88 ± 0,13	1,17 ± 0,22
S30		0,55 ± 0,03	0,89 ± 0,26	0,96 ± 0,11

Notam resultados similares para a absorção de água para compósitos com fibras de sisal (1 % S15, 3 % S15, 5 % S15, 1 % S30, 3 % S30 e 5 % S30) com a bibliografia utilizada (7). Esses resultados relativamente altos para as composições de sisal podem ser explicados pela natural característica hidrofílica das fibras de sisal (7). E também é notada uma similaridade das propriedades dos compósitos de fibras de algodão com os de matriz plena, o que pode vir a favorecer aplicações futuras.

4 CONCLUSÃO

Em relação às caracterizações mecânicas, os compósitos em geral apresentaram bons resultados como reforço efetivo. Especificamente para compósitos a base de algodão em 3 % de fração mássica.

Já para os ensaios físicos é notada uma estabilidade da massa específica mesmo após mudar-se a fração mássica de fibras. Quanto a porosidade aparente e absorção de água, é visto um aumento relacionado com a quantidade de fibras. Isso se deve a capacidade das fibras serem materiais altamente porosos e hidrofílicos.

Sintetizando o que foi mostrado no artigo, foi demonstrado que fibras de algodão e sisal podem ser utilizadas na fabricação de compósitos sem grandes perdas na resistência. Segundo estudos (9), há a possibilidade de serem desenvolvidos tecidos e fios mistos de fibras naturais e sintéticas e isso resulta em uma redução de custos e aumento da resistência do compósito. As perspectivas futuras nesse ramo seriam utilizarem-se composições e dimensões de fibras diferentes, além de continuar-se a pesquisa a fim de achar uma combinação com melhores resultados.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará e ao Laboratório de Engenharia Química.

REFERÊNCIAS

- [1] SOKOLI, Hülya U.; SIMONSEN, Morten E.; SØGAARD, Erik G.. Towards understanding the breakdown and mechanisms of glass fiber reinforced polyester composites in sub-critical water using some of the most employed and efficient additives from literature. *Polymer Degradation And Stability*, [s.l.], v. 152, p.10-19, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.03.016>.
- [2] SANTOSHA, P.v.ch.r.k.; GOWDA, A.sa. Shiva Shankare; MANIKANTH, V.. Effect of fiber loading on thermal properties of banana and pineapple leaf fiber reinforced polyester composites. *Materials Today: Proceedings*, [s.l.], v. 5, n. 2, p.5631-5635, 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.155>.
- [3] BARBOSA, T. F. et al. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE COMPATIBILIZANTE A BASE DE POLIÉSTER- GLICOL NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO/FARINHA DE MADEIRA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal. 205-024. Natal: Metallum, 2016. p. 3208 - 3218. Disponível em: <<http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais.rar>>. Acesso em: 9 ago. 2018.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 3039: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. West Conshohocken: American Society For Testing And Materials, 2018.
- [5] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 790: Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Eletric Insulating Materials. West Conshohocken: American Society For Testing And Materials, 2018.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12766:1992: Rochas para revestimento - Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente e absorção d'água aparente - Método de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1992.
- [7] COSTA, D. S. da. ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE MINERAÇÃO NAS PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS. 2016. 229 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/7601/1/Tese_EstudoInfluenciaResiduos.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- [8] SPINACÉ, M. A. S. et al. Caracterização das fibras de sisal e de curauá visando aplicação em compósitos poliméricos. In: 32ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32., 2009, Fortaleza. QM-066. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Química, 2009. p. 1 - 2. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T2053-1.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- [9] CARVALHO, L. H. de; CAVALCANTI, W. S. . Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. *Polímeros*, [s.l.], v. 16, n. 1, p.33-37, mar. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282006000100009>.

Capítulo 4

Reaproveitamento de resíduos em compósitos poliéster: Influência das cinzas nas propriedades mecânicas e térmica

Lucas Rezende Almeida

Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira

Alice dos Prazeres Pinheiro

Diogo Pontes de Quieroz

Deibson Silva da Costa

Resumo: O presente trabalho visa apresentar a viabilidade da utilização de cinzas volantes na produção de compósitos, visando a reciclagem e reaproveitamento desses resíduos. A resina utilizada é a isoftálica juntamente com acelerador de cobalto (1,5 %) e o iniciador MEK-P (Butanox M-50) a 1 %, volumes. O método utilizado é hand lay-up com granulometria de 100 mesh nas proporções 0 %, 5 %, 15 % e 25 %. As análises dos resíduos foram realizadas pela técnica de DRX. Realizaram-se ensaios mecânicos de tração (ASTM 3039) e flexão (ASTM 790), físicos e térmicos, conforme as normas NBR 12766 e ASTM 635. Os resultados para flexão foram semelhantes a matriz plena e notou-se uma tendência de aumento da resistência a tração. Os de flamabilidade apresentaram capacidade de retardo à chama quando comparados com as recomendações da norma e as propriedades físicas (AA, PA e MEA) aumentaram conforme elevou-se as proporções.

Palavras chave: Compósitos, Resíduo, Cinzas Volantes, Caracterização.

1 INTRODUÇÃO

O homem ao longo dos anos vem desenvolvendo uma série de processos para transformar resíduos industriais em materiais úteis à sociedade, diminuindo assim o seu impacto ambiental e desta forma preservando o meio ambiente. Um destes resíduos é a cinza de carvão mineral, gerada a partir da queima deste carvão em termoelétricas para a produção de vapor e/ou energia(1).

A cinza volante é o principal resíduo industrial no mundo. Aproximadamente 3 milhões de toneladas cinza são geradas anualmente no Brasil, onde 25 % deste valor é relativo a cinza pesada e 75 % de cinza leve, o que nos leva a um problema ambiental já que apenas cerca de 30 % das cinzas produzidas são reutilizadas(2).

Visando a reciclagem e reaproveitamento desses resíduos processos que transformem esta cinza em material de alto valor agregado tornam-se necessários. Dentre estes processos podemos destacar a incorporação das cinzas em materiais compósitos, que por definição é um material que apresenta dois ou mais constituintes quimicamente diferentes que na escala macroscópica apresenta uma interface bem definida separando esses elementos. O produto assim obtido pela associação desses diferentes materiais constituintes apresenta quase sempre melhores propriedades que a de seus elementos separadamente(3).

Dentre as matrizes poliméricas utilizadas para a produção de compósitos, a matriz de poliéster tem se destacado devido as suas propriedades mecânicas desejáveis. A matriz (fase continua) tem a função de transmitir a tensão ao longo do agente de reforço (fase dispersa), que por sua vez pode ser orgânico ou inorgânico e se apresentar sob a forma de materiais particulados, fibrosos ou estruturais(4). Essa combinação é frequente, pois, geralmente, apresenta ótimas propriedades à temperatura ambiente em conjunto a uma facilidade de fabricação(5). Como agente de reforço, resíduos industriais podem ser utilizados como carga de enchimento nos materiais compósitos.

Desse modo utilizando compósitos de matriz polimérica de poliéster com resíduos industriais, cinza volante, o presente trabalho visa caracterizar os materiais compósitos para determinação de suas propriedades (mecânicas, físicas e de flamabilidade) e verificação de sua aplicabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação da matriz polimérica, foi utilizado a resina poliéster isoftálica insaturada juntamente com acelerador de cobalto, iniciador MEK-P (Butanox M-50) e o desmoljet como agente desmoldante. O resíduo utilizado foi a cinza volante oriunda de empresas da região local do estado do Pará.

Os compósitos foram confeccionados na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará utilizando-se o método denominado hand lay-up, método manual para confecção de placas. Fez-se a cominuição de todo material particulado em peneiras de 100 mesh da série Tyler. Utilizando uma tabela com as medidas das massas pré-definidas, realizou-

se a determinação da massa e em seguida a retirada da umidade em uma estufa durante 20 minutos em temperatura de 100° C. Enquanto isso, aplicou-se desmoldante no molde metálico, com o objetivo de evitar o contato direto e facilitar a sua remoção após a prensagem.

Em seguida, determinou-se a massa da resina com as devidas proporções para cada porcentagem. Após a retirada do resíduo da estufa, foi feito o preparo da mistura.

A mistura ocorre na seguinte ordem: resina, catalisador metílico, resíduo e butanox. Adiciona-se na resina o catalisador, com o auxílio de um bastão de vidro faz-se a mistura até haver apenas uma fase homogênea no recipiente, incorpora-se o resíduo na mistura homogeneizando-o. Por último adiciona-se o butanox à mistura para iniciar o processo de cura.

Posteriormente, a mistura é despejada de maneira homogênea no molde metálico, já posicionado e nivelado na prensa hidráulica de marca NilMarcon, assim que o material (mistura) atinja o ponto de gel, para que então a tampa do molde seja sobreposta e a prensagem iniciada a uma carga de 25 kN por vinte minutos. A figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação.

Figura 1: Fluxograma de confecção do material compósito.

Após a retirada do compósito do molde metálico, a mesma é disposta sob pesos padrões por cerca de 24h, decorrido o tempo necessário para o processo de cura total, realizou-se o corte das placas para o preparo dos corpos de prova, para os ensaios de tração e flexão seguindo as recomendações das normas ASTM D 3039(6) e ASTM D 790(5) respectivamente, ASTM D 635(7) para o ensaio de flamabilidade e a NBR 12766/1992(8) para os ensaios físicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A figura 2 apresenta o difratograma do resíduo de cinza volante (CV), que através dos picos característicos obtido, é possível identificar os principais minerais presentes na amostra.

Figura 2: Difratograma obtido para a amostra de Cinza volante.

Na análise do ensaio mineralógico, encontra-se os principais picos sinalizados como sendo o de quartzo (Q) - PDF 03-065-0466, anidrita (A) - PDF 01-074-2421, calcita (CA) - PDF 00-005-0586 e hematita (H) PDF 01-073-2234.

Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura(11).

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os resíduos de cinza volante em suas respectivas composições em massa, fabricados de acordo com a norma ASTM D 3039(7).

Tabela 1: Resultados obtidos com o ensaio de tração.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	8,65 ± 0,67
CV 5 %	26,96 ± 5,45
CV 15 %	36,78 ± 7,39
CV 25 %	36,11 ± 3,71

Nota-se que independente da proporção de cinzas volantes utilizado, há um aumento considerável das tensões de resistência a tração em relação a matriz plena. Isso por ter ocorrido devido a fase dispersa, ou seja, de sua forma, tamanho, distribuição e orientação que ajuda a distribuir melhor as tensões que são exercidas no interior do material na medida que o mesmo é tracionado.

O aumento da resistência a tração pode ser explicado pelo fato de ter ocorrido uma boa homogeneização, acomodação, disposição e impregnação no sistema resíduo/matriz desencadeando compósitos com bom acabamento, poucos defeitos e porosidades.

3.2 ENSAIOS DE FLEXÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de flexão dos compósitos confeccionados segundo as diretrizes da norma ASTM D 790(6).

Tabela 2: Resultados do ensaio de flexão.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO (MPa)
Resina Plena	63,05 ± 9,09
CV 5 %	50,43 ± 5,85
CV 15 %	60,44 ± 5,90
CV 25 %	77,08 ± 6,13

A composição com melhor desempenho foi a de 25 % de cinza volante, com tensão média de resistência a flexão de cerca de 77,08 MPa. As composições de 5 % e 15 % apresentaram tensões menores do valor para a resina plena. As explicações para tal comportamento podem envolver diversos fatores, sendo o mais provável deles, uma má dispersão e compactação do resíduo na matriz.

Os resíduos, então, atuaram mais como carga de enchimento do que como reforço efetivo tendo em vista que na medida que a matriz é saturada de resíduos, sua massa específica e rigidez aumentam, o que implica na perda gradual de flexibilidade do corpo de prova.

3.3 ENSAIO DE FLAMABILIDADE

A Tabela 3 exibe os dados coletados durante o ensaio de resistência à chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635(8).

Tabela 3: Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

RESÍDUO / PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	17,42
CV 5 %	27,16
CV 15 %	22,07
CV 25 %	20,18

As matrizes poliméricas geralmente apresentam baixa resistência a chama, sendo susceptíveis aos danos causados pelo fogo, dessa forma não são indicadas a aplicações mais propensas à ocorrência de incêndios(10). Contudo, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou uma taxa de propagação adequada em relação ao exigido pela norma ASTM D 635(8), porém a partir da inclusão da cinza volante nota-se um pequeno aumento desta taxa que apesar de ser maior quando comparada a resina plena, continua dentro dos padrões especificados pela norma supracitada.

O material compósito fabricado neste trabalho independente da proporção usada, pode ser classificado como HB. Visto que é informado nas diretrizes da norma utilizada que taxas inferiores a 40 mm/min são classificadas como tal.

No âmbito nacional, a resolução CONTRAN 675(13) exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min, enquanto que em outros países com pesquisas avançadas na área, esse valor é estabelecido em 80 mm/min(10).

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre a composição de 25 % e os padrões exigidos pelas normas e diretrizes, no qual é possível observar o desempenho obtido durante os ensaios.

Tabela 4: Comparação dos resultados obtidos com parâmetros exigidos.

RESÍDUO / PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
CV 25 %	20,18

Comparando-se os resultados obtidos no trabalho com os exigidos pelas normas, nota-se que os materiais compósitos fabricados apresentaram excelentes resultados, pois apresentaram valores bem menores do que os exigidos. Em relação a norma do CONTRAN 675(13), obteve-se uma redução de

91,93 % na taxa de propagação para a cinza. Para o valor estabelecido pela ASTM 635(8), a redução foi de aproximadamente 49,5 % para a cinza.

3.4 ENSAIOS FÍSICOS

A Tabela 5 apresenta os resultados de absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente realizados de acordo com a norma NBR 12766/1992(9).

Tabela 5: Resultados dos ensaios físicos para compósitos com cinza

CINZA VOLANTE 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5 %	0,9932	1,2150	1,2234
15 %	1,0742	1,3852	1,2897
25 %	1,1398	1,5563	1,3656

Analisando a tabela 5 observa-se que conforme a proporção de cinza volante é elevada há um aumento na massa específica aparente. Levando em consideração que a massa específica da resina de acordo com sua ficha técnica é de aproximadamente 1,157 g/cm³, enquanto a da cinza volante é 2,70 g/cm³, valor médio determinado pela literatura(12). Os resultados estão de acordo com o exposto pela regra da mistura, a qual diz que as propriedades do novo material é resultado das características de seus constituintes separados.

É importante ressaltar que as formulações realizadas através da regra das misturas possibilitam apenas estimativas aproximadas.

O aumento da massa específica aparente dá-se devido ao aumento da proporção de cinza volante a qual possui massa específica maior em relação à matriz. A maior variação de massa específica aparente ocorreu no compósito contendo 25 % cinza volante a qual foi aproximadamente 38 % superior ao material de referência (resina plena).

Observa-se também que há um aumento nos índices de absorção de água e porosidade aparente proporcional ao aumento percentual em massa de cinza

volante no compósito. Tais valores podem ser explicados pelo surgimento de falhas como bolha, vazios e trincas.

4 CONCLUSÃO

No ensaio de resistência a tração independente da proporção de cinzas volantes utilizada houve aumento significativo das tensões de resistência à tração em relação a matriz plena podendo ser explicado pelo fato de ter ocorrido uma boa dispersão, homogeneização e compactação dos constituintes dos compósitos no sistema resíduo/matriz.

De maneira geral não houve um aumento sensível da resistência a flexão em relação a resina plena.

Para os ensaios de resistência a chama, a taxa de queima dos compósitos apresentaram uma taxa de degradação decrescente conforme aumenta-se a quantidade de resíduo na matriz polimérica. Os resultados obtidos estão de acordo com os padrões exigidos pelas normas ASTM D 635(8) e resolução CONTRAN 675(13).

Dessa forma, a aplicação de maior destaque para o material compósito estudado neste trabalho é como retardante à chama, onde obteve-se bons resultados para possíveis aplicações desses materiais compósitos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ).

REFERÊNCIAS

- [1] ROCHA JUNIOR C. A. F., SANTOS S. C. A., SOUZA C. A. G., ANGÉLICA R. S., NEVES R. F. Síntese de zeólitas a partir de cinza volante de caldeiras: caracterização física, química e mineralógica. Pará, 2012, vol.58, n.345, pp.43-52. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132012000100008>. Acesso em: 17 de julho de 2018.
- [2] MEHTA, P.K; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [3] MARINUCCI, G., Materiais Compósitos Poliméricos. 1 Ed. São Paulo: Artliber, 2011.
- [4] AKIL, M. F. et al. Kenaf fiber reinforced composites: a review. Materials and Design, Surrey, v. 32, n. 8-9, p. 4107-4121, 2011.
- [5] CALLISTER, W. Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [6] ASTM D 790. "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [7] ASTM D 3039. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.
- [8] ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente." 1992. 2p.
- [10] RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). Holos, ano 29, vol 1, 2013.
- [11] COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Tese de Doutorado, 2016.
- [12] SIQUEIRA, J. S. Reciclagem de resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas. 2011, 91 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Tecnológico. Universidade Federal do Pará.
- [13] Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.

Capítulo 5

Estudo da descontinuidade geométrica em compósito polimérico reforçado com fibra de juta

Glória Maria Leite Carlos

Ana Claudia de Melo Caldas Batista

Raphael Siqueira Fontes

Resumo: O presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência da presença de descontinuidade geométrica em um compósito polimérico reforçado com fibras de juta, avaliando as propriedades mecânicas relacionadas à resistência última à tração e ao módulo de elasticidade, quando submetidos à tração uniaxial, nas condições: original (sem furo) e com descontinuidades geométricas (furos centrais de 6 mm e 9 mm). Os procedimentos metodológicos realizados atendem a normas relacionadas aos ensaios de tração uniaxial (ASTM D3039) e (ASTM D5766/D5766M) e ensaio de densidade, norma (ASTM D792). Conclui-se que, para todas as condições submetidas: A presença da descontinuidade alterou a resistência última à tração caracterizando perdas nas condições estudadas. Todos os corpos de prova apresentaram fratura final com característica LGM normatizada.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos. Fibra de Juta. Propriedades mecânicas. Descontinuidades geométricas.

1 INTRODUÇÃO

Materiais compósitos são aqueles oriundos da combinação de dois ou mais materiais insolúveis entre si, que tem por característica a presença de uma fase contínua, constituída pela matriz, e uma fase descontínua, constituída pelo reforço (CALLISTER e RETHWISCH, 2013). Logo, a possibilidade de combinar materiais distintos para ajustar propriedades, favorece a utilização dos compósitos, o que está associado às novas exigências tecnológicas, ou seja, materiais mais eficientes e capazes de fornecer alto desempenho e baixo custo, substituindo os materiais ditos convencionais (SOUZA, 2017; FONTES, 2013).

Os compósitos podem ser reforçados por fibras ou por partículas embebidas na matriz, mantendo suas características individuais. Dentre os reforçados por fibras, destaca-se os reforçados com fibras naturais, principalmente as de origem vegetal, que têm sido cada vez mais utilizadas na concepção de novos materiais compósitos, pois as fibras atendem em parte a demanda por materiais oriundos de fontes renováveis e não prejudiciais ao meio ambiente.

As fibras nativas brasileiras são o sisal, coco, juta, rami, curauá, fibra de bagaço de cana-de-açúcar e soja. A fibra de juta terá atenção especial nesse estudo, posto que ela é parte constituinte no compósito aqui analisado. A fibra de juta é uma das fibras naturais mais usadas como reforço de matrizes poliméricas. Essa utilização está associada ao seu baixo custo e ao fato de apresentar adequadas propriedades mecânicas (PIRES, 2012). Logo, o aproveitamento dos recursos naturais disponíveis no Brasil, aliado às alternativas viáveis economicamente para o reforço de matrizes poliméricas, tornam as fibras naturais uma alternativa bastante atraente à engenharia.

Outro fator é a influência das descontinuidades geométricas podendo representar sérios problemas com relação à distribuição das tensões internas ao elemento estrutural e ter, como consequência, a diminuição da resistência do material (TINÔ, 2010).

O presente trabalho tem como objetivo estudar a influência da presença de descontinuidade geométrica na resposta mecânica de um laminado compósito constituído por matriz polimérica e fibras naturais de juta. Essa temática se justifica uma vez que diversas aplicações de elementos estruturais podem apresentar bruscas variações em sua seção transversal, tais como, furo, ranhuras e entalhes dos mais diversos tipos.

Portanto, para a realização do comparativo foram preparadas amostras do compósito polimérico reforçado com fibra de juta na condição sem furo (condição original) e com a presença da descontinuidade geométrica (furo normativo de 6 mm e furo de 9 mm). As normas utilizadas foram a ASTM D3039 (2014) e ASTM D5766/D5766M (2011), respectivamente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CONFECÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE JUTA

O laminado foi fabricado pelo processo Hand lay-up. Para a confecção dos compósitos foram necessários: Reforço de tecido têxtil bidirecional de fibras de juta, orientado a 0° e a 90° em relação a aplicação da carga, encontrado no comércio local e muito utilizado em sacarias. Foi utilizado no laminado 4 camadas de tecido de fibra de juta, ver Figura 1. Como matriz, foi utilizada a resina de poliéster insaturada com Neo Pentil Glicol (NPG), também conhecida por resina náutica, comercialmente denominada por RESAPOL LP 8847 e fabricada pela Reichhold, tendo por base a resina poliéster insaturada isofitálica.

Figura 1: Manta de fibra de Juta.

A confecção dos corpos de prova atende a necessidade de padronização de dimensões e tolerâncias, obtendo 5 corpos de prova válidos para cada condição. Para os ensaios de tração sem descontinuidade geométrica (ASTM D3039), os corpos de prova devem conter um comprimento total de 250 mm e um comprimento útil de 127 mm e largura de 25 mm, com tolerância de $\pm 1\%$. E, para os ensaios de tração com descontinuidade geométrica (ASTM D5766/D5766M) o corpo de prova deve apresentar dimensões padrão de comprimento total de 250 mm, comprimento útil de 127 mm e largura de 36 mm, com tolerância de $\pm 1\%$.

2.2 ENSAIO DE DENSIDADE

A densidade do compósito pode ser obtida pela norma ASTM D792 (2008). O teste é feito através das medições da massa do compósito ao ar e em seguida é verificado a sua massa aparente após a imersão em líquido, a partir dos valores de massa molhada e seca do material é possível calcular (equação A) a sua densidade específica ou relativa.

$$\rho = \frac{m_2}{m_1 + m_2 - m_3} \quad (A)$$

2.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração uniaxial é realizado para fins de obtenção das propriedades mecânicas resistência última à tração (MPa), módulo de elasticidade (GPa) e deformação à ruptura (%) do material para as condições: original (JSF) e com a presença das descontinuidades geométricas de 6 mm (JF6) e de 9 mm (JF9). Para tal, foram confeccionados (07) sete corpos de prova para cada tipo citado.

2.4 INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO W/D EM LAMINADOS

A influência da variação w/D (relação entre a largura do corpo de prova/diâmetro do furo) é um fenômeno que pode modificar as propriedades mecânicas do compósito, fazendo com que o material apresente uma redução da resistência quando submetido determinada descontinuidade. No entanto, quando o w/D é mantido constante mesmo com a mudança de furo de 6 mm para 9 mm, no trabalho de Fontes (2013) não apresentou dispersão experimental maior do que a tolerável para os ensaios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ENSAIO DE DENSIDADE

Os valores de densidades volumétricas do laminado proposto podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Densidades volumétricas do laminado compósito proposto.

	Média	Desvio Padrão
Densidade Volumétrica (g/cm ³)	1,170	0,002

Paiva (2011) realizou um estudo em compósito de fibra de juta e resina vegetal de mamona em substituição dos laminados de fibra de vidro na fabricação da carroceria de veículo de Rali e observou que a variação das densidades apresentou maior escala de grandeza nos compósitos de fibra de juta devido a presença de bolhas de ar durante a realização da mistura, assim como o tempo de cura, representando fatores determinantes para dada variação.

Fontes (2013) realizou um estudo baseado no comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual para compósito polimérico híbrido utilizando matriz polimérica e mesclando fibras naturais com fibras de vidro e obteve baixa densidade volumétrica com valor médio de 1,26 e uma dispersão de 0,88. Destaca-se que no compósito fabricado por Fontes (2013) é utilizada a fibra de vidro (na camada central) mesclada à fibra de juta (duas camadas) nas extremidades em ambos os lados. Já no laminado proposto é utilizada somente a fibra de juta em quatro camadas. Tais condições, assim como o processo de fabricação, por exemplo, podem ser responsáveis pelos valores de densidade obtidos.

3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL

As propriedades mecânicas de resistência última à tração (MPa), módulo de elasticidade (GPa) e deformação à ruptura (%) do material para as condições original (JSF), com presença de descontinuidade geométrica de 6 mm (JF6) e de 9 mm (JF9) foram obtidas a partir da realização de ensaios de tração uniaxial.

3.3 ANÁLISE NOS CORPOS DE PROVA NA CONDIÇÃO ORIGINAL - JSF

Com relação aos ensaios de tração uniaxial para os corpos de prova sem descontinuidade (JFS) apresentaram um valor médio de resistência à tração de 26,23 MPa.

Figura 2: Ensaio de tração – gráfico: Tensão x Deformação – JSF.

É possível perceber pelo gráfico (Figura 2) que o material proporciona um comportamento frágil até a fratura diferentemente de materiais com comportamento dúctil onde há o fenômeno do escoamento. Além disso, percebe-se que as curvas estão relativamente próximas indicando baixo desvio padrão, o que é confirmado na Tabela 2. Observa-se que o mesmo apresenta comportamento considerado linear entre a tensão e a deformação ao longo da faixa da tensão de ruptura. Para resistência última à tração, deformação à ruptura e para o módulo de elasticidade longitudinal (medido na direção da aplicação da carga) pode-se observar na Tabela 2 os valores médios e com os respectivos desvios padrão.

Tabela 2: Propriedades mecânicas dos corpos de prova - JSF.

	Deformação de ruptura total (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Valor médio	1,17	26,23	2,57
Desvios Padrão	0,07	1,18	0,14

Os corpos de prova fraturados apresentaram comportamento condizente com o padrão de ensaios fraturando dentro do limite de comprimento útil de 127 mm e, como pode ser visto na figura 3, a fratura mecânica obtida no JSF correspondeu ao modo de falha LGM (Lateral - gage - middle) de acordo com a norma ASTM D 3039 (2014).

Figura 3: Fratura macroscópica – JSF.

3.4 ANÁLISE NOS CORPOS DE PROVA COM DESCONTINUIDADE DE 6 MM - JF6

Conforme da Figura 4, o ensaio de tração para os corpos de prova com furo de 6 mm apresentaram curvas cujo comportamento condiz com o estudado. A presença da descontinuidade nos CP's implica no aumento de concentração de tensão na área imediatamente ao seu redor fazendo com que o corpo de prova tenha sua resistência à tração diminuída e, por consequência, frature a uma menor resistência.

Figura 4: Ensaio de tração – gráfico tensão x deformação – JF6.

Como pode ser visto no gráfico (Figura 4), a resistência à tração é menor em comparação aos CP's sem descontinuidade geométrica devido a presença de concentradores de tensão na região de descontinuidade. No entanto, as curvas no gráfico apresentam comportamento semelhante podendo ser classificadas como lineares ao longo da faixa de tensão até a fratura do material. Os valores médios e desvios padrão para a deformação de ruptura total, resistência à tração e módulo de elasticidade podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades mecânicas dos corpos de prova – JF6.

	Deformação de ruptura total (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Valor médio	1,03	21,02	2,42
Desvios Padrão	0,07	1,05	0,13

A Figura 5 mostra a região fraturada um corpo de prova JF6. Observa-se que a fratura ocorre na região onde há a descontinuidade geométrica (caracterizando um ensaio válido), nessa região o corpo de prova apresenta maior fragilidade e, quando submetido a esforços, seu valor de resistência à tração diminui.

Figura 5: Fratura macroscópica – JF6.

A presença do furo ocasionou pouca fissuração na matriz e fratura final bem localizada, evidenciando o modo de fratura do tipo LGM (Lateral - gage - middle) e também a ruptura completa das fibras de juta.

A resistência residual é dada pela razão entre a resistência última do material com a presença da descontinuidade e a resistência última do material sem descontinuidade (equação B). Esse fator é responsável pela quantificação do grau de danos que a descontinuidade pode oferecer ao elemento estrutural.

$$\eta = \frac{21,02}{26,23} = 0,801 \quad (B)$$

Com esse resultado, pode-se afirmar que os CP's JF6 retiveram 80,1% da resistência à tração apresentada pelos CP's JSF.

Fontes (2013) estudou o comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual de um compósito polimérico híbrido composto por matriz poliéster e reforçado por tecidos bidirecionais de fibras de vidro-E e tecidos bidirecionais de fibras de Juta. O autor observou que, de modo geral, o laminado apresenta característica de material frágil até a fratura, em todas as condições estudadas. O autor constatou que a presença do furo central alterou a resistência última à tração, assim também, a resistência residual dada a redução na capacidade de suporte de carga, obtendo um valor de 0,810 com a presença do furo de 6 mm. Sobre o comportamento da fratura, foi constatado que todos os CP's apresentaram modo de fratura LGM normatizado. E módulo de elasticidade dentro da faixa de dispersão dos ensaios.

3.5 ANÁLISE NOS CORPOS DE PROVA COM DESCONTINUIDADE DE 9 MM – JF9

Para o ensaio de tração com descontinuidade de 9 mm o corpo de prova também foi submetido a esforços apresentando comportamento semelhante aos demais. No entanto, considerando que o tamanho da descontinuidade é um dos fatores que influenciam o comportamento mecânico dos compósitos, como esperado, os CP's com descontinuidade de 9 mm apresentaram maior redução na resistência que o JF6.

Como pode ser observado na Figura 6, as curvas apresentam comportamento semelhante, isso significa que o ensaio transcorreu adequadamente.

Figura 6: Ensaio de tração – gráfico tensão x deformação – JF9.

Tabela 4: Propriedades mecânicas dos corpos de prova - JF9.

	Deformação de ruptura total (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Média	1,09	19,67	2,13
Desvios Padrão	0,08	1,21	0,08

A Figura 7 mostra a região do JF9 fraturada. Observa-se que na região onde há a fratura está localizada a descontinuidade geométrica, ocorrendo de maneira semelhante ao JF6 apresenta o tipo de fratura normatizada LGM (Lateral - gage - middle) e a ruptura total das fibras de juta. Se comparado ao JF6 pode-se afirmar que os valores de resistência à tração e módulo de elasticidade do JF9 são menores. Isso significa que a resistência do material está diretamente relacionada ao tamanho da descontinuidade.

Figura 7: Fratura macroscópica – JF9.

Os valores de tensão na Tabela 4 mostram que a resistência residual do elemento diminui à medida em que a descontinuidade aumenta, se comparado aos CP's com descontinuidade de 6 mm. Pode-se observar pelo cálculo da resistência residual (equação B).

$$\eta = \frac{19,67}{26,23} = 0,749 \quad (B)$$

Esse valor resulta na afirmativa de que os JF9 retiveram 74,9% da resistência mecânica apresentada pelo JSF. Comparado ao JF6, o JF9 apresentou uma redução de 5,2% da resistência residual.

3.6 INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO W/D NO LAMINADO PROPOSTO

A avaliação do fenômeno da concentração de tensão a partir dos critérios de falhas pode ser entendida pela influência da relação w/D (largura do CP/diâmetro do furo). Essa relação pode ser observada na Figura 8 onde o gráfico apresenta um comparativo das propriedades residuais do compósito e evidencia a

redução da resistência do material à medida do aumento da descontinuidade relacionada à curva média em cada caso.

Figura 8: Ensaio de tração – gráfico tensão x deformação – Influência da relação w/D

Pelo gráfico na Figura 8 pode-se afirmar que o JSF apresenta maior resistência, maior rigidez e maior linearidade dentre todos os CP's analisados. Pode-se atribuir a essa constatação a influência da relação w/D (largura do corpo de prova/diâmetro do furo) a mudança no diâmetro do furo de 6 mm para 9 mm, significando, sobretudo, a perda de resistência mecânica em comparação aos CP's na condição original. Em relação à resistência à tração, o JSF obteve o maior valor médio.

Em termos de diferença percentual o JSF apresentou uma superioridade de 19,86% em relação ao JF6 e de 25,01% em relação ao JF9. Uma explicação pode ser atribuída à influência da relação w/D . O módulo de elasticidade não apresenta grande alteração de um grupo de CP's para outro. Os valores médios obtidos foram: 2,57 GPa para o JSF, 2,42 GPa para o JF6 e 2,13 GPa para o JF9, com os respectivos desvios padrões de 0,14 GPa, 0,13 GPa e 0,08 GPa. Podendo destacar uma leve tendência a redução do módulo de elasticidade com o aumento da descontinuidade geométrica. Para a análise da deformação nos CP's é correto afirmar que o JSF apresentou maior deformação de 1,17%, enquanto o JF6 apresentou o menor valor médio de deformação de ruptura final, 1,03%. Destaca-se que o JF9 apresentou maior deformação que o JF6, o que está relacionado com o menor módulo de elasticidade obtido.

4 CONCLUSÃO

Diante de todo o estudo realizado, pode-se concluir que:

O laminado de matriz polimérica reforçado com fibra de juta apresentou densidade volumétrica igual a $1,170 \text{ g/cm}^3$ e desvio padrão de 0,002.

De maneira geral, o laminado apresentou um comportamento de material frágil até a ruptura frente ao carregamento de tração uniaxial em todas as condições original, com descontinuidade de 6 mm e de 9 mm.

A presença da descontinuidade (furo central), para as dimensões analisadas, alterou a resistência última à tração caracterizando uma perda de 19,86% e 25,01% para o JF6 e JF9, respectivamente.

Para o módulo de elasticidade foi encontrada uma pequena diferença com valores próximos dos limites de desvio padrão dos ensaios.

O cálculo da Resistência Residual comprovou a influência do furo quanto a redução da capacidade de suporte de carga. No entanto, entre o JF6 e JF9 essa redução foi baixa correspondendo a 5,2 % devido a variação da relação w/D , onde para as duas condições a largura do corpo de prova foi a mesma, no entanto, os ensaios apresentaram baixa intensidade.

Quanto ao comportamento da fratura os corpos de prova apresentaram fratura final bem localizada com característica LGM normatizada. Pode-se observar a fissura total da matriz e ruptura do tecido de fibra de juta.

Para os corpos de prova com descontinuidade foi observado que as microfissuras foram localizadas e desviadas em direção a vizinhança do furo. Sendo melhor evidenciado de acordo com o aumento do furo.

REFERÊNCIAS

- [1] ASTM D 5766/D5766M – 11. Standard Test Method for Open-Hole Tensile Strength of Polymer Matrix Composite Laminates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- [2] ASTM D 792 – 08. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
- [3] ASTM D3039-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [4] CALLISTER, William. D. e RETHWISCH, David. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução / William D. Callister Jr., David G. Rethwish. 8º Ed. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Morais d'Almeida. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [5] FONTES, Raphael Siqueira. Compósito polimérico híbrido: comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM. Natal-RN, 2013.
- [6] PAIVA, Acir Fortunato. Estudo de compósito de fibra de juta e resina vegetal como substituto dos laminados de fibra de vidro na fabricação da carroceria de veículo de Rali. Universidade Federal de Ouro Preto. Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais (Mestrado). Ouro Preto/MG. 2011.
- [7] PIRES, Eduardo N. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. *Polímeros*, v.22, n. 4, p. 339-344, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. Florianópolis, SC – 2012.
- [8] SOUZA, Filipi Marques de. Estudo da descontinuidade geométrica em lâmina de tecido híbrido bidimensional vidro/carbono. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM. Natal-RN, 2017.
- [9] TINÔ, Sérgio Renan Lopes. Descontinuidade na seção transversal em laminados compósitos poliméricos: Efeitos e propriedades. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM. Natal-RN, 2010.

Capítulo 6

Obtenção e caracterização de fibras vegetais para a preparação de biocompósito

Emilia Satoshi Miyamaru Seo

Isabella Tereza Ferro Barbosa

Alessandro Augusto Rogick Athiê

Resumo: As atividades agroindustriais geram resíduos que, na maioria das vezes, não agregam nenhum valor comercial e não possuem destino apropriado para seu descarte. Porém, há possibilidade de tornar estes resíduos em matéria-prima para fabricação de produtos direcionados a aplicabilidade em diversos segmentos das indústrias. Neste contexto, o presente trabalho objetivou desenvolver o processo de obtenção das fibras de bambu, de cana-de-açúcar e da palha de milho, caracterizando-as para preparação do biocompósito. As fibras vegetais foram secas, trituradas, tratadas por mercerização e, em seguida, neutralizadas com solução ácida e lavadas em água corrente. A partir dos resultados de caracterização das fibras tratadas, observou-se que a lignina e a hemicelulose foram removidas, possibilitando melhor aderência das mesmas em contato com a superfície do polímero. Desta forma, processo de mercerização.

Palavras-chave: Fibras vegetais, biocompósito, mercerização.

1 INTRODUÇÃO

Um dos segmentos mais importantes da economia brasileira é a agroindústria, tanto no abastecimento interno como na exportação. As agroindústrias produzem consideráveis quantidades de resíduos sólidos e líquidos, desde as primeiras etapas dos processos de produção, como extração de matéria-prima, até a finalização do ciclo. Estes resíduos são estocados próximos às próprias áreas de produção, sem destino definido, podendo causar grandes problemas ambientais e sanitários (LEUCENA et al., 2005).

Nessas condições, com a reciclagem, é possível melhorar o desempenho ambiental, bem como o econômico e o social. Considerando que ela pode contribuir por meio da geração de empregos, reutilização de materiais, e assim, redução do descarte e da poluição (SANTOS et al., 2009).

Conforme afirmado por Alexandre et al., (2010), há uma tendência mundial em buscar recursos naturais alternativos em substituição às fibras sintéticas, que sejam ecologicamente corretos, utilizando o desenvolvimento de novas tecnologias para a todas as áreas onde isto torna-se possível.

Em face do crescente estudo e aplicações das fibras vegetais brasileiras, torna-se fundamental o desenvolvimento deste segmento, com o aproveitamento de recursos renováveis. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver o processo de preparação das fibras do milho, cana de açúcar e bambu, por mercerização, e na sequência, caracterizando-as para a produção de biocompósitos com a matriz de polietileno de alta densidade.

A mercerização é o tratamento da fibra vegetal, que pode ser realizado com solução de hidróxido de sódio. Tem o intuito de melhorar as suas características adesivas, devido à remoção de impurezas superficiais indesejáveis tais como: lignina, cera e óleos. Assim, expondo a superfície das fibras e melhorando a interação com a matriz polimérica.

Muitos compósitos nos quais foram utilizadas fibras mercerizadas, as propriedades mecânicas foram superiores àqueles nos quais foram utilizadas fibras não-tratadas (NASCIMENTO et al., 2012).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizadas as fibras vegetais das folhas de milho que recobrem as espigas, as do bagaço da cana de açúcar e as do bambu, conforme apresentadas na figura 1.

Inicialmente, as fibras vegetais foram secas em estufa à $\sim 60^{\circ}\text{C}$, o bagaço de cana-de-açúcar e de bambu foram triturados em moinho de facas (figura 2) e as folhas de milho foram moídas após o processo de mercerização.

Figura 1 – Fibras vegetais utilizadas no presente estudo: folhas da espiga do milho (a), bagaço de cana-de-açúcar (b) e fibra de bambu (c)

Fonte: Autores.

Figura 2 – Triturador utilizado para moagem do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu

Fonte: Autores.

As folhas de milho utilizadas neste estudo foram as que recobrem a espiga do milho, adquiridas nas feiras livres de São Paulo, elas são previamente secas durante exposição solar. Vários experimentos foram realizados, visando obter a quantidade mínima de hidróxido de sódio. Verificou-se que a concentração de 3% a 5% (porcentagem em massa) de hidróxido de sódio e tempo de agitação de 4 a 7 dias de imersão, dependendo da espessura da folha, estas condições foram adequadas para maior eficiência de extração de fibras.

Durante a etapa de imersão, as folhas são submetidas à agitação, provocando a retirada da polpa da folha de milho e obtendo-se as fibras (figura 3).

Após o ataque alcalino, as fibras são lavadas em água corrente e friccionadas em uma peneira para limpeza. Em seguida, as fibras são submetidas à solução de ácido acético 4% (porcentagem em volume) para neutralização e ficam sob agitação por 1 hora, na sequência as fibras são novamente lavadas com água corrente e por fim, levadas para secagem em estufa a aproximadamente 60°C por 48 horas e foram armazenadas no dessecador com sílica gel, juntamente à primeira amostragem de fibra, hermeticamente fechadas afim de mantê-las totalmente secas até sua utilização.

A figura 4 ilustra as fibras de milho obtidas após o ataque com hidróxido de sódio.

Figura 3 – Folhas de milho imersas em solução de hidróxido de sódio e sob agitação.

Fonte: Autores.

Figura 4 – Fibras obtidas após o ataque alcalino.

Fonte: Autores.

As folhas de milho tratadas por mercerização e secas a 60° C foram trituradas utilizando um moinho de bolas e posteriormente classificadas por peneiramento abaixo de 48 malhas Tyler.

O bagaço de cana-de-açúcar e bambu triturados foram submetidos a classificação granulométrica com uso de vibrador de peneiras por 20-30 minutos de peneiramento afim de obter particulados abaixo de 48 malhas Tyler.

O processo de mercerização para o bagaço de cana-de-açúcar e bambu foi realizado utilizando o JarTest da marca Nova Ética, apresentado na figura 5. O procedimento de mercerização foi desenvolvido onde foram realizadas três variações de concentração de NaOH (3%, 5% e 7% em massa).

Figura 5 – Jar Test utilizado no processo de mercerização: bagaço de cana-de-açúcar com concentrações de NaOH, sendo o recipiente da esquerda correspondente à concentração de 7%, do meio de 5% e da direita de 3% (a) e bambu com concentrações de NaOH, sendo o recipiente da esquerda correspondente à concentração de 7%, do meio de 5% e da direita de 3% (b).

(a)

(b)

Fonte: Autores.

Após a finalização da mercerização no Jar Test, as fibras também foram submetidas à solução de ácido acético, nas mesmas condições experimentais apresentadas para preparação de fibras de milho.

As três fibras tratadas e secas foram caracterizadas por propriedades diferentes, tais como densidade, composição química, estabilidade térmica e aspectos morfológicos, utilizando-se técnicas como picnometria por gás hélio, fluorescência por raios X (FRX), análise termogravimétrica (TGA) e microscopia de varredura eletrônica (MEV), respectivamente.

A fluorescência de raios X por energia dispersiva (EDX) foi empregada para determinação dos elementos inorgânicos que compõe as fibras vegetais, utilizando o equipamento Shimadzu, modelo EDX-720 em atmosfera a vácuo e collimator de 10mm.

A microscopia eletrônica de varredura verificou da morfologia das fibras, utilizando o equipamento Tabletop Microscope, modelo TM 3000 da marca Hitachi.

A picnometria a gás hélio determinou da densidade das fibras, utilizando o equipamento Micromeritics Instrument Corporation, modelo Accupyc 1330, nos parâmetros: número de purgas: 30, pressão de purga:

19,5 psi g, número de repetições: 30, pressão de preenchimento: 19,5 psi g, taxa de equilíbrio: 0,005 psi g/min, corrida de precisão: utilizada, porcentagem de variação: 0,05%, temperatura da análise: 23°C;

A termogravimetria foi empregada para determinação da temperatura de termo oxidação das fibras, utilizando o equipamento Shimadzu, modelo TGA 51H, controle de sistema TA 60WS, com cerca de 2mg de amostra em cadinhos de alumina, ar como gás de arraste, vazão de 100 mL.min⁻¹ e aquecimento de 20°C até 800 °C nas razões de 10°C.min⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais elementos detectados nas fibras, são apresentados na tabela e figura 6, sendo o cálcio em maior concentração, que variou entre 37,3% a 49,3% em massa. O silício também foi identificado em quantidades significativas, dentro de 19,2 a 48,5% em massa entre as fibras estudadas. Elementos como alumínio, cobre, enxofre, ferro, fósforo, magnésio e potássio foram encontrados em concentração mássicas menores.

De acordo com Garay (2010), estes elementos em biocompósitos são utilizados como enchimento inerte, ou seja, não desempenham qualquer papel na reação de polimerização e atuam como dissipadores de calor ou diluentes.

Tabela 1 – Composição química quantitativa por EDX das fibras tratadas por mercerização, teor em massa (%).

Elementos (%)	Milho	Cana de açúcar	Bambu
Alumínio	-	2,2	1,3
Cálcio	47,8	37,3	49,3
Cobre	9,2	0,75	1,7
Enxofre	6,9	-	-
Ferro	17,2	6,16	4,6
Fósforo	-	1,64	3,2
Magnésio	-	-	3,4
Potássio	-	2,49	1,8
Silício	19,2	48,5	24,2

Fonte: Autores.

A partir das imagens obtidas pelo MEV, as fibras tratadas pelo processo de mercerização, apresentaram microestruturas típicas de fibras vegetais. São constituídas por microfibrilas, microcavidades superficiais, entrâncias e outras peculiaridade (MARINHO, 2012). Entretanto, nota-se que a cobertura da fibra mercerizada foi removida, expondo-a diretamente, como mostram as figuras 7 (a,b) com as fibras de milho, a figura 8 (a,b) com as de cana-de-açúcar e a figura 9 (a,b) com as de bambu.

Figura 6 - Composição química quantitativa por EDX das fibras tratadas por mercerização, teor em massa (%).

Fonte: Autores.

Figura 7 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de milho tratadas por mercerização (a) e fibras de milho secas (b).

Fonte: Autores.

Figura 8 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de cana-de-açúcar tratadas por mercerização (a) e fibras de cana-de-açúcar secas (b).

Fonte: Autores.

Figura 9 – Microscopia eletrônica de varredura das fibras de bambu tratadas por mercerização (a) e fibras de bambu secas (b).

Fonte: Autores.

A determinação das densidades das fibras vegetais é demonstrada na tabela 2. As fibras de milho e de cana de açúcar, obtiveram resultados semelhantes, em torno de 1,5 g.cm⁻³. O bambu apresentou resultado superior, porém também dentro dos parâmetros para fibras vegetais.

Tabela 2 – Densidade das fibras tratadas por mercerização (g cm⁻³).

Milho (g cm ⁻³)	Cana de açúcar (g cm ⁻³)	Bambu (g cm ⁻³)
1,52 (± 0,048)	1,54 (± 0,001)	2,58 (± 0,004)

Fonte: Autores.

As fibras vegetais apresentam degradação térmica em duas etapas principais. A primeira corresponde à despolimerização térmica da hemicelulose e a quebra de ligações glicosídicas da celulose. A segunda está relacionada com a decomposição da α -celulose. A decomposição da lignina acontece numa ampla faixa de temperatura, entre 200 e 500°C (RAMBO et. al., 2015; PAULA, 2011).

As curvas de termogravimetria apresentadas nas figuras 10, 11 e 12, mostram que as fibras estudadas possuem estabilidade térmica até aproximadamente 200°C, quando ocorre o início da termo oxidação, correspondente ao princípio da decomposição de hemiceluloses, seguida da celulose. Vale ressaltar que a perda de massa inicial, se refere à perda de substâncias voláteis e, majoritariamente, umidade contida nas amostras.

Em torno de 350°C observa-se o início de outro processo de decomposição, envolvendo ligações de lignina, prosseguindo com o aumento de temperatura até ocorrer a perda de massa quase total após a 500°C.

Rambo et. al., (2015), demonstra em sua pesquisa as curvas termogravimétricas de diferentes biomassas lignocelulósicas, dentre elas a do coco. Sendo que todas apresentaram comportamento típico de degradação térmica para este material: liberação de umidade na faixa de 50 a 100°C, decomposição de carboidratos (hemicelulose e celulose) no intervalo de 250 a 400°C, acima de 400°C uma degradação contínua e lenta associada a lignina e ao final do processo, quando ocorre a formação de carvão e cinzas.

Figura 10 - Análise termogravimétrica das fibras de milho tratadas por mercerização.

Fonte: Autores.

Figura 11 - Análise termogravimétrica das fibras de cana-de-açúcar tratadas por mercerização.

Fonte: Autores.

Figura 12 - Análise termogravimétrica das fibras de bambu tratadas por mercerização

Fonte: Autores.

4 CONCLUSÃO

Foram extraídas e caracterizadas as fibras provenientes das folhas que recobrem o milho, o bagaço da cana-de-açúcar e o bambu. Foi avaliada a técnica de mercerização, obtendo-se um resultado efetivo, pois de acordo com as imagens de MEV, observou-se que a cobertura da fibra tratada foi removida, expondo-a diretamente.

A partir dos resultados das análises de densidade (picnometria por gás hélio), fluorescência por raios X, análise termogravimétrica e microscopia de varredura eletrônica (MEV), as fibras estudadas apresentaram condições favoráveis para aumento de resistência do material e procedimentos em altas temperaturas, como moldagem.

REFERÊNCIAS

- [1] ALEXANDRE M.E.; NUNES V.M.S.; SALE H.S.; ALMEIDA R.J.S. Materiais Compósitos Poliméricos Reforçados com a Fibra da Folha do Abacaxizeiro, V CONNEPI Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, 2010.
- [2] GARAY, A. C. Efeito da adição de carbonato de cálcio em compósitos poliméricos moldados por RTM e RTM light. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais. Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28834/000768724.pdf?sequence=1>>. Acesso em: novembro, 2017.
- [3] LEUCENA, M.V., CHERNICHARO.C.A.L., Avaliação experimental da compostagem de RSU submetidos a etapa prévia de tratamento anaeróbico. In: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. Campo Grande/MS, p.09, 2005.
- [4] MARINHO, N. P. Características das fibras do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (MDF). Dissertação da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Pós-graduação da UTFPR. Curitiba-PR, 2012.
- [5] NASCIMENTO D.C.O.; FERREIRA A.S.; MONTEIRO S.N.; AQUINO R.C.M.P.; KESTUR S.G. Studies on charetization of piassava fibers and their epoxy composites. Composites part A, 2012, vol.43, issue 3, page 353-362.
- [6] PAULA, G. P. Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2011.
- [7] SANTOS, P.A.; SPINACE, M.A.S.; FERMOSELLI K.K.G.; DE PAOLI M.A. Efeito da forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com Poliamida-6. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2009, vol. 19, nº 1, 31-39p.
- [8] RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; ALEXANDRE, G. P.; Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassas lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. Ciência e Natura. v. 34, n. 3, p. 862-868, 2015.

Capítulo 7

Avaliação mecânica e flamabilidade de compósitos com resíduos de lama vermelha e cobre

Diogo Pontes de Queiroz

Mario Henrique Moreira de Moraes

Denilson da Silva Costa

Emerson Rodrigues Prazeres

J.S.Souza

Deibson Silva da Costa

Resumo: Fabricaram-se compósitos com matriz polimérica, adicionando 1,5 % e 1 % v/v de acelerador e catalisador respectivamente. Utilizando resíduos de lama vermelha e cobre com granulometria em 100 mesh. As proporções residuais variaram entre 0 %, 5 %, 15 %, 25 % e 35 % em massa. Seguiu-se o processo de fabricação de laminação manual hand lay-up. Os corpos de prova foram analisados segundo as técnicas de DRX, submetidos aos ensaios físicos (AA, MEA e PA) NBR 12766/1992, de flamabilidade (ASTM D 635), ensaios mecânicos de flexão (ASTM D 790) e tração (ASTM D 3039). Com o aumento das composições, as propriedades físicas aumentaram. Os compósitos apresentaram capacidade de retardo à chama, sendo que o compósito de 35 % de lama vermelha apresentou melhor desempenho. Os melhores resultados mecânicos para flexão foram dos compósitos de 25 % de ambos os resíduos, para tração houve tendência de aumento da resistência.

Palavras-Chave: Materiais Poliméricos, Resistência à Chama, Propriedades, Resíduos.

1 INTRODUÇÃO

Compósito pode ser caracterizado por qualquer material que tenha mais de uma fase presente agregando propriedades mecânicas dos materiais envolvidos(1). Assim produzindo novos materiais para diversas aplicações, em sua grande maioria atingem propriedades mecânicas melhores do que quando analisados seus elementos separados(2).

As propriedades que os materiais compósitos de matriz polimérica termofixo apresentam em sua grande maioria demonstram satisfatórias, há uma gama de matrizes poliméricas, nas quais o poliéster é amplamente utilizado por conta das suas propriedades como baixa densidade, boa resistência mecânica, durabilidade, facilidade de trabalho entre outros. Assim torna-se viável uso desse material na pesquisa científica como também no meio industrial(3).

Atualmente, os materiais metálicos ainda tem fundamental importância em aplicações diversas por conta das suas propriedades como resistência mecânica, porém ocorrem algumas desvantagens como a corrosão que afeta diretamente a durabilidade desse material, custo de manutenção entre outros. Há alguns anos tem sido feitas pesquisas científicas para que novos materiais possam surgir para preencher essas lacunas(4).

Com o avanço da ciência dos materiais, os compósitos passaram a ser amplamente utilizados em diversas áreas, principalmente as que requerem altas exigências quanto ao desempenho como as indústrias aeronáutica, aeroespacial, automobilística, militar entre outras. Com a intensificação das pesquisas científicas, novos materiais surgiram com menor densidade, maior durabilidade e maior resistência para tentar suprir essa necessidade(5).

Numa das etapas do processo Bayer, clarificação, é gerado um resíduo insolúvel chamado de lama vermelha, comumente em indústrias tem lagoas de grandes extensões que comportam esse material, porém grande quantidade desse rejeito não tem finalidade, assim o acúmulo se torna inevitável provocando problemas para a empresa e o meio em que está situada(6). Dessa maneira qualquer equívoco pode fazer com que haja um vazamento desse resíduo ocasionando assim um impacto ambiental de extrema gravidade(7).

As grandes empresas situadas na região norte do Brasil, tal como a Província Mineral de Carajás, têm uma linha de produção muito forte, de maneira que ao decorrer desse processo de produção ocorrem acúmulos de rejeitos de cobre, como a pureza desse material não é atrativa e a sua recuperação não seria viável, uma das válvulas de escape seria a produção de compósitos com a utilização desse material(8).

Neste trabalho ocorreu à produção de compósitos incorporando resíduo de cobre e lama vermelha, os resíduos foram analisados segundo as técnicas de Difração de Raios-X (DRX). Adicionados em matriz polimérica insaturada para serem avaliados nos ensaios mecânicos de tração e flexão, ensaios físicos e de flamabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODO

O preparo da matéria prima ocorreu na usina de materiais localizada no Laboratório de Engenharia Química na Universidade Feral do Pará. O material passante utilizado foi selecionado através de uma peneira de 100 mesh. A fabricação dos compósitos seguiu o método manual hand lay up.

A etapa inicial para confecção dos compósitos é a determinação da massa do resíduo e resina, em seguida aplicou-se o desmoldante no molde metálico, para facilitar a retirada do compósito. O catalisador metílico é adicionado à resina e ocorre à agitação por 40 segundos até ficar somente uma fase, em seguida o resíduo é adicionado e homogeneizado, adiciona-se o acelerador para o processo de cura.

A mistura foi vazada no molde de maneira uniforme, espera-se atingir o ponto de gel para então ocorrer a prensagem hidráulica com carga de 25 kN durante um período de 20 minutos, depois desse tempo o compósito é retirado do molde e colocado em local apropriado permanecendo por 24 horas para finalização do processo de cura.

Após o processo de fabricação dos compósitos, os corpos de prova para análises físicas foram produzidos segundo a norma NBR 12766/1992(9), os ensaios mecânicos de tração ASTM D 3039(10) e flexão ASTM D 790(11) e para os ensaios de retardância a chama de acordo com a norma ASTM D 635(12).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 apresentam respectivamente, os difratogramas dos resíduos de lama vermelha e cobre. Através dos diversos picos característicos, é possível identificar os principais minerais presentes em cada amostra.

Figura 1: Difratoograma do resíduo de lama vermelha

O ensaio mineralógico para lama vermelha apresentou os principais picos presentes como a hematita (H) - PDF 01-073-2234 e sodalita (S) - PDF 01-089-8955. A presença desses minerais é comprovada por Costa(13) em trabalhos que obtiveram os mesmos resultados.

Figura 2: Difratoograma do resíduo de cobre

Quanto ao cobre, os minerais de destaque no difratograma são: quartzo(Q) conforme a ficha pdf 01-087-2096, ferrita (F) segundo o pdf 01-088-1939, além de calcopirita (C) pelo pdf 00-001-0842. Outro mineral encontrado com menor frequência foi o clinocloro pelo pdf 00-029-0701. A presença desses minerais é comprovada por Shimizu(14) em trabalhos que obtiveram os mesmos resultados.

Os resultados dos ensaios físicos realizados para lama vermelha estão apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1: resultados dos ensaios físicos para a lama vermelha.

LAMA VERMELHA 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
5%	0,70	0,86	1,24
15%	1,08	1,38	1,30
25%	1,40	1,89	1,33
35%	1,56	1,98	1,38

Os compósitos reforçados com partículas grandes e os reforçados por dispersão enquadram-se na classificação de compósitos reforçados com partículas. A regra da mistura apresenta que cada fase constituinte desse tipo de compósito contribui para as propriedades efetivas e dependem das frações volumétricas desse material(1).

Os resultados apresentados na Tabela 1 expuseram uma tendência de aumento nos valores de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e massa específica aparente (MEA) quando comparados com a resina plena, o incremento de resíduo de lama vermelha auxiliou para aumento dos valores desses resultados, o que pode ser justificado pelo alto teor hidrofílico dos resíduos e/ou modo de fabricação manual desses compósitos. Assim, acarretando elevada probabilidade de aumento de defeitos como vazios e bolhas, com a adição do resíduo nos compósitos. Dessa maneira a regra da mistura é validada por conta da proporção aumento da adição de resíduo com aumento da massa específica aparente.

Os resultados dos ensaios físicos realizados para o resíduo de cobre estão apresentados a seguir na Tabela 2.

Tabela 2: resultados dos ensaios físicos para o resíduo de cobre.

RESÍDUO DE COBRE 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA APARENTE (g/cm ³)	ESPECÍFICA
Resina Plena	0,41	0,41	0,99	
5%	0,95	1,17	1,23	
15%	1,29	1,68	1,31	
25%	1,55	2,13	1,38	
35%	1,94	2,87	1,48	

De acordo com Banna(15), a massa específica média do resíduo de cobre é de 2,86 g/cm³, logo nesse caso a regra da mistura também é respeitada, dado o aumento da massa específica aparente do material a partir do aumento das proporções em massa de resíduo na matriz. O resíduo de cobre não possui hidrofília elevada, e era esperada a diminuição nos percentuais de absorção de água e porosidade aparente a partir do aumento das proporções, o que não ocorreu. Houve um aumento considerável nas taxas, onde absorção de água resultou em 104 % e porosidade aparente em 145 %, o que talvez possa ser explicado tanto pelo método de fabricação e a já comentada probabilidade de surgimento de descontinuidades, bem como pelo teor de umidade do resíduo que não foi reduzido adequadamente nos momentos que precederam a confecção do material compósito.

A Tabela 3 exibe os dados coletados durante o ensaio de resistência chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635(12).

Tabela 3: resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

RESÍDUO / PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	17,42
LV 5 %	19,28
LV 15 %	14,23
LV 25 %	14,29
LV 35 %	10,39
CO 5 %	19,89
CO 15 %	19,58
CO 25 %	19,08
CO 35 %	22,26

Entre as diversas matrizes poliméricas, existem dois tipos em relação à propagação de chamas, as que têm baixa resistência à chama e as que têm características atrativas em relação à velocidade de propagação. Dessa maneira, a resina utilizada na confecção dos compósitos demonstrou uma taxa de propagação adequada em relação ao exigido pela norma utilizada, contudo, quando houve a adição do resíduo de lama vermelha os resultados do teste de flamabilidade melhoraram em relação à resina plena, enquanto que o resíduo de cobre não obteve melhora significativa.

Em relação à lama vermelha, pode-se notar que o tempo médio de queima das amostras elevou na proporção da adição de resíduo no compósito, dessa forma apresentando maior rendimento na retardância de queima do material, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de queima, o que dificulta a propagação da chama e facilita a extinção da mesma. Entretanto o resíduo de cobre apesar de ter obtido valores de taxa de propagação bons em relação à norma, ainda sim foram maiores quando somente a resina plena.

Apesar das composições com resíduo de cobre apresentarem valores no mesmo patamar da resina plena, porém com valores menores recomendados pelos órgãos classificados como HB. A norma apresenta que valores inferiores a 40 mm/min são classificadas como adequados.

No Brasil, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) 675(16), solicita que os revestimentos internos da indústria automobilística portem uma taxa de propagação de chama de 250 mm/min. Entretanto em países que retêm pesquisas avançadas na área, esse valor é prescrito em 80 mm/min(17).

A Tabela 4 mostra os resultados, obtidos para a composição de 35 % dos dois resíduos, no trabalho em comparação com os valores requeridos pela norma.

Tabela 4: comparação entre resultados.

NORMAS/COMPOSIÇÃO	TAXA DE PROPAGAÇÃO (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
LV 35 %	10,39
CO 35 %	22,26

Os resultados obtidos nesse ensaio podem ser considerados excelentes quando comparados com os valores estabelecidos pela norma, haja vista que os dois resíduos apresentaram valores bem menores do que a norma estabelece. O valor para o resíduo de cobre em relação ao exigido pelo CONTRAN 675(16) é aproximadamente 91,1 % menor e para a lama vermelha é de 95,8 %. Quando a ASTM D 635(12) é a referência o valor para o resíduo de cobre é menor 44,35 % e para a lama vermelha é de 74,02 %.

O ensaio de flexão de 3 pontos ocorreu de acordo com a norma ASTM D 790(11), os resultados estão na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5: resultados do ensaio de flexão

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO (MPa)
Resina Plena	63,05 ± 9,09
LV 5 %	30,79 ± 0,68
LV 15 %	32,19 ± 0,62
LV 25 %	49,32 ± 1,24
LV 35 %	44,15 ± 0,45
CO 5 %	28,81 ± 1,32
CO 15 %	40,72 ± 0,45
CO 25 %	48,25 ± 0,94
CO 35 %	46,14 ± 1,41

A composição que apresentou melhor resultado foi a de 25 % de lama vermelha, com tensão média de resistência a flexão de 49,32 MPa. Em relação ao resíduo de cobre o melhor resultado foi comprovado pela composição de 25 % que apresentou valores de 48,25 MPa. Os valores de resistência à flexão para lama vermelha e resíduo de cobre foram menores do que a resina plena, dessa forma uma das explicações é que os resíduos não obtiveram boas dispersões e compactações dentro da matriz.

De modo geral, os resultados não obtiveram valores significativos quando comparados com a resina plena. Assim, os resíduos atuaram como carga de enchimento do que propriamente como reforço para o ensaio de flexão. Tal ocorrência é explicada pela saturação da matriz pelos resíduos, já que a resistência e massa específica aumentam o que está diretamente ligado à flexibilidade do material.

O ensaio de tração foi efetuado seguindo a norma ASTM D 3039(10), os resultados obtidos através dos ensaios estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: resultados do ensaio de tração

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	9,8 ± 1,06
LV 5 %	16,77 ± 2,81
LV 15 %	18,45 ± 1,81
LV 25 %	20,08 ± 2,04
LV 35 %	19,82 ± 1,07
CO 5 %	19,50 ± 1,64
CO 15 %	20,80 ± 1,23
CO 25 %	23,47 ± 1,74
CO 35 %	23,35 ± 2,12

Para a lama vermelha, a composição que apresentou melhor resultado foi a de 25 % com tensão média de resistência a tração de 20,08 MPa, observou-se que a composição de 35 % teve resistência semelhante, enquanto que as composições de 5 % e 15 % foram um pouco menor, essa diferença de valores pode ser considerada pequena, uma das explicações é o aumento da porosidade dos compósitos conforme aumenta-se a proporção de resíduos dentro da matriz polimérica.

Em relação ao resíduo de cobre, ocorreu de forma semelhante ao de lama vermelha. Apesar das composições de 25 % e 35 % obterem maiores resistências, a mesma explicação dada à lama vermelha pode ser usada ao resíduo de cobre, porém a dispersão e compactação ocorreram de maneira mais efetiva no compósito com resíduo de cobre.

4 CONCLUSÃO

Os materiais fabricados submetidos ao ensaio de flamabilidade obtiveram classificação HB referindo à norma ASTM D 635(12), dessa forma caracterizando como retardante de chama. Os compósitos de composição de ambos os resíduos obtiveram resultados excelentes segundo a resolução CONTRAN 675(16), atingindo taxas com valores de 10,39 e 22,26 mm/min de resíduo de lama vermelha e cobre respectivamente para 35 %, apesar do resíduo de cobre ter obtido taxa de propagação mais elevada do que a resina plena, ainda sim são valores bem atrativos para aplicações determinadas para revestimentos.

Em relação aos ensaios mecânicos, a resistência à flexão dos compósitos não obtiveram valores significativos em relação à resina plena, assim os resíduos atuaram como carga de enchimento para esse ensaio. No ensaio de tração os resultados de resistência foram maiores que a resina plena, no qual a maior resistência foi da composição de 25 % de resíduo de cobre com 23,47 MPa, apesar de não atingirem valores elevados, os resíduos atuaram como reforço para o ensaio de tração.

Assim, os compósitos desenvolvidos nesse trabalho obtiveram melhores resultados no ensaio de flamabilidade, dessa maneira a aplicação mais adequada para esses materiais seria como retardante de chama. Acarretando assim, uma destinação nobre e eficiente para esses resíduos.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará e ao Laboratório de Engenharia Química.

REFERÊNCIA

- [1] CALLISTER, W. Ciência e Engenharia de Materiais - uma introdução. 8 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [2] MARINUCCI, G., materiais compósitos poliméricos. 1 Ed. São Paulo: Artliber, 2011.
- [3] FONCECA, F. M. C. desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de polietileno de alta densidade (pead) reciclado e fibras vegetais. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto.
- [4] L. S. de OLIVEIRA; D. COSTA; H. C. MOREIRA; J. A. S. SOUZA. Análise da influência do resíduo de cobre e fibra de juta (em fio) nos ensaios de tração e flamabilidade aplicados em compósitos. Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Universidade Federal do Pará. 2016.
- [5] SILVA, A. E. Compósitos de poliéster reforçados com fibra de vidro: efeito da adição de pó de coco nas propriedades mecânicas, morfologia e custo. 2013. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE.
- [6] SILVA FILHO, E. B., ALVES, M. C. M., MOTTA, M. lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. Revista Matéria, V12, n. 2, pp. 322 – 338, 2007.
- [7] PEREIRA, C. R. Adição de fibra de coco pós tratamento alcalino em compósitos poliméricos de resíduo de mármore e granito como carga. 2016.TCC (Trabalho de conclusão de curso)
- [8] CARVALHO, M.C, SABOIA, R.P., Sugestão de um modelo cinético para lixiviação de cobre oxidado em tanques e em colunas. XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. 2015.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparente, absorção d'água aparente." 1992. 2p.
- [10] ASTM D 3039. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.
- [11] ASTM D 790. "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [12] ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [13] COSTA D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais). Universidade Federal do Pará, Belém, PA.
- [14] SHIMIZU V. K. , Classificação e Caracterização de Tipos de Minérios de Cobre na Mina do Sossego – Região de Carajás, 2012.

- [15] EL BANNA, W. R. Influência do Resíduo de Flotação de Minério de Cobre nas Propriedades Físicas e Mecânicas de Compósitos de Matriz Termofixa e Fibras de Bananeira (*Musa Sapientum*, *Musacae*). 2017. Tese de Doutorado.
- [16] Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução n°. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.
- [17] RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). *Holos*, ano 29, vol 1, 2013.

Capítulo 8

Cinzas volantes em compósitos poliméricos: análise mecânica e flamabilidade

Victor Hugo Mafra Monfredo Ferreira

Lucas Rezende Almeida

Mario Henrique Moreira de Moraes

Wassim Raja El Banna

Denilson da Silva Costa

Deibson Costa da Silva

Resumo: Confeccionaram-se compósitos de resina polimérica utilizando resíduos industriais de cinza volante. As proporções do resíduo variaram entre 0 %, 10 %, 20 % e 30 % em massa com granulometria de 100 mesh. Os constituintes foram homogeneizados com resina isoftálica juntamente com catalisador (1 % v/v) e acelerador de cobalto (1,5 % v/v). A fabricação seguiu o processo de laminação manual "hand lay up". As análises dos resíduos foram realizadas por DRX. Realizaram-se ensaios de tração e flexão conforme as normas ASTM D 3039 e ASTM D 790, além de ensaios de retardância a chama e físicos segundo as normas ASTM D 635 e NBR 12766. Todos os compósitos apresentaram aumento de sua resistência à tração em relação a matriz plena, para flexão obtiveram resultados estável em relação a matriz. Os resíduos atuaram como retardantes de chama nos compósitos, as propriedades físicas (PA, AA, MEA) variaram conforme as proporções.

Palavras-chave: Compósitos, Cinza volante, Resíduo, Caracterização.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, uma série de processos para transformar resíduos industriais em materiais úteis à sociedade vem sendo desenvolvidas com o principal propósito de diminuir o impacto ambiental, preservando desta forma o meio ambiente e um desses processos foi a criação de materiais compósitos.

Um destes resíduos é a cinza de carvão mineral, gerada a partir da queima deste carvão em termoelétricas para a produção de vapor e/ou energia. Sua produção no âmbito mundial ultrapassa 550 milhões de ton/ano, sendo no contexto nacional gerado mais de 1,7 milhões de ton/ano, estando 80 % relacionada a produção de cinza leve ou volante e 20 % de cinza pesada ou de fundo (1).

Os compósitos podem ser definidos como materiais constituídos por uma mistura de fases macrocomponentes compostas por materiais que, geralmente, são diferentes sob os pontos de vista de composição química e forma. O aglomerante do material é chamado de matriz, que tem por função envolver os componentes, ou seja, compõe a forma do material. Os componentes inseridos na matriz atuam geralmente como substâncias de reforço ou enchimento da matriz, sendo as propriedades dos compósitos dependentes da natureza e das propriedades do reforço e da matriz (2).

Os polímeros permitem grande variedade na fabricação de matrizes, sendo por isso, o material mais utilizado na confecção de compósitos, com destaque para as resinas. As resinas que são usadas como matrizes em compósitos reforçados com fibras podem ser classificadas em dois tipos, termorrígidas e termoplásticas, de acordo com a influência da temperatura nas suas características (3). Além das fibras, resíduos industriais podem ser utilizados como carga de enchimento nos materiais compósitos.

Embora existam vários tipos de resinas usadas em compósitos para indústria, a maioria das partes estruturais é feita principalmente com resina termofixa, ou seja, que necessitam de uma reação de cura. Na moldagem destas duas fases ocorre um “endurecimento” polimérico através de um processo de cura, que acopla as duas fases, proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem suas modernas e amplas aplicabilidades. Propriedades como leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência e adaptabilidade, transformam os compósitos poliméricos nos materiais do futuro (4).

O presente trabalho tem como objetivo o reaproveitamento do resíduo de cinza volante (CV) em criação de compósitos de matriz polimérica para visando o atual descaso com o descarte do mesmo, da caracterização mecânica, resistência a chama e ensaios físicos do material fabricado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os compósitos foram fabricados na Usina de Materiais do Laboratório de Engenharia Química utilizando-se o método denominado hand lay up. Fez-se a cominuição de todo material particulado em peneiras de 100 mesh da série Tyler.

Em seguida, com massas pré-definidas, foi feita a determinação da massa do resíduo e realizou-se a retirada da umidade do mesmo em uma estufa durante 20 minutos em temperatura de 100° C. Simultaneamente, aplicou-se desmoldante no molde metálico, com o objetivo de evitar o contato direto e facilitar a sua remoção após a prensagem.

Posteriormente, foi realizada a determinação da massa da resina, com as devidas proporções para cada porcentagem. Após a retirada do resíduo da estufa, foi feito o preparo da mistura.

A mistura ocorre seguindo a seguinte ordem: resina, catalisador metílico, resíduo e butanox. Adiciona-se o catalisador a resina e faz-se a mistura com o auxílio de um bastão de vidro até haver apenas uma fase homogênea no recipiente, após isso, incorpora-se o resíduo e no final, para iniciar o processo de cura, é adicionado o butanox.

Imediatamente, a mistura é despejada de maneira homogênea no molde metálico e então, após alguns minutos para atingir o ponto de gel, o molde foi levado para a prensa hidráulica. Na prensa, o molde foi fechado e submetido a prensagem com uma carga de aproximadamente 25 kN por 20 minutos. A figura 1 apresenta o fluxograma da fabricação

Figura 1: Fluxograma de fabricação dos compósitos

Após a obtenção das placas de formato retangular e dado o tempo de necessário para o seu processo de cura, realizou-se o corte das placas seguindo as recomendações das suas respectivas normas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A figura 2 apresenta o difratograma para o resíduo de cinza volante (CV), através dos picos característicos, é possível identificar os principais minerais presentes na amostra.

Figura 2: Difratograma obtido para a amostra de cinza volante

No resultado mineralógico para a cinza volante, os principais componentes mineralógicos do material estão de acordo com suas fichas PDFs, evidenciando-se os principais picos correspondentes a quartzo (Q) - PDF 03-065-0466, anidrita (A) - PDF 01-073-2234, calcita (CA) - PDF 00-005-0586 e hematita (H) - PDF 01-073-2234. Os resultados encontrados estão de acordo com a literatura (4).

3.2 ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração em compósitos são essenciais para a determinação das propriedades mecânicas dos mesmos. Os corpos de prova foram confeccionados conforme a norma ASTM D 3039(5). A tabela 1 ilustra os resultados obtidos para o resíduo e suas proporções.

Tabela 1: Resultados obtidos no ensaio de tração.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	8,65 ± 0,67
CV 10 %	36,52 ± 6,25
CV 20 %	36,17 ± 4,44
CV 30 %	42,07 ± 5,43

É evidente que independente da proporção utilizada, ao se utilizar a cinza volante, há um aumento considerável das tensões de resistência a tração, quando comparada com a matriz plena. Esse resultado provavelmente se explica devido a sua fase dispersa, pois as propriedades de um compósito variam em função de suas fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa, isto é, de sua forma, tamanho, distribuição e orientação (6).

Esse aumento da resistência à tração dos compósitos com adição de cinzas, pode estar relacionado há diversos fatores, entre os quais pode-se destacar que durante o processo de fabricação dos compósitos pode ter ocorrido uma boa dispersão, homogeneização e compactação dos constituintes (resíduos e resina) dos compósitos, o que resulta em compósitos com o mínimo de defeitos e imperfeições, tendo como consequência, o aumento da resistência do material. Outro fator importante é a mineralogia dos resíduos utilizados, as cinzas volantes possuem elementos em sua composição que afetam diretamente as propriedades dos materiais dos quais as mesmas fazem parte, uma de sua característica importante dos resíduos industriais de maneira geral, são que esses resíduos possuem boas propriedades de dureza, fazendo-se com que os compósitos constituídos por esses resíduos apresentem a possibilidade de aumento de sua resistência.

Ao inserir os resíduos de cinza volante na matriz polimérica, nota-se houve um aumento da resistência, porém os compósitos com as proporções de 10 % e 20 % de cinzas apresentaram resultados semelhantes entre si, já para os compósitos com 30 % de cinzas houve um aumento na resistência à tração considerável.

3.3 ENSAIO DE FLEXÃO

Para os ensaios de flexão, foi utilizada as diretrizes da norma ASTM D 790(7), neste trabalho, foi utilizado o ensaio de flexão de 3 pontos. O objetivo dos ensaios de flexão é determinar algumas propriedades mecânicas, essenciais para avaliar o desempenho dos materiais quando submetidos a uma carga de flexão. Os resultados obtidos através dos ensaios são demonstrados na tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos no ensaio de flexão.

COMPOSIÇÃO	TENSÃO DE RESISTÊNCIA (MPa)
Resina Plena	63,05 ± 9,09
CV 10 %	67,83 ± 4,12
CV 20 %	66,25 ± 9,82
CV 30 %	62,84 ± 6,64

A composição que obteve o melhor desempenho foi a de 10 %, com uma tensão média de resistência de 67,83 MPa. A composição de 30 % obteve resultados não semelhantes quando se comparado com a resina plena, houve um decréscimo da resistência, uma possível explicação para esse fator se enquadra nas peculiaridades dos resíduos de cinzas, como por exemplo, possuem granulometrias extremamente variadas, mesmo sendo submetidos por processos de cominuições, e possuem esferas de formatos bastantes variados, além de ter esferas ocas e maciças presentes na constituição das cinzas, todos esses fatores tendem a modificar as propriedades dos compósitos(6), caracterizando assim o resíduo como carga de enchimento, não melhorando as propriedades mecânicas dos compósitos.

3.4 ENSAIO DE FLAMABILIDADE

A tabela 3 mostra os resultados obtidos do ensaio de retardância á chama, realizados de acordo com a norma ASTM D 635 (8).

Tabela 3: Resultados do ensaio de flamabilidade horizontal.

RESIDUO/PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
Resina Plena	17,42
CV 10 %	23,82
CV 20 %	21,08
CV 30 %	18,42

Como observado na tabela 3, a resina plena utilizada nos ensaios apresentou resultados adequados quando comparados aos exigidos pela ASTM D 635, evidente também que, ao acrescentar o resíduo como carga de enchimento houve uma diminuição da taxa de queima.

Verificou-se que o tempo médio de queima das amostras aumentou nas proporções fabricadas quando comparados a resina plena, porém, conforme foi acrescentando-se resíduo na matriz polimérica, nota-se a diminuição da taxa de queima, demonstrando que a medida em que se aumenta a porcentagem de resíduo na matriz, há uma diminuição considerável na mesma, mostrando que o resíduo, em quantidades mais elevadas, pode atuar como retardante de chamas. Este resultado é desejável, pois quanto maior for o tempo de queima do material, menor será a velocidade de propagação da chama, o que facilita que medidas de reação/segurança sejam tomadas.

No Brasil a resolução CONTRAN nº 675(9), exige que os revestimentos internos da indústria automobilística tenham uma velocidade de propagação de chama de 250 mm/min. Já nos países com pesquisa avançadas na área, esse valor é de 80 mm/min. Em comparação com esses dados o compósito estudado apresentou valores bem menores do que o exigido (10).

A Tabela 4 demonstra uma comparação com 30 % e os padrões exigidos pelas normas e diretrizes, na qual é possível observar o desempenho obtido durante os ensaios.

Tabela 4: Comparação dos resultados obtidos com parâmetros exigidos.

RESIDUO/PROPORÇÃO	TAXA (mm/min)
CONTRAN 675	250,00
ASTM D 635	40,00
CV 30 %	18,42

Comparando-se os resultados obtidos no trabalho com os exigidos pelas normas, é evidente que os materiais compósitos fabricados apresentaram excelentes resultados, pois apresentaram valores bem menores do que os exigidos. Em relação a norma do CONTRAN 675 (9), obteve-se uma redução de

92,63 % na taxa de propagação para a cinza. Para o valor estabelecido pela ASTM 635 (8), a redução foi de aproximadamente 53,95 % para a cinza.

3.5 ENSAIOS FÍSICOS

Os corpos de prova para os ensaios físicos foram confeccionados utilizando a norma NBR 12766/1992 (11). A tabela 5 demonstra os resultados de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água, obtidos para os compósitos com resíduo de cinza volante:

Tabela 5: Resultados dos ensaios físicos para compósitos com cinza.

CINZA VOLANTE 100 #	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	POROSIDADE APARENTE (%)	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)
Resina Plena	0,41	0,41	0,99
10%	1,1198	1,4038	1,2536
20%	1,1317	1,4679	1,3276
30%	1,1489	1,4858	1,4051

As partículas de cinzas possuem uma particularidade, são em formatos esféricos, sendo que algumas partículas são maciças e outras são ocas, o que interfere diretamente nos compósitos por elas constituídos (4). Isso pode explicar o fato de nos resultados encontrados haver um aumento da Absorção de Água (AA) e um aumento da Porosidade Aparente (PA), 102 % e 106 % respectivamente, de acordo com o acréscimo de cinza volante na matriz.

De acordo com a ficha técnica provida pelo fabricante, para a resina isoftálica, a Massa Específica Aparente (MEA) é de aproximadamente 1,157 g/cm³, enquanto para a cinza, foi adotada 2,70 g/cm³(12). É perceptível o aumento da massa específica aparente de acordo com o aumento do percentual em massa de cinza volante no compósito, validando assim a regra da mistura que afirma que as propriedades dependem das frações volumétricas das fases (13).

4 CONCLUSÃO

Em relação aos ensaios mecânicos de tração, todos os compósitos com cinzas apresentaram melhores desempenhos em relação a matriz plena. Além da melhora, certas propriedades do compósito foram modificadas e o seu custo foi reduzido, o incremento de resíduo na matriz polimérica funcionou como um reforço efetivo nos resultados de tração.

Para flexão, ocorreu os resultados esperados visto que na medida que a matriz é saturada de resíduos, sua massa específica e rigidez aumentam, o que implica na perda gradual de flexibilidade dos compósitos.

Nos ensaios de resistência a chama, a taxa de queima dos compósitos apresentou uma taxa de degradação decrescente conforme aumenta-se a quantidade de resíduo na matriz polimérica, porém, mesmo nas menores quantidades de resíduos, foi observado um resultado menor do que as taxas máximas de queima exigidas pela CONTRAN 675 (9) e ASTM D 635(8).

Sendo assim, a aplicação mais eficaz das apresentadas no decorrer do trabalho foi como retardante à chamas. Onde, além de obter bons resultados, pode-se utilizar maiores quantidades de resíduos previamente descartados de maneira imprópria para aprimorar essa característica extremamente importante para uma possível aplicação para esses materiais compósitos.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ) e a Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

- [1] C. A. F. ROCHA JUNIOR, S. C. A. SANTOS, C. A. G. SOUZA, R. S. ANGÉLICA, R. F. NEVES. Síntese de zeólitas a partir de cinza volante de caldeiras: caracterização física, química e mineralógica. Ln: 58 CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA (2012) 43-52. Disponível em: http://www.repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/6116/1/Artigo_SinteseZeolitasCinza.pdf. Acesso em: 11 de dezembro de 2018
- [2] COSTA, D. S. Caracterização de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de bambu, sisal e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro. Tese de Mestrado, 2012.
- [3] SILVA, K. C. A, Caracterização de compósitos de matriz polimérica com ligas com memória de forma para aplicação em microatuadores. Tese de Mestrado, 2013
- [4] COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. Tese de Doutorado, 2016.
- [5] ASTM D 3039. "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2000.
- [6] WIEBECK, H., HARADA, J., Plásticos de engenharia. São Paulo: Artliber Editora, 2005.
- [7] ASTM D 790. "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010.
- [8] ASTM D 635 "Rate of Burning and/or Extent and Time of Burninf of Plastics in a Horizontal Position" Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2010
- [9] Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Resolução nº. 675 - "Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos e dá outras providências." Diário Oficial da União, Seção 1, página 13534, 09 de setembro de 1986.
- [10] RIBEIRO, L. M. Flamabilidade e retardância de chama do compósito: poliéster insaturado reforçado com fibra de abacaxi (palf). Holos, ano 29, vol 1, 2013.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - NBR 12766 "Determinação da massa específica aparente, porosidade aparentem absorção d'água aparente." 1992. 2p.
- [12] SIQUEIRA, J. S. de. Reciclagem de residuo a partir de cinzas de carvão mineral: produção de argamassas. Tese de Mestrado, 2011.
- [13] GHESQUIERE, A; BAUWENS, J C. - J Appl. Polym. Sei., 20, 891-901 (1976).

Capítulo 9

Estudo das propriedades eletromagnéticas de materiais poliméricos tipo radomes

Tamara Indrusiak Silva

Iaci Miranda Pereira

Matheus Carvalho Bispo

Míriam Kasumi Hwang Yassuda

Antônio Carlos da Cunha Migliano

Bluma Guenther Soares

Resumo: RADOMES são estruturas empregadas para proteger quaisquer sistemas de recepção ou emissão de sinais de RF e micro-ondas (radares), possuindo a propriedade de transparência desses sinais, sem atenuação ou deformação, e apresentar resistência contra intempéries e impactos mecânicos. Neste trabalho são apresentados os resultados de caracterização de RADOMES operacionais nas faixas de frequência de 0,001-2 GHz (AM, FM e banda L) e 8,2-12,4 GHz (banda X). As análises de infravermelho foram realizados para identificar os materiais presentes nos RADOMES. O RADOME-I (AM, FM e banda L) foi produzido com aramida e resina epóxi. O RADOME-II (banda X) utilizou o poliestireno e uma tinta de metacrilato. O RADOME-I apresentou melhor resistência ao impacto, de acordo com os ensaios seguindo as normas ASTM D 256 (resistência ao impacto Izod), e propriedades dielétricas superiores, justificado pelas polarizações interfaciais, na faixa de 0-2 GHz, momentos de dipolos no polímero, na banda-X, e o confinamento da energia no interior da trama, provocada por múltiplas reflexões. Os valores de refletividade foram melhores para a Banda-L. O RADOME-I apresentou -10 dB em toda faixa, devido às múltiplas reflexões internas na malha da fibra, já o RADOME-II apresentou -20 dB em 1,75 GHz, devido a ressonância no polímero. Além disso, para a Banda-X simulou-se o RL variando a espessura e observou-se que RADOME-I apresenta uma espessura ótima de absorção com 4 mm de espessura.

Palavras-chave: RADOME, resistência ao impacto, propriedades dielétricas, refletividade.

1 INTRODUÇÃO

Materiais poliméricos isotrópicos e anisotrópicos têm sido vastamente utilizados em aplicações na área de micro-ondas e rádio frequência, como, por exemplo, na proteção eletromagnética de circuitos eletrônicos, em tecnologia furtiva, entre outros. Estes materiais são classificados como materiais absorvedores de radiação eletromagnética (KIM et al., 2008a). O princípio básico da absorção da onda é transformar a energia eletromagnética (EM) incidente e dissipá-la na forma de calor, através de ressonâncias e polarizações provocadas no material quando este interatua com a EM (ZHANG et al., 2011). Nesse campo, existem os materiais denominados RADOMES.

RADOMES são materiais vastamente aplicados em telecomunicações e radares para a proteção mecânica da antena contra as intempéries e que, por isso, devem ser transparente na frequência operacional da antena (PEI et al., 2012), Figura 1.

Figura 1 – Esquema de utilização do Radar.

Desta maneira, para proteger as antenas de cargas externas e condições ambientais os RADOMES devem apresentar propriedades mecânicas elevada, baixa difusividade a água, resistência à radiação UV e resistência ao intemperismo (KIM et al., 2008b). Além disso, para minimizar a interferência da onda eletromagnética que é transmitida/recebida por meio da antena, os RADOMES devem apresentar baixos valores de constantes dielétricas. Assim, quando esses materiais são aplicados em antenas de radares militares, além das propriedades mencionadas, eles devem apresentar ressonância na banda de frequência da aplicação com taxa de transmissão maior que 80%. Para essa aplicação, a largura da banda de frequência deve ser inferior a 1GHz (ANNIL KUMAR et al., 2016; CHOI et al., 2011).

Comercialmente, verifica-se a utilização de materiais poliméricos para confecção de RADOMES. Esses materiais são, frequentemente, modificados superficialmente, para atender todas demandas relacionadas à aplicação. Entretanto, pouco se sabe sobre a natureza e as propriedades dos materiais que atualmente são empregados no Brasil. Assim, o objetivo desse trabalho foi caracterizar dois RADOMES comerciais, identificando: as propriedades eletromagnéticas em duas faixas de frequência: de 0 a 2 GHz (contempla as bandas HF, VHF, UHF e L), e de 8,2 a 12,4 GHz (Bandas X). Avaliou-se também a resistência ao impacto e a composição.

2 EXPERIMENTAL

2.1 MATERIAIS

A Figura 2 apresenta um desenho esquemático dos dois RADOMES estudados.

Figura 2 – (a) RADOME-I e (b) RADOME-II.

Os RADOME-I e RADOME-II foram obtidos junto a empresa Alltec Composites. Pequenas amostras dos materiais identificados na Figura 2 foram removidos e caracterizados.

2.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER – FTIR

Os espectros de infravermelho foram obtidos no Espectrofotômetro no Infravermelho com transformada de Fourier da Nicolet, modelo iS50 FT- IR- Thermo Scientific, na faixa de 4000 a 550 cm^{-1} , modo ATR, com média de 32 varreduras.

2.3 ENSAIO DE IMPACTO IZOD

Os ensaios de resistência ao Impacto Izod, com entalhe, foram realizados seguindo a norma ASTM D256, em uma Máquina de impacto Resil Impactor 5,5 J da Ceast, modelo com um pêndulo de 5,5 J para o RADOME-I e 4 J para o RADOME-II. Corpos de prova retangulares com 63,3 mm x 12,5 mm foram empregados. O valor da resistência ao impacto representa a média aritmética de 5 amostras para cada tipo de RADOME.

2.4 PROPRIEDADES ELETROMAGNÉTICAS

Os resultados na faixa de 1 MHz a 2 GHz foram obtidos com um Analisador de Impedância de ganho e fase da Keysight, modelo E4991B, acoplado ao acessório de teste de material dielétrico modelo 16453A, para amostras com 2,5 mm de lado e ~3 mm de espessura. Os resultados na Banda-X (8,2 a 12,4 GHz) foram obtidas utilizando-se um analisador de rede vetorial (VNA) modelo PNA-L, da Agilent Technologies. No estudo utilizou-se a configuração para guia de onda com seção transversal de 23 x 10 mm. Para as duas faixas de frequência obteve-se a permissividade real (ϵ'), a permissividade imaginária (ϵ''), a tangente delta ($\text{tg } \delta_\epsilon$) e a refletividade (RL). A RL foi calculada por meio da impedância intrínseca do material (Z_{in}) e impedância do ar (Z_0), de acordo com (1) (WANG et al., 2013).

$$RL = 20 \log \left(\frac{Z_{\text{in}} - Z_0}{Z_{\text{in}} + Z_0} \right) \quad (1)$$

A partir dos resultados obtidos para RL, estima-se o percentual de energia absorvida (E_{abs}) para cada amostra, nas respectivas faixas de frequências, como mostra na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação da refletividade e percentagem de energia absorvida (FOLGUERAS, 2005).

RL (dB)	E_{abs} (%)
0	0
-3	50
-10	90
-20	99
-40	99,99

Finalmente, na Banda-X, realizou-se a simulação da RL para diferentes espessuras materiais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados de FITR para os materiais identificados na Figura 1.

Figura 3 – (a) Espectros de Infravermelho dos materiais identificados na Figura 2.

Devido ao processo de impregnação utilizado para confecção do RADOME-I, os materiais A e B não podem ser diferenciados. Quando se analisa as tramas do tecido do RADOME-I, observa-se bandas típicas dos tecidos de poliamida sintética e aromática, bem como as bandas características da resina epóxi: ~ 3322 cm^{-1} , amida A (N-H ligado por interação de hidrogênio quando C=O e NH na configuração trans), pico da amida I referente ao tecido de poliamida. Em 1640 cm^{-1} , refere-se ao pico de amida-I do tecido ou ao estiramento de C=C do anel aromático da resina epoxi (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ; CABANELAS; BASELGA, 2012). Os espectros dos Materiais C e D, utilizados no do RADOME-II, são iguais e representam o espectro do poliestireno (PS) comercial: 3050 a 2900 cm^{-1} corresponde a tensão C-H do anel aromático, 2970 a 2820 cm^{-1} tensão do C-H alifático, o pico em 1500 cm^{-1} indica o CH₂ alifático e a banda de 805 a 660 cm^{-1} refere-se a diferentes modos vibracionais do PS (PATOLE et al., 2009). Para Material-E, observa-se banda típicas do metil metacrilato, a banda em 1730 cm^{-1} correspondente as vibrações de estiramento do grupo C=O, a banda em 1460 cm^{-1} é referente a deformação C-H e a banda larga em torno de 1145 cm^{-1} , refere-se ao estiramento C-O do grupo éster (MATTOS et al., 2015). Dessa forma, pode-se concluir que RADOME-I foi confeccionado com um tecido de aramida, Material A, impregnado por uma resina epóxi, Material B, utilizada para dar forma e manter as fibras no lugar. O RADOME-II, apresenta-se como um poliestireno comercial, Material D, revestido por outro poliestireno, Material C, e recoberto externamente por uma fina camada de tinta preta de metil metacrilato, Material E.

A resistência ao impacto RADOME-II foi $20,52 \pm 1,25$ J/m. O RADOME-I apresenta resistência ao impacto superior, nenhum dos cinco corpos de provas testados romperam-se com martelo de 5,5 J a um ângulo de 150° , Figura 4(a). Verifica-se que as fibras do tecido de aramida conferiram elevada resistência ao impacto ao RADOME-I.

Figura 4 – (b) Amostras analisadas antes e após o teste de impacto.

As medidas de ϵ' , ϵ'' e $\tan \delta_\epsilon$ de 1 MHz a 2 GHz são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Propriedades Eletromagnéticas na faixa de 1 MHz a 2 GHz: (a) ϵ' e ϵ'' e (b) $\tan \delta_\epsilon$.

Sabe-se que a permissividade permite analisar os efeitos capacitivos e dissipativos de energia eletromagnética em um meio material (PEREIRA, 2007). Observa-se na Figura 3(a), que os valores de ϵ' são maiores para o RADOME-I, demonstrando que há um maior armazenamento da energia, maior efeito capacitivo. Existem diversos mecanismos dielétricos que contribuem para o valor da permissividade real (ARJMAND, 2014). Para baixas frequências, a polarização interfacial é o mecanismo dielétrico que predomina. Esse mecanismo ocorre devido ao acúmulo de cargas que podem existir nas diferentes fases do material. A maior ou menor polarização interfacial depende da cadeia polimérica e o do tempo de relaxação dielétrica durante a interação como o campo EM. Em relação a ϵ'' , verifica-se que para o RADOME-II não há dissipação da energia, uma vez que esses $\epsilon'' \approx 0$. Os valores de ϵ'' para o RADOME-I são ligeiramente superiores a zero, sugerido maior dissipação de energia. Na Figura 3(b), os valores da $\tan \delta_\epsilon$ evidenciam picos de ressonâncias em 1,5 GHz e 1,9 GHz os quais são associados à ressonância natural que

cada polímero apresenta ao longo da banda de frequência. As tramas do tecido de aramida favorecem os valores de $\text{tg } \delta_\epsilon$ para o RADOME-I. A malha formada pelas fibras de aramida promove o confinamento da onda eletromagnética no interior do tecido, permitindo a ocorrência de múltiplas reflexões, e, conseqüentemente, maior dissipação da energia na forma de calor e maior absorção da EM (FENG et al., 2016; PARK et al., 2006). Além de promover um desvio no “caminho” de propagação da onda EM, essas fibras, de alto desempenhos, promovem a propriedade mecânica do RADOME, a condutividade térmica, a estabilidade química, a flexibilidade, e a compatibilidade com vários tipos de resina (FOLGUERAS, 2005).

As medidas de ϵ' , ϵ'' e $\text{tg } \delta_\epsilon$ na Banda-X são apresentadas na Figura 5

Figura 6 – Propriedades Eletromagnéticas para a Banda-X: (a) ϵ' e ϵ'' e (b) $\text{tg } \delta_\epsilon$.

Analogamente, para Banda-X, os valores de ϵ' , ϵ'' e $\text{tg } \delta_\epsilon$ são maiores para o RADOME-I, Figura 6, comportamento semelhante ao estudado na Figura 5. Os valores das propriedades, Figura 6(a), para RADOME-I são em média de $\epsilon' = 4$ e $\epsilon'' = 0,4$; já para o RADOME-II são $\epsilon' = 2,4$ e $\epsilon'' = 0,03$. Nessa faixa de frequência, o mecanismo dielétrico que explica o valor da permissividade real é a polarização dipolo. Nesse mecanismo as cargas na cadeia polimérica se orientam na direção do campo elétrico formando dipolos (ARJMAND, 2014). Como a formação dos dipolos é específica para cada ligação polimérica, os valores das propriedades eletromagnéticas são diferentes para cada RADOME. Além disso, novamente, a presença da malha do tecido favorece as propriedades eletromagnéticas do RADOME-I. A Figura 6(b) apresenta os picos de ressonância dos materiais. O RADOME -I apresenta dois picos de ressonância em 8,5 GHz ($\text{tg } \delta_\epsilon = 0,1$) e 12 GHz ($\text{tg } \delta_\epsilon = 0,16$). Na mesma figura, observa-se para o RADOME-II três picos de ressonância em 8,5 GHz, 10 GHz e 11,5 GHz. Esses três picos apresentam valores de $\text{tg } \delta_\epsilon \approx 0,01$, como o valor é muito próximo a zero, considera-se o RADOME-II um material de baixíssima perda dielétrica.

A Figura 7 apresenta os resultados de refletividade na faixa de 1 MHz a 2 GHz, e na Banda-X.

Figura 7 - Refletividade das amostras calculada na faixa de (a) 1 MHz a 2GHz e (b) 8,2 a 12,4 GHz.

Os gráficos da Refletividade da Figura 7 estimam a capacidade de absorção de energia das amostras estudada, Tabela 1. Figura 7(a), para o RADOME-I, há uma grande variação de valores até 500 MHz, em seguida os valores mantêm-se constante em -10 dB até 2 GHz, correspondendo a $E_{\text{abs}} = 90\%$. Esse comportamento pode ser classificado como absorção em banda larga para a Banda-L. O RADOME-II apresenta maiores valores de absorção a partir de 1,5 GHz convergindo para valores próximos de -20 dB, a partir de 1,75 GHz, equivalente a um $E_{\text{abs}} = 99\%$. Nesse perfil a banda de absorção para a Banda-L é classificada como estreita. A Figura 7(b) apresenta o RL para Banda X. Observa-se que para o RADOME-I o RL aumenta ao longo da frequência, com melhor desempenho em 12 GHz, aproximadamente, -5 dB ($E_{\text{abs}} = 68\%$). O RL do RADOME-II é aproximadamente zero, indicando que toda energia incidente é refletida pelo material. Entretanto, um pico discreto é observado em 12 GHz, aproximadamente, -1 dB ($E_{\text{abs}} = 20,5\%$). Destaca-se que, na Banda-X, os materiais apresentaram comportamento semelhante ao de absorção em banda larga. Entretanto, a performance dos materiais nessa faixa de investigação foi inferior.

Alguns estudos consideram que para melhorar a absorção, em determinada faixa de frequência, deve-se aumentar a espessura do material (CHOI et al., 2012; DRAKAKIS et al., 2017). Com intuito de verificar a influência da espessura nas propriedades absorvedoras de cada material, simulou-se, na Banda-X, a variação do RL para espessuras entre 1 a 6 mm, Figura 8.

Figura 8- Simulação da Refletividade na Banda-X

Observa-se na Figura 8, o desempenho superior do RADOME-I. Verifica-se também que para esse material a espessura ótima é 4 mm, -8 dB em 12 GHz. A variação da espessura não altera significativamente a refletividade do RADOME-II, Figura 8(b). Os resultados indicam que a estrutura da trama do tecido tem grande influência na absorção da onda EM. As múltiplas reflexões que ocorrem no interior da trama, permite o confinamento da energia, conforme mostra a Figura 9. Contudo, a contribuição da trama é limitada pela espessura até o valor ótimo de 4 mm.

4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho, dois RADOMES comerciais foram estudados com o objetivo de identificar o desempenho dos materiais em duas faixas de frequência, de 1 MHz a 2 GHz, e 8,2 a 12,4 GHz. A identificação do material foi realizada por meio da FTIR. Verificou-se que RADOME-I foi confeccionado com um tecido de aramida, impregnado por uma resina epóxi. O RADOME-II foi produzido como um poliestireno comercial recoberto externamente por uma tinta preta de metil metacrilato. Devido ao tecido de aramida, o RADOME-I apresenta elevada resistência ao impacto. Além disso, a utilização do tecido melhora o desempenho do RADOME-I nas duas faixas de frequência estudadas. As múltiplas reflexões na trama garantiu os valores superiores de ϵ' , ϵ'' , $\text{tg } \delta_e$, e RL para o RADOME-I. Considerou-se que mecanismos como polarizações interfacial, na faixa de 1 MHz 2 GHz, e momentos dipolos, na Banda-X, atuaram na atenuação da onda EM. Os picos de ressonância que apresentaram no RADOME-II em $\text{tg } \delta_e$ é justificado pela ressonância natural do material. O percentual de energia absorvida de cada material foi analisado através do RL. Na Banda-L, o

RADOME-I teve $E_{\text{abs}} = 90\%$ em banda larga e o RADOME-II apresentou $E_{\text{abs}} = 99\%$ em 1,75 GHz; já para Banda -X, os valores foram respectivamente de $E_{\text{abs}} = 68\%$ em banda larga e o $E_{\text{abs}} = 20,54\%$ em 12GHz. Verificou-se que existe uma espessura ótima para maximizar o desempenho dos materiais. Para o RADOME-I na banda-X esse valor é 4mm de espessura com $E_{\text{abs}} = 85\%$. Conclui-se que os RADOMES estudados apresentam melhor desempenho na faixa de 1 MHz a 2 GHz..

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e Financiadora de Estudos e Pesquisas (FINEP) pelo apoio nos projetos.

REFERÊNCIAS

- [1] ANNIL KUMAR, T. et al. Development of hybrid composite radar wave absorbing structure for stealth applications. *Bulletin of Materials Science*, v. 39, n. 1, p. 279–284, 2016.
- [2] ARJMAND, Mohammad. Electrical Conductivity, Electromagnetic Interference Shielding and Dielectric Properties of Multi-walled Carbon Nanotube/Polymer Composites. 2014. 279 f. University of Calgary, 2014.
- [3] CHOI, Ilbeom et al. Aramid/epoxy composites sandwich structures for low-observable radomes. *Composites Science and Technology*, v. 71, n. 14, p. 1632–1638, 2011.
- [4] CHOI, Ilbeom et al. Radar absorbing sandwich construction composed of CNT, PMI foam and carbon/epoxy composite. *Composite Structures*, v. 94, n. 9, p. 3002–3008, 2012.
- [5] DRAKAKIS, E. et al. A study of the electromagnetic shielding mechanisms in the GHz frequency range of graphene based composite layers. *Applied Surface Science*, v. 398, p. 15–18, 2017.
- [6] FENG, Jiang et al. Oblique incidence performance of radar absorbing honeycombs. *Composites Part B: Engineering*, v. 99, p. 465–471, 2016.
- [7] FOLGUERAS, Luiza De Castro. Obtenção e caracterização de materiais absorvedores de microondas flexíveis impregnados com polianilina. Tese de Doutorado. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005.
- [8] GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, María; CABANELAS, J.C.; BASELGA, Juan. Applications of FTIR on Epoxy Resins - Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake. *Infrared Spectroscopy- Materials Science, Engineering and Technology* (www.intechopen.com 2012. v. 2. p. 261–284.
- [9] KIM, Po Chul et al. Low-observable radomes composed of composite sandwich constructions and frequency selective surfaces. *Composites Science and Technology*, v. 68, n. 9, p. 2163–2170, 2008a.
- [10] KIM, Po Chul et al. Nanocomposite stealth radomes with frequency selective surfaces. *Composite Structures*, v. 86, n. 1–3, p. 299–305, 2008b.
- [11] MATTOS, Bruno Dufau et al. Compósitos polímero-madeira preparados por polimerização in situ de metil metacrilato usando aditivos bifuncionais TT - Wood-polymer composites prepared by in situ polymerization of methyl methacrylate using bi-functional additives. *Polímeros*, v. 25, n. spe, p. 10–18, 2015.
- [12] PARK, Ki-yeon et al. Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures. *Composite Science and Technology*, v. 66, p. 576–584, 2006.
- [13] PATOLE, Archana S. et al. Effective in situ synthesis and characteristics of polystyrene nanoparticle-Covered multiwall carbon nanotube composite. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, v. 47, n. 15, p. 1523–1529, 2009.
- [14] PEI, Y.M. et al. Electromagnetic optimal design for dual band radome wall with alternating layer of Staggered composite and Kagome lattice structure. *Progress In Electromagnetics Research* 2012. p. 437–452.
- [15] PEREIRA, José Jesus. Caracterização eletromagnética de materiais absorvedores de microondas via medidas de permeabilidade e permissividade complexas na banda X. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Taubaté, 2007.
- [16] WANG, Zhongzhu et al. Magnetic and microwave absorption properties of Ni microcrystals with hierarchical branch-like and flowers-like shapes. *Materials Chemistry and Physics*, v. 142, n. 1, p. 119–123, 2013.
- [17] ZHANG, Chang-feng et al. Application of Radar Absorbing Material in Design of Metal Space Frame Radomes. *Cross Strait Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, 2011. p. 222–225.

Capítulo 10

Aplicação de resíduos de eva da indústria de calçados como agente de tenacificação de polímeros termorrígidos

Ledjane Lima Sobrinho

Allana Kellen Lima Santos Pereira

Henrique Nunes da Silva

Larissa Kerollaine Maia Gomes

Cybelle Rodrigues Duarte

Vanessa Ermes Santos

Henrique Pereira Cardoso

Ravena Yaskara Sampaio de Oliveira Tavares

Resumo: O comportamento frágil das resinas termorrígidas pode ser modificado por meio da incorporação de agentes modificadores/tenacificantes, os quais promovem uma maior capacidade de deformação do polímero, aumentando sua energia de fratura. Entretanto, as técnicas atuais de modificação de termorrígidos são relativamente caras. O presente trabalho busca contribuir com a redução dos custos associados aos atuais métodos de tenacificação de termorrígidos, e, paralelamente, minimizar os problemas ambientais resultantes do descarte de resíduos do copolímero EVA, gerados pelo setor calçadista na região do Cariri, no estado do Ceará. As amostras foram submetidas a testes de tração e às análises térmicas de DSC e TGA. Os resultados mostraram que o EVA modificado mostrou-se eficiente como agente de tenacificação para a resina epóxi, elevando sua capacidade de deformação e estabilidade térmica. A adição de partículas de EVA provocou uma redução na resistência à tração e no alongamento da resina poliéster.

Palavras-chave: Termorrígidos, epóxi, poliéster insaturado, resíduos, EVA, tenacificação.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente consolidado como um dos maiores do Brasil, o Pólo Calçadista do Cariri tem uma enorme contribuição para o desenvolvimento econômico da região, empregando centenas de pessoas. No entanto, o crescimento do setor calçadista na região tem como consequência o aumento da geração de resíduos, especialmente resíduos de EVA (poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)]).

As resinas termorrígidas apresentam importância em variadas aplicações, devido às suas propriedades mecânicas, resistência a solventes, e estabilidade a temperaturas elevadas. Por outro lado, são inerentemente frágeis, apresentando baixa resistência a propagação de trincas(1). É possível um aumento da tenacidade desses materiais por meio da adição de agentes modificadores/tenacificantes, tais como elastômeros ou termoplásticos, que promovem uma maior capacidade de deformação do polímero e aumento da energia de fratura(1,2). A adição de borrachas, tal como copolímero poliacrilonitrila butadieno carboxilado (CTBN) tem se mostrado o método mais eficiente de tenacificar estes sistemas poliméricos(3). Porém, essas borrachas geralmente são importadas e apresentam alto custo.

Este trabalho busca melhorar as propriedades mecânicas de uma resina poliéster insaturada (termorrígida) por meio da reutilização de resíduos da indústria calçadista local. Almeja-se contribuir para a redução de custos relacionados aos métodos de tenacificação de termorrígidos, e concomitantemente, de problemas ambientais decorrentes do descarte de resíduos poliméricos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

2.2 MATRIZ POLIMÉRICA

Epóxi: resina epoxídica DGEBA, com cura a quente, denominada comercialmente por Araldite - MY750BR; agente de cura (endurecedor) anidrido, de nome comercial Aradur - HY2918; acelerador/iniciador imidazole, comercialmente DY062, todos fabricados pela Huntsman Ltda. Utilizou-se a relação (indicada pelo fabricante) de 85% e 2% em massa de endurecedor e acelerador, respectivamente, com base na massa da resina.

Poliéster: resina poliéster insaturada de cura a frio, de nome comercial Resina Poliéster para Laminação, produzida pela empresa Tintas Iquine Ltda; catalisador a base de peróxidos, fabricado pela Royal Química Ltda.

A homogeneização de todos os sistemas poliméricos foi promovida por meio de agitação magnética e o ciclo de cura, realizado de acordo com a indicação das empresas fabricantes das resinas, 2 horas a 80°C e 2 horas a 120°C para epóxi e 24 horas a temperatura ambiente para poliéster.

2.3 REFORÇO

Nos sistemas poliméricos com ambas as matrizes utilizou-se como carga o resíduo de EVA cedido pela empresa IBK, Indústria de Borracha e Calçados Kaiana Ltda - Borracha E. V. A., localizada em Barbalha - Ce.

3 MÉTODOS

3.1 MOAGEM

Uma vez que os resíduos são provenientes de cortes de chapas expandidas de EVA, as amostras necessitaram de uma moagem prévia, realizada em um multiprocessador. Em seguida as partículas foram separadas em diferentes granulometrias, com o auxílio de peneiras (ABNT, n° 20 e n° 40).

3.2 FUNCIONALIZAÇÃO DO EVA

Tentativas de incorporação com a matriz epoxídica, realizadas anteriormente, evidenciaram a necessidade de um tratamento químico de funcionalização, afim de se promover uma boa interação entre a matriz epóxi e as partículas de EVA. Para a incorporação na resina poliéster, as partículas do EVA não necessitaram de tratamento prévio.

O processo de funcionalização do EVA foi realizado em duas etapas: a primeira consistiu na hidrólise do copolímero, e a segunda no tratamento em meio ácido do EVA hidrolisado.

A hidrólise do EVA foi realizada seguindo-se o método de Mansur et al. Após a montagem da aparelhagem própria para um sistema sob refluxo, o copolímero de EVA reagiu com tolueno por 24 horas a 50°C, sob agitação constante. Em seguida, com a temperatura elevada para 70°C, uma solução metanódica de hidróxido de sódio foi adicionada ao sistema. A temperatura foi elevada para 110°C, e o sistema permaneceu reagindo por 3 horas e em seguida teve sua temperatura reduzida para 60°C para a adição de uma solução aquosa de ácido clorídrico (HCl). Após este processo o EVA hidrolisado foi submetido à filtração e secagem a vácuo(4).

O tratamento em meio ácido do EVA hidrolisado foi realizado em um sistema sob refluxo. O EVA hidrolisado reagiu com uma solução aquosa de HCl por 30 minutos a 110°C sob agitação constante. Após o tempo reacional, o material foi secado a vácuo, macerado e peneirado em peneira nº 40 (ABNT). O EVA funcionalizado (hidrolisado e tratado em meio ácido) passará a ser sinalizado por EVA-FMA neste trabalho.

3.3 PREPARO DOS CORPOS-DE-PROVA

Foram produzidos cinco grupos de corpos-de-prova, três com adição de partículas de EVA, para ensaio de tração conforme a Norma ISO 527-2, com dimensões apresentadas na Figura 1. As especificações de cada grupo são apresentadas na Tabela 1.

Figura 1: Dimensões (mm) do corpo-de-prova para ensaio de tração segundo a Norma ISO 527-2.

Fonte: SOBRINHO, et al., 2012.

Tabela 1: Grupos de corpos-de-prova produzidos

Grupo	Matriz	Reforço	Nº da peneira (ABNT)	Porcentagem (%)*
A	Epóxi	-	-	-
B	Epóxi	EVA-FMA	40	2
C	Poliéster	-	-	-
D	Poliéster	EVA	40	1
E	Poliéster	EVA	20	1

* Porcentagem sobre a massa da resina.

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca WDW-300E de 300 kN de capacidade.

Foram realizadas análises térmicas de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA) nos grupos A e B, afim de se verificar a influência da incorporação do EVA-FMA na temperatura de transição vítreas e na resistência térmica da resina epóxi.

As análises de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) foram realizadas com duas corridas de 0 a 250°C, ambas com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, em uma atmosfera inerte de nitrogênio com vazão de 50mL/min. Foi utilizado um calorímetro DSC-60A Plus SHIMADZU.

O equipamento de Análise Termogravimétrica (TGA) utilizado foi o modelo TGA 50 da SHIMADZU. Foi realizada uma corrida de 0 a 500°C com uma taxa de aquecimento de 10°C/min, com uma vazão de hidrogênio de 50 mL/min na amostra e na balança.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três grupos de incorporações apresentaram boa distribuição e boa dispersão das partículas de EVA nas resinas epóxi e poliéster, evidenciando que houve uma boa interação matriz/reforço. Os corpos-de-prova são apresentados na Figura 2.

Figura 2: Corpos de prova confeccionados.

Ensaio mecânico de tração

O ensaio de tração foi realizado com intuito de avaliar a influência da adição do resíduo de EVA promoveu na resistência à tração e alongamento na fratura dos sistemas poliméricos produzidos.

Grupos A e B

A Tabela 2 lista os valores médios de tensão máxima e deslocamento máximo para a resina epóxi pura e com adição do EVA-FMA.

Tabela 2: Propriedades mecânicas médias dos sistemas poliméricos dos grupos A e B.

Sistema	Tensão média (MPa)	Deslocamento do travessão (mm)
A - Resina epóxi pura	53,90476	3,694
B - Resina epóxi + 1% EVA-FMA (n° 40)	45,12821	4,6972

Como observado na Tabela 2, a adição do EVA funcionalizado provocou uma redução na resistência à tração e um aumento no alongamento da resina epóxi. A resistência à tração passou, em média, de 53,90476 MPa na resina pura, para 45,12821 MPa com a adição do EVA-FMA, representando uma redução de aproximadamente 16,28 % na resistência à tração da resina. O alongamento na fratura média passou de 3,694 mm na resina não modificada, para 4,6972 mm na resina com adição do resíduo, um ganho de aproximadamente 27,16 %. Este comportamento foi observado em trabalhos que utilizaram borracha

CTBN(2,3,6,7) e que utilizaram outros agentes modificadores, também visando a tenacificação do sistema polimérico(8,9,10).

O aumento na deformação provocado pela adição do EVA-FMA deve-se à interação entre a resina e as partículas do resíduo, que contribuiu de forma significativa para uma redução na densidade de ligações cruzadas no sistema epoxídico.

Grupos C, D e E

A Tabela 3 lista os valores médios de tensão máxima e deslocamento máximo, para a resina poliéster pura e com adição do EVA com granulometrias distintas.

Tabela 3: Propriedades mecânicas médias dos sistemas poliméricos dos grupos C, D e E.

Sistema	Tensão média (MPa)	Deslocamento do travessão (mm)
C - Resina poliéster pura	40,88726	4,162
D - Resina poliéster + 1% EVA (n° 40)	24,47293	3,177
E - Resina poliéster + 1% EVA (n° 20)	22,34839	2,293

Foi observada uma redução na resistência à tração e no alongamento na fratura da resina poliéster com a adição de partículas de EVA. A tensão média passou de 40,88726 MPa na resina pura (Grupo C), para 24,47293 e 22,34839 MPa para os grupos D e E respectivamente. O alongamento médio na resina pura foi de 4,162 mm, e de 3,177 e 2,293 mm nos grupos D e E respectivamente. Em relação ao grupo C, houve um decréscimo de 40,15 e 45,34 % na tensão média para os grupos D e E respectivamente.

Os testes de tração apontam uma interação negativa entre a resina poliéster e as partículas de EVA, as quais acabaram atuando como pontos de concentração de tensão, reduzindo a resistência mecânica do material. Entretanto a diminuição da granulometria de 20 para 40 (ABNT) proporcionou um aumento de 9,51 % na tensão média e de 38,55 % na deformação do sistema polimérico. Estes resultados apontam para a necessidade de realização de novos testes em função da partículas de EVA.

Análises térmicas

Foram realizadas análises térmicas de Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA) nos grupos A e B.

Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Por meio de análises de Calorimetria Diferencial de Varredura, verificou-se a influência da incorporação de EVA-FMA na Temperatura de Transição Vítrea (Tg) do sistema polimérico. Foram realizadas duas corridas de aquecimento nas amostras. A primeira com o intuito de eliminar o histórico térmico da amostra, a segunda afim de se determinar a Tg do sistema.

A temperatura de transição vítrea ou Tg é um valor médio da faixa de temperatura em que, durante o aquecimento, as cadeias poliméricas da fase amorfa ganhem mobilidade, possibilitando mudanças em sua conformação. Algumas propriedades mudam com a Tg, como o módulo de elasticidade e o coeficiente de expansão, o que altera o comportamento do material polimérico(5).

Observa-se nos gráficos abaixo (Figuras 3 e 4) que a amostra modificada com EVA-FMA apresentou uma redução na Tg em relação à resina pura. A resina pura apresentou uma Tg de aproximadamente 120°C, já a resina modificada apresentou uma Tg de aproximadamente 96°C.

Figura 3: Curvas de DSC para a resina epóxi pura

Figura 4: Curvas de DSC para a resina epóxi modificada com EVA-FMA

SOBRINHO et al. observou o mesmo comportamento, no qual a adição de EVA à resina promoveu uma redução de cerca de 14% na Tg do sistema polimérico. A Tg da resina pura passou de 117,35°C para 99,88°C após a adição de 1,0% de EVA. Tal resultado já era esperado, uma vez que a redução da Tg está associada a adição de um componente mais flexível à resina epóxi(11).

Análise Termogravimétrica (TGA)

A estabilidade térmica dos sistemas poliméricos produzidos com resina epóxi foi verificada por meio de análises termogravimétricas. Nas Figuras 5 e 6 observa-se as curvas obtidas para os sistemas com e sem modificação, respectivamente. A análise das curvas mostra que as temperaturas de degradação foram de 372,98 e 400,85°C para a resina pura e modificada, respectivamente. A adição de EVA-FMA à resina epóxi aumentou a resistência térmica do sistema em 27,87°C (7,47%).

Figura 5: Curvas de TGA para a resina epóxi modificada com EVA-FMA

Figura 6: Curvas de TGA para a resina epóxi modificada com EVA-FMA

Comportamento que também foi descrito por SOBRINHO et al., onde as temperaturas de degradação para os sistemas poliméricos sem e com 0,5 e 1,0 % de EVA foram de 424,94°C, 434,49°C e 442,29°C, respectivamente. Houve também um aumento na temperatura de degradação com aumento do percentual de EVA na resina(11).

4 CONCLUSÕES

O processo de modificação do EVA para incorporação à resina epóxi mostrou-se efetivo, proporcionando um aumento no alongamento e na resistência térmica da resina pura.

A incorporação de EVA-FMA na resina epóxi promoveu a sua tenacificação. O EVA funcionalizado desempenhou de forma correta seu papel como agente de tenacificação da resina, fornecendo-lhe uma maior capacidade de deformação.

A resina poliéster instaura apresenta certa afinidade com o EVA, fato comprovado pela boa dispersão e distribuição das partículas do EVA nos corpos de prova. Tal afinidade não se refletiu de forma positiva na resistência à tração e no alongamento, onde a incorporação do EVA provocou uma redução nas propriedades da resina pura. Entretanto, pode-se observar que a diminuição da granulometria das partículas de EVA incorporadas à resina poliéster provocou um aumento na resistência a tração e no alongamento. Tal resultado evidencia a necessidade de teste futuros com granulometrias mais finas

AGREDECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Cariri (PIBIC - UFCA).

REFERÊNCIAS

- [1] MAY, C. A., editor. Epoxy Resins – Chemistry and Technology. Marcel Dekker, New York, NY, 2 edition, 1988.
- [2] LOWE, A.; KWON, O. H. and MAI, Y. W. Fatigue and fracture behaviour of novel rubber modified epoxy resin. *Polymer*, 37(4):565-572, 1995.
- [3] SOBRINHO, L. L.; CALADO, V. M. A., and BASTIAN, F. L. Effects of rubber addition to an epoxy resin and fiber glass-reinforced composite. *Polymer Composites*, 33(2):295-305, 2012. ISSN 1548-0569. doi: 10.1002/pc.21265.
- [4] MANSUR, C. R. E.; PASSOS, L. B.; ALVARES, D. R. S.; LUCAS, E. F. Modificação Química de Copolímero de Etileno-Coacetato de Vinila (Eva) para ser Testado como Aditivo para Óleo Lubrificante. 2o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- [5] CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. Artiber editora, São Paulo, 2002.
- [6] THOMAS, R., ABRAHAM, J., THOMAS, S. P., "Influence of carboxyl-terminated (butadiene-co-acrylonitrile) loading on the mechanical and thermal properties of cures epoxy blends", *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, v. 42, pp. 2531–2544, (2004).
- [7] PHAM, S., BURCHILL, P. J., "Toughening of vinyl ester resins with modifiedpolybutadienes", *Polymer*, v. 36, n. 17, pp. 3279–3285, (1995).
- [8] CHIKHI, N.; FELLAHI, S.; BAKAR, M. Modification of Epoxy Resin Using Reactive Liquid (ATBN) Rubber. *European Polymer Journal*, v.38, pp. 251-264, (2002).
- [9] OZTURK, A., KAYNAK, C., TINCER, T., "Effects of liquid rubber modifica-tion on the behaviour of epoxy resin", *European Polymer Journal*, v. 37, pp. 2353–2363, (2001).
- [10] PHAM, S., BURCHILL, P. J., "Toughening of vinyl ester resins with modifiedpolybutadienes", *Polymer*, v. 36, n. 17, pp. 3279–3285, (1995).
- [11] SOBRINHO, L. L., Avaliação da Incorporação de Resíduos de EVA em Resina Epóxi, Programa de bolsas de produtividade em pesquisa e estímulo à interiorização - BPI edital - 05/2012 RELATÓRIO FINAL, (2014).

Capítulo 11

Projeto e Construção de um Molde para Fabricação de Compósitos por RTM (Moldagem por Transferência de Resina)

Enilson de Sousa Costa

GlerystonThiago Gomes da Silva

Carlos Cássio de Alcântara

Resumo: O trabalho apresenta o desenvolvimento e fabricação de um molde para produção de cinco corpos de provas através do processo de RTM Light, para ser utilizado no ensaio de tração de compósitos, segundo a norma ASTM D3039/D3039M-14. Para atingir o objetivo e obter os requisitos do projeto foram empregadas ferramentas para auxílio nas etapas de projeto informacional e conceitual, tais como o brainstorming e benchmarking. Os componentes do molde foram avaliados em relação a sua viabilidade, realizando assim, um levantamento dos preços dos componentes para estimar os custos do projeto elaborado. Após alguns ensaios foi detectado a necessidade de realização de alguns ajustes com relação a aplicação da pressão negativa. Constatou-se que o molde fabricado pode ser utilizado para outros tipos de ensaios mecânicos, modificando apenas o molde do tipo de corpo de prova.

Palavras-chave: Molde. Projeto. Compósito. Processo. RTM Light.

1 INTRODUÇÃO

O relato histórico de materiais compósitos tem referências bíblicas, no qual os egípcios utilizavam palha misturada ao barro na confecção de tijolos para as construções. O primeiro casco de barça de material compósito foi criado em 1942, o trançado dos filamentos foi idealizado em 1946 e aplicada a tecnologia de mísseis em 1950. O processamento conhecido por RTM (Moldagem por Transferência de Resina) é uma moderna versão de um antigo método conhecido por “Método Marco” produzido por volta de 1950 por I. Mustak (Marco Chemical), o planador FS-24 Phönix, construído na AkademischFliegergruppe de Stuttgart, em 1957, foi a primeira aeronave fabricada em fibra de vidro.

O RTM é um processo de transferência de resina termofixa para um molde fechado com reforços de fibra de vidro, carbono, aramida ou natural, existindo a capacidade de misturar 2 ou mais materiais distintos permitindo adquirir um novo material com características e propriedades desejadas para uma certa aplicação (CALLISTER, 1999).

O RTM é frequentemente caracterizado por um sistema fechado de média pressão, no qual consiste em moldes macho/fêmea robustos, com controle de temperatura, sendo que a injeção da resina com a carga é realizada em alta pressão com as mantas moldáveis ou pré-formadas incorporadas no molde. O mesmo atua para impressão média de peças e com moldes mais estruturados para suportar a pressão de injeção. A qualidade final e as características do compósito criado são influenciadas pelas condições de processo (HILLER, 2006).

Já o processo de RTM Light é uma evolução no processo de RTM, pois se destaca por usar pressões bem menores de injeção de resina, se nesse processo utiliza-se 4 ou 5 bar, no RTM Light usa-se até 1 bar de pressão. Com essa diferença esse processo ganha ênfase na área de fabricação de compósitos, onde destaca-se pela sua produção flexível e um grande desempenho, por apresentar uma ótima equivalência peso x resistência específica, como também seu custo reduzido com relação a outros processos. A sua utilização dá ênfase na área da aeronáutica, automobilística, destacando-se também a área civil, náutica e aeroespacial.

Esse é um processo de fabricação que precisa de estudos mais abrangentes, assim o desenvolvimento deste trabalho tem como objetivo principal gerar um modelo de molde apto para fabricação de corpos de prova para realização de ensaios em matérias compósitos.

O desenvolvimento do projeto detalhado do molde visa auxiliar os estudos de materiais compósitos produzidos através do processo de moldagem por transferência de resina assistida por vácuo. Com o equipamento será possível obter amostras em compósitos para futuros trabalhos a serem desenvolvidos, que envolvem caracterização mecânica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1, está esquematizado o fluxograma da metodologia de projeto com suas fases principais.

Figura 1: Fluxograma da metodologia de projeto adotada no trabalho

Fonte: Autoria própria.

Através de um conhecimento prévio do processo de RTM Light, foi realizado um benchmarking, permitindo assim apresentar as necessidades principais para o desenvolvimento do projeto do molde. Foi verificado que o molde deveria ter as seguintes características:

- Facilidade de operação: é de extrema importância para o projeto que o equipamento seja de fácil operação;
 - Facilidade de limpeza: a limpeza do equipamento deve ser realizada logo após o processamento e a facilidade de limpeza é um requisito importante ao projeto;
 - Molde leve: o molde projetado deve apresentar um baixo peso, pois não necessita caráter estrutural devido à baixa pressão empregada no processo.
 - Baixo custo: deve ser projetado um equipamento viável para a aplicação.
 - O molde deve ser estanque: o molde deve ser estanque, pois, o processo é com pressão negativa.
- De acordo com as necessidades, os principais requisitos que foram analisados para esse projeto foram:
- Área destinada à instalação: o projeto tem que possuir dimensões suficientes para o local que será instalado;
 - Permeabilidade do reforço: deve permitir o fluxo de resina, evitando assim regiões sem preenchimento de matriz;
 - Peso total do equipamento: o equipamento deve ser o mais leve possível para permitir fácil limpeza e manutenção;
 - Tamanho da cavidade do molde: deve apresentar um tamanho adequado para permitir uma visualização correta do processo;
 - Tempo de preenchimento do molde: o tempo para a realização do processo deve ser suficiente para permitir o preenchimento de todas as áreas do corpo de prova antes do início de cura da resina;
 - Viscosidade da matriz (resina): deve ter baixa viscosidade para permitir impregnação do reforço e enchimento da cavidade entre os moldes.

A técnica do Benchmarking visou verificar o que tinha no mercado sobre moldes para a aplicação idealizada, após uma pesquisa detalhada sobre os pontos positivos e negativos, estes foram comparados e os pontos positivos de cada projeto foi considerado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PROJETO INFORMACIONAL

O projeto informacional do molde no processo de RTM Light foi realizado através do estudo de alguns projetos semelhantes, onde pode se observar nas Figuras 2 e 3.

O projeto de molde RTM desenvolvido por Tambosi (2012) é observado na Figura 2. No projeto do molde inferior é identificado pela cor azul as vedações que são duas. O molde superior está por cima e é fixado no molde inferior, o material usado no molde superior foi de vidro translúcido onde também se encontra o ponto de aplicação do vácuo. Os moldes estão sobre uma mesa de apoio, no molde superior são colocados os reforços posicionados e a resina é injetada no ponto de injeção, através da bomba de vácuo. Entre as duas vedações através da pressão na cavidade ocorre o fechamento do molde.

Figura 2: Molde RTM Light construído no Laboratório de Compósitos do Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC- Campus Joinville.

Fonte: Tambosi (2012).

O equipamento desenvolvido por Lima (2017) observado na figura 3 é composto primeiramente por dois moldes de acrílico com um canal de entrada no molde superior e um canal de saída no molde inferior. A aplicação da resina no interior do molde, é realizada através de um canal do molde superior com auxílio de uma bomba de vácuo no canal do molde inferior.

Figura 3: Molde RTM Light construído no Laboratório de Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - Campus Caraúbas.

Fonte: Lima (2017).

A partir da Tabela 1 é explicado em que quesitos cada equipamento de RTM se sobressaiu, e a partir dos pontos positivos de cada molde analisado foi escolhido a melhor concepção para o presente trabalho.

Tabela 1: Pontos positivos dos equipamentos de RTM analisados.

Figuras (Equipamentos de RTM)	Pontos positivos
Molde RTM Light construído no Laboratório de Compósitos do Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC- Campus Joinville.	Opacidade da placa superior
Molde RTM Light construído no Laboratório de Mecânica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Campus Caraúbas.	Facilidade e praticidade no seu uso e fabricação, baixo custo.

Fonte: Autoria própria.

3.2 PROJETO CONCEITUAL

Nesta etapa foram estudados os requisitos do projeto. Esse estudo tem que ser feito para que se possa aperfeiçoar e desenvolver o projeto de forma adequada para o molde de RTM Light.

De acordo com Abmaco (2009), para garantir um projeto adequado a impregnação do reforço deve ser respeitado de acordo com a uniformidade na espessura, assim a espessura inferior a 2mm, ocorre dificuldade de fluxo e falhas na injeção da matriz. A espessura máxima foi baseada de acordo com o tipo de ensaio.

O tempo de preenchimento da cavidade do molde deve ocorrer num tempo em que a cura da resina não tenha dado início, a resina deve curar após esse tempo. Assim foi realizado uma avaliação das alternativas para concepção do molde, de acordo com a Tabela 2, gerando assim, algumas concepções.

Tabela 2: Avaliação dos modelos para o desenvolvimento do molde.

Sistemas		Possíveis alternativas para cada sistema							
Sistema de fechamento do molde	Dobradiças		Parafusos						
			Porca			Travas			
Sistema de posicionamento da entrada de resina	Molde superior		Molde inferior						
	Central		Periférico						
			canto	intermediária					
Sistema de fluxo de entrada de resina	Cima para baixo		Baixo para cima			inclinado			
Sistema de posicionamento de aplicação do vácuo	Molde inferior			Molde superior					
	Central			Periférico					
				Intermediário			Canto		
Sistema de Cavidade	Plano				Curvado				
Sistema de vedação	Uma		Duas		Várias		Nenhuma		
Sistema de material do molde superior	Tecnil	Vidro	Acrílico		Cerâmico		Aço	Polímero	
Sistema de material do molde inferior	Tecnil	Vidro	Acrílico		Cerâmico		Aço	Polímero	

Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio da tabela 3 a seguir, foi possível gerar alternativas para fabricação do molde.

Tabela 3: Concepções para o molde.

Sistemas	Concepção 1	Concepção 2	Concepção 3
Sistema de fechamento do molde	Dobradiças	Parafusos com travas	Parafusos com porcas
Sistema de posicionamento da entrada de resina	Central da cavidade do molde inferior	Central periférica no molde superior	Molde superior na região periférica intermediária.
Sistema de fluxo de entrada de resina	Direção vertical e no sentido de baixo para cima.	Direção vertical e sentido cima pra baixo	Direção vertical e sentido de cima para baixo
Sistema de posicionamento de aplicação do vácuo	Molde superior, na região periférica no canto.	Região periférica do canto do molde inferior	Região periférica intermediária do molde inferior
Sistema de Cavidade	Plano	Plano	Plano
Sistema de vedação	Duas vedações no molde superior	Uma vedação no molde inferior	Nenhuma vedação
Sistema de material do molde superior	Tecnil	Vidro	Acrílico
Sistema de material do molde inferior	Vidro	Aço	Tecnil

Fonte: Autoria própria.

3.4 PROJETO PRELIMINAR

Para que seja possível a escolha da melhor possibilidade de concepção foi utilizada a ferramenta de benchmarking, gerando desta forma as possibilidades de se analisar qual melhor escolha para o projeto.

Foi analisando na tabela 4 os pontos negativos das opções e aperfeiçoado as que se enquadraram nos requisitos do projeto desenvolvido.

Tabela 4: Pontos negativos das concepções.

Concepção	Pontos negativos
Concepção 1	Fluxo de resina Fechamento dos moldes Material do molde inferior
Concepção 2	Material do molde superior Material do molde inferior
Concepção 3	Nenhuma vedação

Fonte: Autoria própria.

Após análise da tabela 4 acima, foi observado que a possibilidade de concepção 3 obteve o menor número de pontos negativos. É necessário que a o molde não possua porosidade, seja de fácil limpeza, operação simples e tenha tempo apropriado para o preenchimento do molde.

3.5 PROJETO DETALHADO

Através do conhecimento obtido até esta etapa de projeto, o modelo do molde foi desenvolvido em CAD para seu detalhamento. Utilizou-se o software Inventor 2015 Professional versão estudante. Algumas vistas do molde desenvolvido podem ser observadas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Vista do projeto explodido sem o molde para corpo de prova.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4 acima o ponto(3) mostra a placa superior, sua função é se acoplar na parte superior do molde do corpo de prova, o posicionamento dos furos observado em (6) onde são afixados os parafusos para fechamento do molde foram precisos, fazendo assim que o fluido injetado só percorra o caminho entre o molde superior e inferior. O fechamento do molde é realizado através de parafusos e porcas, mostrados em(5), para assim ajustar de acordo com o seu molde do corpo de prova. Em(4) é mostrado as peças de conexões entre a placa superior e mangueira para injeção da resina, como também a conexão da placa inferior com a mangueira da bomba de vácuo.

A Figura 5 mostra o projeto do molde completo, as setas indicam o caminho que o fluido percorre no molde do corpo de prova.

Figura 5: Vista superior do molde completo. Visualização do ponto de injeção de resina, ponto de injeção do vácuo e do molde para ensaio de tração.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 6 é observado o molde interno para fabricação dos corpos de prova nos ensaios de tração segundo a norma ASTM D3039/D3039M-14. O processo de fabricação do molde interno foi realizado por impressão 3D. As dimensões deste molde foram extraídas partindo das dimensões do corpo de prova especificado na norma supracitada, este possui os seguintes valores 25mm x 2,5mm x 250mm (Largura X Espessura X Comprimento). É destacada na figura 6 o trajeto que a resina percorre de um corpo de prova a outro através do detalhamento A.

Figura 6: Molde para o corpo de prova.

Fonte: Autoria própria.

De acordo com as especificações do projeto do molde mostrado na figura 6, se torna necessário a análise dos componentes que são de maior importância para a produção do equipamento. Foi realizado um levantamento de preços dos componentes para saber a viabilidade técnica e econômica do projeto.

Após as informações das quantidades de cada componente foi possível estimar os custos dos materiais para fabricação do protótipo, sendo estimado um valor de aproximadamente 300 reais. Os valores podem ser variáveis dependendo do local e materiais diferentes a serem utilizados.

3.6 PROJETO E CONSTRUÇÃO

O projeto do molde externo foi desenvolvido de modo que se possa fabricar tipos de corpos de prova diferentes, modificando apenas o molde interno. Para a análise da funcionalidade do molde proposto, este trabalho limitou-se a fabricação do molde interno para ensaios de tração. Na figura 7 é possível observar a montagem do molde e os detalhes utilizados no projeto.

Figura 7: Projeto montado.

Fonte: Autoria própria.

A seguir está descrito cada componente indicado na figura 7:

- Molde superior (material acrílico);

- Molde do corpo de prova para ensaio tipo tração (material ABS);
- Molde inferior (material Tecnil /nylon 6).

3.7 TESTES E VALIDAÇÕES

Foi observado um problema no fechamento dos furos, pois como o ensaio é a vácuo, é necessário que os furos que são utilizados para fixação do molde superior no inferior, estejam todos muito bem vedados. Para melhor vedação foi utilizado uma mangueira cilíndrica de 3,5mm.

3.8 TESTE PRELIMINAR DO PROTÓTIPO

Durante os testes iniciais foi verificado que a pressão negativa necessária para que a resina preenchesse o molde ainda não era a correta, pois, no momento da injeção a resina estava apresentando bolhas de ar no interior do molde. Na figura 8 observa-se como foi o resultado de um dos testes iniciais.

Figura 8: Molde pós teste.

Fonte: Autoria própria.

4 CONCLUSÃO

Para o desenvolvimento e escolha da melhor concepção do trabalho, bem como no auxílio para modelagem e posterior fabricação do protótipo foram utilizadas ferramentas de projeto.

Na parte de testes foi observado alguns problemas, pelo fato da pressão negativa não ser suficiente para retirada de todo ar e preenchimento de todo o molde de forma uniforme, sendo necessário mais estudos para o desenvolvimento e aperfeiçoamento do protótipo. O projeto desenvolvido é de grande relevância nos estudos das propriedades mecânicas dos materiais compósitos, através da fabricação dos corpos de prova obtidas a partir do molde RTM Light desenvolvido neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ABMACO. Moldes e modelos: Associação Brasileira de Materiais Compósitos, 2009.
- [2] ASTM D3039/D3039M14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer matrix composite materials, 2014.
- [3] CALLISTER JR., William D. Compósitos. In: William D. Callister Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. Salt Lake City: Wiley, 1999b. p. 358 - 383.d
- [4] HILLER, G. R.; FILLA JR, J. L.; SCHMIDT, T. M.; AMICO, S. C.. Influência das condições de moldagem por transferência de resina (RTM) no comportamento mecânico de compósitos poliméricos. IN: 17º CBECIMat - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- [5] LIMA, Rudson de Souza. DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO DE MATRIZ POLIMÉRICA, FIBRAS DE PIAÇAVA E PET PÓS-CONSUMO. 2017. 83 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- [6] TAMBOSI, Petrus Paulo. Projeto e Construção de um Molde de RTM Light. 2012. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2012.

Capítulo 12

Estudo da influência do tipo de substrato na absorção de filme absorvedor solar a base de cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Ithyara Dheylle Machado de Medeiros

Kelly Cristiane Gomes

Gabriela Oliveira Galvão

Marçal Rosas Florentino Lima Filho

Aline Karla Barbosa da Silva

Raissa Venâncio

Resumo: Superfícies seletivas, ou seja, filmes depositados sobre placas absorvedoras de radiação solar, têm sido utilizadas a fim de aumentar a eficiência dos coletores solares permitindo um máximo de absorção no espectro solar enquanto mantêm um mínimo de emissão no infravermelho. No entanto, o tipo de substrato no qual o filme é depositado pode interferir nessa absorção. Dessa forma, o presente trabalho procurou avaliar a influência do tipo de substrato na absorção de filmes absorvedores solar produzidos a partir da ativação alcalina da Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar (CBC). Desta forma, foram utilizados três tipos de substratos para a obtenção dos conjuntos (filme + substrato) utilizando as mesmas matérias-primas precursoras dos filmes. Nessas amostras foram realizadas análises ópticas e microestruturais para sua caracterização. Concluiu-se que o substrato de vidro foi o que apresentou maiores níveis de absorção com média e pico na ordem de 65% e 90%, respectivamente, ao longo do espectro em análise. Além disto, observou-se que quanto menor a espessura do filme e a aglomeração das cinzas sobre o substrato maior é a absorção.

Palavras-chave: filme absorvedor, substrato, absorção.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e os elevados padrões de vida são demandas complicadas que possuem uma questão em comum: a disponibilidade de um fornecimento correto e confiável de energia (1).

Dessa maneira, a busca por novas fontes de energia tem se dado em função da crescente demanda mundial, da necessidade de romper a dependência com os combustíveis fósseis e do favoritismo por fontes não poluentes.

Assim, a diversificação da matriz energética, contemplando o uso das energias renováveis é uma estratégia de alto valor no cenário de desenvolvimento projetado (2). Dentre essas fontes, destaca-se a energia solar.

A energia do Sol pode ser aproveitada como fonte de calor para aquecimento ou para a produção de eletricidade. Uma das formas de produção de eletricidade a partir da energia do Sol é por meio de coletor solar de placa plana, o qual embora seja usualmente utilizado para aquecimento de água a baixas temperaturas, o emprego de filmes absorvedores seletivos tem proporcionado aumento da eficiência desse equipamento, possibilitando uma temperatura de operação mais elevada na saída do coletor, aumentando assim o horizonte para novas aplicações (3).

De maneira que, para operações em regiões com baixo índice de insolação ou em coletores solares para aplicações termoeletricas, o material absorvedor deve possuir refletividade seletiva, sendo capaz de absorver o máximo da radiação solar incidente e minimizar as perdas térmicas por emissão de radiação infravermelha (4).

Este absorvedor é então chamado superfície seletiva e é geralmente composto por um filme fino aplicado sobre um substrato condutor térmico, podendo ser procedido por uma camada antioxidante ou antidifusiva e sucedido por uma camada antirrefletiva, em contato com o ambiente (5).

Atualmente, os estudos estão voltados para a produção de superfícies seletivas utilizando materiais amigáveis ao meio ambiente, ou seja, aqueles que são produzidos utilizando pequena quantidade de energia, liberando poucos poluentes e gerando menos resíduos, e que ao mesmo tempo apresentam elevada eficiência tecnológica, energética e ambiental (6).

Em função disso, materiais tais como os materiais alcalinamente ativados têm se mostrado uma alternativa para essa utilização, uma vez que possuem a capacidade de ajudar na redução de emissões poluentes, por meio da imobilização de resíduos industriais, e ao mesmo tempo conservar as propriedades termomecânicas. No entanto, a síntese destes materiais está relacionada com mecanismos que variam em função do tipo de precursor empregado, o que pode se mostrar como um empecilho para a ampliação da tecnologia de fabricação.

Porém, nas regiões tropicais da Terra, como é o caso do Estado da Paraíba, há materiais com potencial de utilização para a síntese do polímero inorgânico que ainda não foram avaliados. Assim, faz-se necessários estudos sistemáticos voltados para o reaproveitamento desses resíduos, tais como as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC).

Em função do exposto, o presente trabalho procurou avaliar a influência do tipo de substrato na absorção de filmes absorvedores solar produzidos a partir da CBC e depositados via pintura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento experimental realizado nessa pesquisa está ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Planejamento experimental.

A CBC na sua forma in natura foi submetida a processo de peneiramento, com o objetivo de obter uma granulometria homogênea, tendo sido selecionada a cinza com granulometria de 38 μm , visto sua absorção intrínseca (obtida por análises de espectroscopia de UV-Vis), bem como a facilidade de obtenção. Esta cinza foi submetida a processo de moagem de alta energia, visando a obtenção de partículas mais finas e compatíveis com a aplicação de filmes solar seletivo. A moagem utilizou uma carga bola:massa de 5:1 e rotação de 250 rpm.

Em seguida, a cinza foi submetida a ativação alcalina e posterior deposição via pintura, tendo sido depositado sobre três tipos de substratos (cobre, vidro e aço inoxidável). O conjunto (filme + substrato) foi submetido a avaliações ópticas e microestruturais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESPECTROSCOPIA DE ABSORBÂNCIA NA REGIÃO DO ULTRAVIOLETA-VÍSEL

A região de radiação solar de maior intensidade compreende a faixa de 300 à 850 nm, em função disso, os comportamentos ópticos da CBC.5.250 e dos filmes depositados sobre os substratos foram determinados ao longo desses comprimentos de onda, e podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2. Absortância dos filmes depositados sobre os substratos e da CBC.5.250

Por meio da Figura 2 percebe-se que os filmes obtidos através da síntese do material alcalinamente ativado foi eficaz na elevação dos níveis de absorção, pois mesmo sobre o substrato de aço (que foi aquele que obteve o menor resultado) ela promoveu o aumento dos níveis da média de absorção da matéria-prima precursora (CBC.5.250) na ordem de 13%.

Pode-se observar, ainda que o filme apresenta uma melhor interação com o substrato de cobre, quando comparado com o de aço. Além disso, o filme depositado sobre o substrato de vidro atingiu valores de absorção considerados

aceitáveis, com pico de 90% e média de 65%, uma vez que estão dentro da faixa de absorção dos coletores solares comerciais (7).

3.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Os níveis de absorção, observados na Figura 2, também podem ser associados com a espessura dos filmes depositados sobre os substratos, como pode ser visualizado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3. Espessura do filme depositado sobre o substrato de cobre (a esquerda) e sobre o substrato de aço inoxidável (a direita)

Figura 4. Espessura do filme depositado sobre o substrato de vidro

Nota-se, pelas Figuras 3 e 4 que o filme que obteve o maior nível de absorção também foi aquele que apresentou a menor espessura de filme. Logo, existe uma correspondência entre a absorção do filme e sua espessura como pode ser melhor observado na Tabela 1.

Tabela 1. Média das espessuras e da absorção nos três tipos de substratos

Tipo de Substrato	Média da espessura do filme	Média Absorção ao longo do espectro
Aço Inoxidável	163 μm	20%
Cobre	31 μm	45%
Vidro	2 μm	65%

Por meio da Tabela 1, observa-se que a espessura do filme é inversamente proporcional a média de absorção, relação essa confirmada na literatura (8,9,10).

Além da análise das espessuras, as superfícies dos filmes depositados foram visualizadas, a fim de identificar a aparência do filme de maior absorção e compará-lo com os demais, o que pode ser visualizado na Figura 5 abaixo.

Figura 5. Micrografia da morfologia das superfícies dos filmes depositados sobre os substratos de (a) aço, (b) cobre e (c) vidro.

Percebe-se, pela Figura 5, que pelo fato das micrografias terem sido realizadas na mesma magnitude (500x) pode dizer que as aglomerações entre as cinzas foram maiores sobre o substrato de aço, fato que pode ter provocado dispersão e reflexão da radiação incidente (11,12) provocando os baixos índices de absorção.

4 CONCLUSÕES

Através da espectroscopia de absorbância da região ultravioleta-visível foi possível determinar que dentre os substratos analisados, o de vidro foi o que proporcionou a maior média de absortância (65%) ao longo do espectro em análise.

Enquanto que a visualização das micrografias permitiu observar que a diminuição, tanto da espessura quanto das aglomerações das cinzas sobre a superfície, contribuiu para a elevação da absorção solar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (projeto nº472793/2013-6) e da Capes, bem como aos técnicos e professores do Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM-UFPB) e do Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais (TECNOMAT-UFPB).

REFERÊNCIAS

- [1] HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. Energia e Meio Ambiente. São Paulo: Thomson, 1999.
- [2] VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: Érica, 2012.
- [3] MIHELICIC, M.; FRANCETIC, V.; KOVAC, J.; VUK, A. S.; OREL, B.; KUNIC, R.; PEROS, D. Novel sol-gel based selective coatings: from coil absorber coating to high power coating. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v. 140, p. 232-248, 2015.
- [4] MARTINS, M. Produção de Superfícies Seletivas por Magnetron Sputtering para Aplicação em Coletores Solares. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- [5] GOMES, C. A. S. Estudo Comparativo de Superfícies Seletivas para Coletores Solares. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.
- [6] GOMES, K. C. G. Potencial de Ativação Alcalina de Materiais Residuais Aluminossilicosos no Desenvolvimento de Matrizes Cimentícias. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- [7] KENNEDY, C. E. Review of Mid-to-High Temperature Solar Selective Absorber Materials. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2002.
- [8] KIVAIKI, R. T. Optical properties of selectively absorbing chromium films deposited at oblique angle of incidence. *Solar Energy Materials*, 1981.
- [9] KUMAR, S. K., MURUGESAN, S., SURESH, S., RAJ, S. P. Nanostructured CuO Thin Films Prepared through Sputtering for Solar Selective Absorbers. *Journal of Solar Energy*, 2013.
- [10] NAHAR, N. M.; MO, G. H.; IGNATIEV, A. Development of a Al₂O₃-Co selective absorber for solar collectors; Thin solid films; v. 172; p. 19-25, 1989.
- [11] KRENZINGER, A. Superfícies Seletivas para Conversão Térmica da Energia Solar, Óxido de Cobre sobre Cobre. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1979.
- [12] SADE, W. Produção de Superfícies Seletivas de Ni/NiO para Aplicações em Coletores Solares. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Belo Horizonte, 2011.

Capítulo 13

Estudo da influência da granulometria e fração volumétrica no comportamento térmico e mecânico de compósitos de polipropileno com carbonato de cálcio

Ana Caroline de Souza Couto

Brunna Juliano de Oliveira

Amanda dos Santos Moreira

Resumo: Dentre os diversos compósitos desenvolvidos na atualidade, está o PP/CaCO₃, polipropileno com carbonato de cálcio, o qual foi objeto de estudo neste trabalho. Foram produzidos compósitos com matrizes de PP com partículas de CaCO₃, com diferentes granulometrias, em proporções de 3 a 15%. Foram realizadas análises termogravimétricas, TGA, para avaliar o comportamento térmico dos diferentes compósitos. Ensaio mecânicos foram realizados para avaliar os efeitos de frações volumétricas e dos tamanhos das partículas adicionados à matriz de PP, em propriedades como ductilidade, tensão máxima de resistência e dureza. Para avaliação da adesão do particulado na matriz foram realizadas análises fractográficas em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) após os ensaios destrutivos.

Palavras-chave: Compósito; Polipropileno; Carbonato de Cálcio; Injeção; Termoplástico

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as indústrias vêm enfrentando grandes desafios para sobrevivência e manutenção de seu portfólio, uma vez que o mercado sofre com rapidez mudanças e exige inovações no produto final.

As Indústrias automobilísticas recentemente vêm investindo em tecnologias avançadas para o setor conforme (Carvalho, 2008). Não se trata somente do setor automobilístico, mas na engenharia como um todo, a busca por novas tecnologias e soluções de manufatura vem sendo crescente, como por exemplo a substituição de materiais de alto valor agregado.

A utilização do plástico segundo (Hage Jr, 1997) surge como nova alternativa de produção industrial, com isso aumenta-se as fronteiras da concorrência no setor de manufatura do plástico, que segundo o autor se da pela globalização de mercado nos últimos anos.

Os materiais poliméricos se apresentam como uma solução bastante eficaz para os desafios da engenharia. O polipropileno (PP) segundo (GUEDES, 1987) é um dos “commodities” mais importantes devido a sua versatilidade e custo adequando para consumo em grande escala.

De acordo com (THENEPALLI, 2015) a inserção de cerâmicas no matiz polimérica contribui para melhora de propriedades mecânicas.

As propriedades mecânicas e térmicas da junção de compósitos de polipropileno com carbonato de cálcio de acordo com (EIRAS, 2009) são alteradas dependendo do tamanho das partículas do PP e fração volumétrica.

Em seu trabalho, (EIRAS, 2009) afirmam que a utilização dos compósitos torna-se atrativa em função da possibilidade de se reduzir os teores de enchimentos e ainda assim obter-se um aumento na resistência ao impacto, dentre outras propriedades mecânicas.

Estudos realizados por (EIRAS, 2009) com partículas de CaCO_3 variando o diâmetros entre 70 e 90 nm, mostram que a dispersão das nanopartículas de carbonato de cálcio são responsáveis pela performance mecânica dos nanocompósitos de polipropileno e este é um ponto importante, devido à tendência das nanopartículas se aglomerarem.

Nos ensaios de tração obtidos por (EIRAS, 2009) foi verificado o aumento do módulo de elasticidade e de tensão de ruptura e comprova o reforço efetivo do carbonato de cálcio no polipropileno.

Neste sentido este trabalho visa investigar e verificar o comportamento térmico e mecânico de compósitos de polipropileno com carbonato de cálcio variando a granulometria e fração volumétrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados polipropileno (PP), grade H301 da Braskem, e carbonato de cálcio (CaCO_3) com granulometrias de 400 mesh e 100 mesh, nas frações volumétricas de 3%, 5%, 10%.

Inicialmente foi realizada a moagem do polipropileno utilizando o moinho de facas tipo Wiley, modelo TE-680 da Tecnal. A homogeneização dos materiais foi realizada em uma extrusora de bancada.

Inicialmente foi realizada a moagem do polipropileno utilizando o moinho de facas tipo Wiley, modelo TE-680 da Tecnal. A homogeneização dos materiais foi realizada em uma extrusora de bancada.

A injeção dos corpos de prova foi realizada seguindo as normas ASTM D638, para ensaio de tração utilizando uma injetora modelo SA600 da HAITIAN Plastics Machinery.

Para caracterização térmica dos compósitos foram realizadas as análises termogravimétricas, TGA. Para a realização das análises foram utilizadas amostras de cerca de 3 mg, com os seguintes parâmetros para o ensaio: $15^\circ\text{C}/\text{min}$, iniciado a uma temperatura ambiente (23°C) até que foi atingida uma temperatura de 400°C em uma atmosfera de Nitrogênio com fluxo de gás de $50\text{ ml}/\text{min}$. O ensaio foi realizado no equipamento DTG-60H da marca Shimadzu.

Uma máquina EMIC (Equipamentos e sistemas de ensaio LTDA) modelo DL 500 foi utilizada para o ensaio de tração.

As análises fractográficas das amostras rompidas por tração foram conduzidas em um microscópio eletrônico de varredura da marca JEOL, modelo JSM-IT300, com ampliação de 5 até 300.000X. O MEV ainda conta com instrumento de análise de composição química EDS (Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios) da marca Oxford Instruments e modelo X-Maxn.

Para medir as durezas das amostras utilizou-se um durômetro Shore D da marca Metrotokyo, modelo: MTK-1031, seguindo a norma ASTM D2240.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme o gráfico obtido nas Figuras 1 e 2, observa-se um aumento na tensão máxima de resistência com o aumento da concentração de carbonato de cálcio nas duas granulometrias distintas utilizadas no presente trabalho. Todavia, a amostra que obteve a menor ductilidade foi, justamente, a amostra com a maior concentração de carbonato de cálcio e com a maior granulometria.

Na Figura 1 é apresentado o gráfico das amostras com a malha de 400 mesh com diferentes concentrações de carbonato de cálcio. Conforme o gráfico apresentado, é possível observar indícios de uma diminuição da tenacidade do material com o aumento da concentração de carbonato de cálcio. Este fenômeno ocorre devido à uma má dispersão da carga na matriz provocada pelo aumento da concentração, gerando assim concentração de tensões, que por sua vez levam o material a apresentar um comportamento mais frágil.

Figura 1 – Gráfico tensão x deformação das amostras contendo partículas de 400 mesh

Na Figura 2 é apresentado o gráfico tensão x deformação das amostras com a malha de 1000 mesh. De acordo com o gráfico apresentado, é possível observar um aumento da resistência e uma diminuição da tenacidade do material. Contudo, para as amostras com malha de 1000 mesh e concentração de 10% houve uma melhora na tenacidade em relação ao material de 5%, esta melhora na tenacidade se justifica por uma melhora na adesão da carga na matriz de PP apresentada na Figura 3. Nesta imagem os pontos em vermelho indicam a presença de cálcio, detectado por EDS.

Figura 2 – Gráfico tensão x deformação das amostras contendo partículas de 1000 mesh

Figura 3 – Análise fractográfica por MEV das amostras contendo partículas de 1000 mesh: (A) 3% CaCO₃ ; (B) 5% CaCO₃; (C) 10% CaCO₃.

Observa-se que, em relação às diversas concentrações de carga apresentadas no estudo, a amostra de 10% de carbonato de cálcio obteve uma melhor adesão da carga na matriz de polipropileno. Esta melhora na adesão do material impacta no seu desempenho mecânico, justificando assim a melhora na tenacidade do material com 10% de carbonato de cálcio.

O tamanho de partícula é um ponto importante na análise das propriedades obtidas, o tamanho reduzido das partículas permite maior interação partícula-matriz que conduz ao fortalecimento do compósito.

A Figura 4 apresenta as imagens do MEV das amostras com a malha de 400 mesh. É possível observar que, com o aumento do tamanho da carga em relação ao apresentado anteriormente (Figura 3) há uma piora na adesão da carga na matriz e na dispersão da mesma, resultando em uma piora nas propriedades mecânicas do material, conforme apresentado anteriormente.

Figura 4 – Imagens do MEV das amostras contendo partículas de 400 mesh: (A) 3% CaCO_3 ; (B) 5% CaCO_3 ; (C) 10% CaCO_3 .

Na Figura 5 foi possível verificar que a porcentagem de carbonato de cálcio na matriz de polipropileno influencia na dureza do material. Dentre as concentrações analisadas, a de 10% de CaCO_3 apresentou uma maior dureza Shore D, fato que se justifica pela maior quantidade de reforço para a matriz polimérica. Com relação à granulometria, pode se observar que o menor tamanho de partícula, 1000 mesh, proporcionou valores de dureza ligeiramente maiores, fato este que também pode estar associado à melhor adesão na matriz polimérica.

Figura 5 – Gráfico Dureza Shore D

As curvas obtidas na termogravimetria, TG, das amostras de PP/CaCO₃ nas concentrações de 3, 5 e 10% e nas malhas de 400 mesh e 1000 mesh estão apresentadas na Figura 6 e 7, respectivamente. Analisando as três diferentes porcentagens de CaCO₃ é possível notar que o compósito com concentração de 10% CaCO₃ apresentou maior resistência à degradação se comparada às demais (Figura 6), sendo este efeito maior nas amostras com partículas de 1000 mesh (Figura 7).

Conforme é possível notar nas Figuras 7 e 8, independente da concentração e malha, o processo de degradação do material só ocorreu após os 200°C, isto indica a ausência de umidade e impurezas voláteis nas amostras.

A menor temperatura de início de degradação registrada ocorre com o PP/CaCO₃ sob a concentração de 3% de CaCO₃ na malha de 400 mesh. Além disso, a amostra de 10% CaCO₃, com granulometria de 1000 mesh, apresenta menor perda de massa à 400°C e a maior quantidade de resíduo na temperatura final de análise, 600°C, de 12,48 mg. Em contrapartida, a amostra de 3% CaCO₃, com granulometria de 400 mesh, que apresentou 0,056 mg de resíduo em 600°C, o menor registro dentre todos. Este valores estão coerentes com as frações volumétricas de CaCO₃ nos diferentes compósitos e, indicam que não houve ganho de massa significativo ao final da degradação.

Figura 6 - Curva TG de comparação da malha de 400 mesh com as concentrações de 3, 5 e 10% CaCO₃

Figura 7 - Curva TG de comparação da malha de 1000 mesh com as concentrações de 3, 5 e 10% CaCO₃

4 CONCLUSÕES

O aumento da concentração de carbonato de cálcio, tanto nas granulometrias de 400 mesh, quanto de 1000 mesh, promoveu um aumento na tensão máxima para os diferentes compósitos.

A amostra de 10% de carbonato de cálcio, com a menor granulometria, 1000 mesh, obteve uma melhor adesão da carga na matriz de polipropileno. Esta característica influenciou diretamente suas propriedades mecânicas, como a tensão de resistência e a ductilidade.

Além disso, o PP com 10% de CaCO_3 , com a menor granulometria, 1000 mesh, apresentou uma maior dureza Shore D, fato que também se justifica pela maior quantidade de reforço para a matriz polimérica aliada à melhor adesão proporcionada pelo tamanho fino das partículas.

O processo de degradação em todas as amostras analisadas neste trabalho só ocorreu após os 200°C. A amostra contendo 10% CaCO_3 na malha de 1000 mesh apresentou menor perda de massa à 400°C e a maior quantidade de resíduo na temperatura final de análise, 600°C, de 12,48 mg. Além disso, esta última amostra apresentou maior estabilidade térmica.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo financiamento do projeto de pesquisa TEC-APQ-02258-17 referente ao edital 001/2017 – Demanda Universal e à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, PUC – Minas, pelo financiamento do projeto FIP 2017/946-S2.

REFERENCIAS

- [1] CAETANO, Mario. Resenha Histórica do Uso de Materiais. Disponível em: https://ctborracha.com/?page_id=422. Acesso em 27 de março de 2018.
- [2] CORREA, C. A.; YAMAKAWA, R. S.; HAGE JR. E. Determinação de Temperatura de Transição Dúctil-frágil de Plásticos Através de Testes de Impacto Instrumentado. Janeiro/Março 1999.
- [3] GUEDES, Benedito. O plástico. 2ª edição. São Paulo: Êrica, 1987
- [4] GORNI, Antônio. Introdução aos Plásticos. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/intropol.html>. Acesso em 29 de março de 2018.
- [5] Hage Jr. E. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. Junho de 1998.
- [6] HEMAIS, Carlos. Polímeros e a Indústria Automobilística. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro, Fev, 2003.
- [7] LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica. Rio de Janeiro: e-papers, 2001
- [8] NETO; PARDINI. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, 313p.
- [9] REZENDE, Mirabel. O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Jun, 2000.
- [10] SANTOS, L. J.; NUNES, E. C. D.; SAITO, N. A. Análise das propriedades de compósitos de polipropileno com wollastonita em comparação ao talco. Novembro de 2016
- [11] VENTURA, Ana. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. Ciência & Tecnologia dos Materiais, Jul, 2009.
- [12] TEODORO, T. S. Processos: injeção x extrusão de polímeros. Disponível em <https://betaeq.com.br/index.php/tag/injecao/>. Acesso em 05 de Junho de 2018.
- [13] THENEPALLI, Thriveni et al. A strategy of precipitated calcium carbonate (CaCO_3) fillers for enhancing the mechanical properties of polypropylene polymers. Korean Journal Of Chemical Engineering, [s.l.], v. 32, n. 6, p.1009-1022, 23 maio 2015. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11814-015-0057-3>.

Capítulo 14

Análise das composições dos blocos cerâmicos influentes na eflorescência

Lídia Bruna Teles Gonzaga

Lourena Barbosa Cavalcante Paiva

Jusciane da Costa e Silva

Danielle Dantas Pereira

Resumo: Este trabalho teve como objetivo investigar os fatores que governam o aparecimento do fenômeno da eflorescência e compreender a ação dos sais solúveis em blocos cerâmicos fabricados com argila vermelha, utilizados para elevação de alvenarias, no município de Russa-CE. As eflorescências são patologias indesejáveis causadas por sais solúveis que se cristalizam na superfície do material, afetando a estética da alvenaria e até mesmo a sua estrutura. Com base nisso, foram realizados ensaios, segundo o método 23 adotado pela Embrapa, quantificando através da condutividade elétrica a concentração de sais solúveis presentes nos blocos cerâmicos e nas suas matérias-primas. Os resultados obtidos permitiram identificar que a argila possui uma concentração de sais solúveis maior, comparada com a água de poço utilizada para a fabricação do bloco e o aparecimento de eflorescência está diretamente associado às características do processamento de fabricação e armazenamento dos blocos cerâmicos.

Palavras-Chave: Bloco Cerâmico; Eflorescência; Sais Solúveis.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil no decorrer dos últimos anos progrediu consideravelmente, simultâneo as técnicas e materiais adotados para a execução de uma obra que se aprimoraram. Entretanto, patologias continuam surgindo nas estruturas das construções, uma das principais causas é a eflorescência tanto nos edifícios antigos, como novos, causando problemas estéticos, diminuição das condições de habitabilidade, perda de vestígios históricos ou mesmo redução da segurança estrutural (1)

O bloco cerâmico é utilizado em ampla escala na construção civil. Sendo vulnerável às ações de agentes internos e externos. Os agentes que mais degradam os tijolos são: a umidade, os sais e os esforços mecânicos. Esses sais presentes no bloco podem formar manchas esbranquiçadas, designadas por eflorescências. Os sais são pequenos cristais que se cristalizam e dissolvem com a variação da umidade do ar ou na ascensão capilar da água por via do terreno e dos lençóis freáticos, provocando a degradação dos materiais porosos em contato, tanto perto da costa marítima como nos solos (2).

A eflorescência se caracteriza pelo surgimento de formações salinas sobre algumas superfícies, podendo ter caráter empoeirado ou ter forma de crostas duras e insolúveis em água. Na maioria dos casos, o fenômeno é visível com aspecto desagradável, porém em alguns casos específicos pode ocorrer no interior dos corpos, imediatamente abaixo da superfície (3).

Os depósitos salinos, ou eflorescência, em materiais sólidos feitos de argila vermelha são originados pela cristalização dos sais contidos nas soluções aquosas, cuja saturação foi atingida em consequência da evaporação do solvente. A formação da solução aquosa é realizada no interior da peça cerâmica pelo contato entre a água e sais solúveis presentes no material(4).

Os sais solúveis são os que sofrem o processo de dissolução no qual uma grande quantidade de íons fica na solução, já os sais insolúveis uma pequena quantidade vai para a solução. Nos blocos cerâmicos os sais são dissolvidos pela água e transportados por capilaridade através do material até superfície. Quando a solução atinge a superfície, a água evapora, os sais cristalizam e ficam depositados. Este processo depende da pressão exercida pelos sais, do tipo de sal e do tamanho dos poros. Alguns sais podem ser encontrados em solos adubados ou contaminados industrialmente, como por exemplo: nitrato de sódio, potássio e amônio, que aumentam a solubilização dos sais alcalinos, devendo existir um cuidado com esses tipos de terrenos (5).

A água é o fator primordial para que ocorra a eflorescência, considerada como o agente mobilizador dos sais. Em uma edificação, logo que a umidade relativa aumenta os sais dissolvem-se, quando a umidade relativa baixa os sais cristalizam. No momento em que as formações de depósitos salinos resultam de ciclos de cristalização e de dissolução de acordo com a variação da umidade relativa geram uma deterioração do material em contato (2).

O Nordeste brasileiro apresenta condições favoráveis para grande concentração de sais solúveis no solo, aliado a escassez de água, fazendo com que os produtores utilizem no processo de fabricação de produtos cerâmicos água com grandes concentrações de sais, proveniente de poços, na maioria dos casos. Essas águas tem uma intensificação da salinidade nos períodos de estiagem, quando a concentração de sais solúveis nesses poços pode chegar a uma salinidade superior à água do mar, sendo assim um agravante para que ocorra a eflorescência (4). Dessa forma, podendo causar maior incidência a patologia, atestando a necessidade de verificar as condições que possam influenciar na formação de eflorescência em blocos cerâmicos.

A fim de prevenir a eflorescência (causada principalmente pelos sais) nos blocos cerâmicos, faz-se necessário estudo que revelem as possíveis causas da eflorescência encontrada no bloco cerâmico. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar os fatores que contribuem o aparecimento da eflorescência e compreender a ação dos sais solúveis em blocos cerâmicos fabricados com argila vermelha, provenientes do município de Russa-CE, através de testes de condutividade elétrica.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados são provenientes de 5 fábricas de beneficiamento no Distrito de Flores do município de Russas CE, localizado no Baixo Jaguaribe, onde foram coletados em cada uma as seguintes amostras: argila, blocos cerâmicos com

6 furos (cru e cozido) e água de poços (utilizada para a fabricação do bloco cerâmico), foram coletadas e depois analisadas no laboratório de Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural do Semi-Árido UFRSA.

Os ensaios foram realizados com o auxílio de uma peneira 2 mm, balança de precisão, recipiente plástico, espátula de aço inoxidável, papel alumínio, funil de Buckner, papel filtro, kitasato, bomba de sucção (ou bomba a vácuo), recipiente de alumínio, estufa e condutivímetro de mesa com célula de condutividade e termômetro.

As medidas da condutividade elétrica dos extratos das pastas de saturação foram efetuadas com o auxílio de um condutivímetro, onde foi utilizada a mesma técnica que determina a salinidade do solo, realizando o monitoramento dos sais solúveis presentes nas amostras.

De modo geral, quanto maior for a quantidade de sais solúveis presentes em um material, maior será sua capacidade de eflorescência. O nível de salinidade de um determinado meio pode ser obtido através do método adotado pela Embrapa(6) de verificar a quantidade de sais solúveis no solo, fazendo a medição de cátions e ânions no extrato aquoso, obtido através da pasta de saturação, estimada pela condutividade elétrica do extrato (6).

A condutividade elétrica, também conhecida como condutância específica, é a capacidade de uma solução de conduzir a corrente elétrica. O mecanismo da condução de corrente elétrica em soluções eletrolíticas difere da dos metais. Nos metais a corrente é composta unicamente de elétrons livres, já nos líquidos a condução é feita por íons. A condutividade é proporcional à temperatura, ou seja, a condutividade aumenta com o aumento da temperatura. Para equipamentos que não possuam o sistema de compensação automático de temperatura, a condutividade deve ser determinada a 25 °C, que é a temperatura de referência (7).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 PREPARAÇÃO DO EXTRATO DE SATURAÇÃO

No ensaio para quantificação dos íons presentes nas argilas e blocos cerâmicos, foi utilizado o extrato de saturação, sendo extraído de cada amostra de acordo com o método 23.2 da Embrapa(6), que constitui o procedimento de preparação do extrato aquoso de saturação.

A obtenção do extrato de saturação é concedida através da pasta de saturação, com essa finalidade, o material de cada amostra (argilas e blocos cerâmicos) foi seco e destorroado manualmente, afim que sua granulometria fosse a menor possível. Posteriormente, foram peneirados em uma peneira com malha de 2 mm, para se obter a TFSA (terra fina seca ao ar). Após as amostras serem peneiradas, pesou-se aproximadamente 300 g de cada amostra em uma balança de precisão como mostra a Figura 1(a). Em seguida, adicionou-se água destilada ao material, amassando com uma espátula de aço inoxidável, acrescentando água, pouco a pouco, até a pasta apresentar um aspecto brilhante ou espelhado, deixando em repouso tampado com papel alumínio.

Ao final de 24 horas em repouso, transferiu-se a pasta saturada para um funil de Buckner contendo papel filtro e adaptado a um kitasato de 500 ml, acoplados juntamente a uma bomba a vácuo, como expõe a Figura 1(b). Extraíndo assim, a solução aquosa da amostra.

A solução filtrada da pasta de saturação foi transferida para um recipiente de plástico com tampa. E uma pequena amostra da pasta de saturação, pesada e colocada na estufa, com o intuito de verificar a porcentagem de água presente na pasta.

Figura 1: (a) Balança de precisão com material a ser pesado. (b) Pasta de saturação no funil de Buckner. (c) Verificação da condutividade elétrica no meio aquoso.

Fonte: Autor (2018)

3.2 VERIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NO EXTRATO DE SATURAÇÃO

As medidas da condutividade elétrica dos extratos de saturação foram realizadas com base no método 23.3 da Embrapa(6). Este método é o procedimento realizado para medir a condutividade elétrica, utilizando o extrato de saturação obtido e um condutivímetro de leitura direta. O aparelho foi ligado com antecedência e aferiu-se a leitura do mesmo com uma solução conhecida, KCl 0,001N com condutividade elétrica conhecida de 1,4 dS/m.

Lavou-se a célula de condutividade e termômetro, com água destilada, para não ocorrer contaminação da solução. Logo após, aferiu a condutividade elétrica do extrato de saturação a uma temperatura média de 25°C. A condutividade elétrica das águas de poços foi verificada com leituras diretas, assim como a água utilizada para fazer as pastas de saturação. Na Figura 1(c) pode-se observar como as leituras foram realizadas.

3.3 CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS

No Brasil, a Embrapa(6) adota a metodologia da condutividade elétrica do extrato de saturação para classificar os solos agrícolas. É uma metodologia rápida e prática, a fim de avaliar o teor de sais nos solos que pode ser adaptada para estimar

o teor de sais solúveis nos corpos cerâmicos (4). Utilizamos esta metodologia para classificar amostras de argilas e materiais cerâmicos. A equação a seguir (A), proposta por Menezes (2006) (4), para converter os valores das condutividades elétricas dos extratos de saturação em porcentagem de sais totais na amostra.

$$\%SAIS = \frac{CE \cdot 640 \cdot \frac{22}{10^3 \cdot 10^3}}{(A)}$$

Onde:

CE: condutividade elétrica;

PS: porcentagem de água utilizada na pasta de saturação

Os resultados obtidos nos testes de quantificação da condutividade elétrica efetivados com 20 amostras (misturas de argila, tijolos cru e cozido e águas de poço), segundo a metodologia proposta nesse trabalho e os mesmos serão discutidos de acordo com algumas literaturas. Todas as medidas das amostras foram à temperatura de aproximadamente 25° C.

A Tabela 1 apresenta a condutividade elétrica (CE) e a concentração de sais solúveis presentes nas argilas de 5 fábricas de beneficiamento (Cerâmicas). Pode-se observar que a amostra de argila da cerâmica A possui uma condutividade elétrica cerca de 7 vezes maior que a Cerâmica B, sendo a cerâmica com a

menor CE. A Cerâmica A, também, apresentou maior concentração de sais solúveis. Dado o exposto, pode-se afirmar que a Cerâmica A terá grande influência da sua composição argilosa, no surgimento de eflorescência.

Tabela 1- Condutividade elétrica (CE) e concentração dos sais solúveis nas misturas de argilas (massa cerâmica).

Cerâmicas	CE (dS/m)	% Sais
A	10,250	0,2910
B	1,4015	0,0330
C	2,1550	0,0473
D	1,5590	0,0302
E	1,6170	0,0401

Fonte: Autor (2014)

A Tabela 2 é referente aos tijolos crus (mistura de argilas moldadas) depois da fase de secagem, nela são apresentados os dados obtidos no teste de condutividade elétrica e a concentração dos sais solúveis presentes nas amostras provenientes de 5 fábricas de beneficiamento. Observa-se que a amostra da Cerâmica A apresentou maior CE, comparada com a Cerâmica B que possui a menor CE, dos tijolos crus.

Tabela 2- Condutividade elétrica (CE) e concentração dos sais solúveis nos tijolos crus.

Cerâmicas	CE (dS/m)	% Sais
A	3,095	0,0935
B	1,242	0,0315
C	1,937	0,0447
D	1,826	0,0420
E	1,872	0,0635

Fonte: Autor (2014)

As amostras de argilas das Cerâmicas D e E da Tabela 1 quando comparadas com a Tabela 2, apresentou uma maior condutividade elétrica, e consequentemente uma maior concentração de sais, que pode ter sido causado pela atmosfera de secagem ou pela água de poço utilizada na moldagem. Além disso, a forma de armazenamento pode originar novos sais na superfície. Entretanto, as amostras das cerâmicas A, B e C apresentaram uma diminuição na condutividade elétrica no processo de secagem. Porém, na cerâmica C não houve diminuição na sua concentração de sais, assim como ocorreu nas cerâmicas A e B, isso ocorre devido os dados da concentração de sais serem obtida através da porcentagem de água de saturação, (veremos na Tabela 4 que a água do poço da Cerâmica C possui alta salinidade) podendo a água, utilizada para fazer a pasta de saturação ter sido em quantidade maior que o necessário, em virtude disso, influenciado a concentração dos sais.

Podemos observar que quando o tijolo é queimado a sua CE diminui, como é mostrado na Tabela 3. Quando comparados com os resultados obtidos na Tabela 2, nota-se que a CE diminui em média 66%, tornando-se favorável, pelo fato de que quanto menor for a CE, menor será a tendência do material à eflorescência. Assim como no tijolo cru (Tabela 2), a condutividade elétrica do bloco cerâmico é maior na amostra proveniente da Cerâmica A. Se comparada com a menor CE dos blocos cerâmicos consolidados, a Cerâmica A é quase 54% maior que a menor CE, no caso a Cerâmica E. Apesar disso, a Cerâmica A não possui a maior concentração de sais, como era esperado. Essa divergência pode ter sido causada pela

quantidade de água utilizada para a obtenção da pasta de saturação, pois para se obter a porcentagem de sais faz-se uso da porcentagem de água utilizada para saturar o material.

Tabela 3 - Condutividade elétrica e concentração dos sais solúveis nos tijolos queimados.

CERÂMICA	CE (dS/m)	% Sais
A	0,7928	0,0070
B	0,5373	0,0080
C	0,5879	0,0071
D	0,7437	0,0090
E	0,5125	0,0050

Fonte: Autor (2014)

A salinidade da água de amassamento influi no teor de sais solúveis dos corpos cerâmicos e na sua tendência eflorescente (4). Essas águas são predominantes de poços, em consequência da escassez de água na região, podem apresentar altas concentrações de sais, intensificando na época de estiagem. Com isso, houve a necessidade de fazer uma análise da condutividade elétrica dessas águas de poços usadas no processo de fabricação dos blocos cerâmicos.

A Tabela 4 apresentamos a CE das águas de poços utilizadas no processo de fabricação das 5 fábricas de beneficiamento. Analisando esta tabela podemos observar que a água de poço da Cerâmica C apresenta a maior CE quando comparada com as outras.

Tabela 4- Condutividade elétrica (CE) das águas dos poços utilizados no processo cerâmico.

CERÂMICA	A	B	C	D	E
CE (Ds/m)	0,6802	0,5653	1,1240	0,3388	0,761

Fonte: Autor (2014)

De acordo com a COGERH (Companhia de gestão dos recursos hídricos do Ceará), a condutividade elétrica entre 0,75 e 2,25 dS/m considera-se a água com alta salinidade, entre 0,25 e 0,75 dS/m é considerada a água com média salinidade. A bacia do Baixo Jaguaribe, região do presente estudo, apresenta em média a CE de 0,81dS/m e uma concentração de cloretos de 208,9 mg/L, caracterizada pela presença de águas com alta salinidade. Dessa forma, como a salinidade da água é alta, é provável que isso influencie significativamente na formação de eflorescências, pois quanto maior for a salinidade presente no bloco cerâmico, maior será sua tendência de eflorescência.

Acredita-se que a alta salinidade das águas do baixo Jaguaribe pode ser proveniente dos sedimentos gerados pela rocha calcária, assim como os sais presentes nas argilas aluvionais. O calcário é considerado da rocha o mais susceptível a gerar sais que irão eflorescer por conter carbonato de cálcio. Isso é possível, ao analisar a influência da bacia hidrográfica de origem das argilas, observa-se que o ambiente aluvionar no baixo curso do rio Jaguaribe é formado pelo embasamento cristalino e pelas rochas do Grupo Apodi (Arenito Açú e Calcário Jandaíra), que apresentam erosão fluvial (8).

A partir dos resultados obtidos, mostrados nas tabelas (1-4), foi feita médias das condutividades elétricas das amostras e com isso obtidos os seguintes dados: para a massa cerâmica a CE de 3,397 dS/m, para os tijolos cru a CE de 2,014 dS/m, para os tijolos cozidos a CE de 0,645 dS/m, para as águas de poço a CE foi de 0,577 dS/m. Então, podemos concluir que a massa cerâmica apresenta uma maior condutividade elétrica, contendo uma grande concentração de sais solúveis comparada com as outras fases do processo. O que faz dela o maior agravante para que ocorra a eflorescência, pois só há eflorescência se existir sais solúveis o suficiente para eflorescer. A origem desse elevado teor de sais solúveis presentes na massa cerâmica, pode ser proveniente das chuvas que lavam o solo, levando os sais presentes nele para o interior de rios ou jazidas, associado à demanda evaporativa da água uma característica marcante do Semi-árido.

Depois do processo de queima, os blocos cerâmicos analisados apresentaram significativa diminuição na sua condutividade elétrica, consequentemente uma diminuição na concentração dos sais solúveis, isso ocorre devido às peças serem submetidas a elevadas temperaturas na queima, havendo alteração na microestrutura do material. Quando se tem uma maior temperatura de queima a microestrutura apresenta capilares de menor diâmetro, poros não interconectados, uma menor absorção de água, e uma maior quantidade de sais insolubilizados, seja por estarem em sua fase vítrea ou por terem reagidos com outros constituintes do material cerâmico, formando compostos não solúveis em água, impossibilitando que a água leve uma grande quantidade de sais para a superfície do bloco(4). Devido a isso, os blocos cerâmicos consolidados apresentaram menor concentração de sais comparados com a fase de moldagem, mas isso não significa que eles não têm tendência à eflorescência.

Analisando os dados obtidos para todas as amostras, observa-se que não existe uma correlação exatamente definida entre as matérias primas (argila e água de amassamento) e a quantidade de sais presentes nos materiais cerâmicos, isso ocorre devido o processo de fabricação e o armazenamento influenciarem nos sais solúveis, não podendo essas fases ser quantificadas através do método adotado nesse trabalho. Verifica-se, também, que os sais estão presentes nas matérias-primas e em todas as fases do processo de fabricação, sendo inviável a sua produção livre de sais. Dessa forma, quando esses materiais são empregados na construção civil torna-se praticamente impossível anular a tendência de eflorescência na alvenaria, se houver uma concentração de sais solúveis que permita a eflorescência. A maneira mais acessível de evitar o surgimento da eflorescência na alvenaria é impedir que esses materiais tivessem contato com a água.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração os aspectos levantados pelos resultados obtidos neste trabalho, podemos determinar qual o material mais influencia na concentração dos sais nos blocos cerâmicos. Em virtude do que foi mencionado, é possível aferir as seguintes conclusões:

Matérias-primas com elevadas concentrações de sais formam blocos cerâmicos com considerável tendência a eflorescência. Levando-se em conta o que foi observado nos resultados, podemos concluir que a massa cerâmica é o maior agravante para que ocorra a eflorescência, pois só há eflorescência se existir sais solúveis o suficiente para eflorescer. De fato, a massa cerâmica apresentou uma maior condutividade elétrica e consequentemente uma elevada concentração de sais solúveis comparada com as outras fases do processo.

Não há uma correlação bem definida entre as concentrações de sais solúveis nos materiais de origem do bloco cerâmico (água de amassamento e argila) e a concentração de sais no bloco cerâmico, pois não são apenas esses materiais de origem que influenciam na concentração de sais, o ambiente de secagem pode, também, induzir se houver uma contaminação no ar.

A salinidade da água de amassamento influi na concentração de sais solúveis dos blocos cerâmicos. Se houver uma maior concentração de sais nessas águas, aumentará a tendência de eflorescer do bloco, agravando quando a quantidade de água para amassamento for maior que o necessário.

O aparecimento de eflorescência nos blocos cerâmicos é essencialmente associado às características do processamento de fabricação e armazenamento, ou seja, a exposição das argilas e o seu manuseio pode influenciar, assim como, o modo de empilhamento na fase de secagem pode originar novos sais na superfície dos blocos cerâmicos.

REFERÊNCIAS

- [1] PUIM, Pedro Garoupa Albergaria de Chaves. Controlo e reparação de anomalias devidas à presença de sais solúveis em edifícios antigos. 83 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Civil, LNEC e IST, Lisboa. 2010. Disponível < http://www.lnec.pt/organizacao/dm/nbpc/pdfs/dissertacao_Pedro_Puim.pdf > Acesso em: 15 jan. 2014.
- [2] PINTO, Tiago Rafael Oliveira Moura. EFEITO DAS SOLUÇÕES AQUOSAS SALINAS NOS PROCESSOS DE EMBEBIÇÃO E CINÉTICA DE SECAGEM DE MATERIAIS POROSOS. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.
- [3] ROSCOE, Márcia Taveira. PATOLOGIAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO DE

- [4] FACHADA. 2008. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- [5] MENEZES, R. R. et al. Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção revisão. Revista Cerâmica, v. 52, p. 37-49.2006.
- [6] BAUER, L. A. F. Materiais de construção. Rio de Janeiro: LTC, 2001.v. 2
- [7] EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo, Parte 2 Análises químicas. 1997.
- [8] BRAGA, E.C.A. Físico-Química. Apostila de Aulas Práticas. USP Ribeirão Preto. 2008.
- [9] DNPM_ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Projeto organização e formalização das atividades de extração de argila no BaixoJaguaribeCeará. 125f. Fortaleza, 2013.Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=3156>> Acesso em: 19 jan. 2014.

Capítulo 15

Estudo da interferência da adição de RCD de cerâmica vermelha como agregado miúdo nas propriedades mecânicas do concreto

Rodrigo Andraus Bispo

André Luís Gamino

Resumo: O alto consumo de agregados naturais e a crescente exploração de recursos minerais resultam do aumento da demanda do setor construtivo. Assim faz-se necessária a utilização de agregados de origem reciclável como alternativa sustentável aos impactos da extração e do descarte inadequado dos rejeitos. Este trabalho teve por objetivo buscar métodos de reciclagem de RCD de cerâmica vermelha e sua adição gradual, em forma de agregado miúdo no intervalo granulométrico de areia média, em traços de concreto controle. A curva granulométrica do agregado reciclado apontou para uma amostragem bem graduada, com critério de aproveitamento de 50,32% do particulado ensaiado. A adição gradual deste material selecionado aos dois traços controle seguiu a proporção de 5% e 10% da massa de cimento utilizada nos respectivos traços. A caracterização mecânica se deu por meio de avaliações estatísticas, apontando para melhores resultados frente ao aumento da classe de resistência do concreto.

Palavras-chaves: Resíduo de Construção e Demolição, Cerâmica Vermelha, Reciclagem, Agregado.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, voltou-se a atenção à interferência humana sobre o meio ambiente, como em crescentes práticas inadequadas de exploração dos recursos naturais sem a preocupação com o dano causado e o descarte de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) impactando negativamente em diversos ecossistemas (1,2).

Dentre os materiais mais explorados para utilização na construção civil estão os agregados. Agregados miúdos naturais com aplicações em concreto referem-se basicamente a areia e os graúdos a cascalhos e britas (3). O diâmetro dos grãos do agregado aponta ao grupo granulométrico a que ele pertence, podendo variar entre 0,05mm e 7,6cm (4). A substituição destes por agregados recicláveis de RCD ganha força nos dias de hoje (5,6,7).

O tipo de construção e os materiais nela empregados interferem diretamente na composição dos RCD. O tipo de agregado utilizado em um concreto com adição de RCD influi em seu comportamento mecânico, podendo piorar suas propriedades mecânicas ou aumentar a resistência à abrasão (8).

Tendo em vista esta diversidade, métodos de separação prévia na reciclagem são indispensáveis, um dos mais usuais leva em conta uma distinção visual em três grupos, concreto, argamassa e materiais cerâmicos a fim de produzir melhores agregados (9). Podem ainda ser classificados de forma ampla em apenas dois grupos de acordo com sua cor, onde os materiais cimentícios, de cor cinza, são separados dos materiais de cerâmica vermelha (10).

Os materiais cerâmicos tem argila como matéria-prima, esta adquire características de plasticidade enquanto úmida e rígida quando seca. Os processos de moldagem, secagem e posterior cozedura de misturas contendo argila são essenciais para a formação do produto final (11). As especificidades e características destes produtos variam conforme sua origem e aplicação (7). Materiais cerâmicos para cobertura, alvenaria e canalizações são denominados de cerâmica vermelha (11).

Os resíduos de cerâmica vermelha representam cerca de 30% do total de RCD produzidos, isso se deve a uma parcela que não atinge os padrões de qualidade do processo produtivo e outra que se quebra antes mesmo da comercialização (7). É sabido que a desagregação de matéria cerâmica pode ser consequência de agentes físicos externos, agentes químicos internos e agentes mecânicos (11). Sendo este tipo de material mais poroso na forma de agregado reciclado em relação aos agregados naturais (6).

Esta porosidade diz respeito à densidade (massa específica) (6,9). A eficiência do concreto com agregados graúdos de RCD para a utilização estrutural é prejudicada quão maior for a porosidade dos agregados que o compõe. Observa-se neste caso, aumento nos valores de absorção de água (6). O agregado miúdo de cerâmica vermelha apresenta 10,69% de absorção de água ao passo que o agregado graúdo apresenta 15,62% de absorção. Por este motivo a utilização do resíduo de construção e demolição é mais viável quando empregado como agregado miúdo ao concreto (12).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta de RCD para utilização como matéria prima se deu na cidade de Araçatuba-SP por meio de doações de material residual de construções e demolições. Para este material bruto foi reservado um local de armazenamento no Laboratório Multidisciplinar de Engenharia do Centro Universitário Católico Salesiano Auxíliun Campus Araçatuba-SP.

O processo de coleta se deu nos meses de Setembro, Outubro, Novembro e Dezembro de 2017, para que a maior quantidade possível de material fosse arrecadada para início das atividades laboratoriais. O entulho foi coletado em diversos bairros da cidade, buscando uma maior variabilidade de material residual, uma vez que o tipo de edificação influi no tipo de RCD.

A partir de tal coleta e armazenamento, deu-se início à etapa de seleção prévia do RCD tendo em vista que apenas seria aproveitado o resíduo de cerâmica vermelha que compreende materiais tais como telhas e blocos cerâmicos.

Com isto, todo material foi padronizado quanto à tipagem: Resíduo de Construção e Demolição de Cerâmica Vermelha, no entanto ainda foi realizada a distinção granulométrica a fim de utilizar o produto da reciclagem como agregado miúdo (13). Para isso a britagem do material foi necessária, como previsto, pois os resíduos compunham as mais diversas formas e tamanhos.

A britagem foi realizada de forma mecânica com o auxílio de um reciclador de entulho modelo Queixada 200, N: 282, FAB: 02/2014 da marca VEGEDRY, cedido pela construtora Ferreira Engenharia, localizado no canteiro de obras do edifício comercial New York Tower, Av. Brasília nº 2121 Araçatuba-SP.

O processo de britagem resultou em poucas perdas de material, tanto no transporte quanto na limpeza da máquina, com isto se obteve uma quantidade total de 97,32 kg de resíduo de cerâmica vermelha britado. As características do material britado se aproximam às da areia, no entanto, como esperado, apresentam desconformidade granulométrica (Figura 1).

Figura 1. RCD de cerâmica vermelha proveniente da britagem mecânica.

Todo o material britado passou por secagem em estufa. Em seguida foi realizado o ensaio granulométrico do material (14,15). Foram utilizadas dez peneiras com seus valores de abertura das malhas em milímetros (Tabela 1). A vibração do conjunto de peneiras se deu com o auxílio da mesa vibratória da marca ENGTEST 220 Volts e o tempo do ensaio foi de 60(sessenta) segundos para cada amostra de 1(um) quilograma. O material retido em cada peneira foi pesado com o auxílio de uma balança de precisão da marca: Marte Científica e Instrumentação Industrial, Modelo: AD 5000.

Tabela 1. Conjunto de peneiras utilizadas no ensaio granulométrico das amostras de RCD de cerâmica vermelha britado.

Peneiras	ABNT/ASTM	Abertura (mm)	Tara (g)
1	8	2,36	358,2
2	16	1,18	396,4
3	20	0,85	407,6
4	30	0,6	341,5
5	40	0,425	368,6
6	50	0,3	337,6
7	70	0,212	349
8	100	0,15	346,7
9	140	0,106	312,3
10	200	0,075	340,2
fundo	-	-	319,5

Todo o resíduo coletado passou pelo processo de britagem e peneiramento acima especificados a fim de se traçar a curva granulométrica da amostra estudada. O peneiramento contou, a partir de então, com apenas duas peneiras. A primeira delas, a de número 16, logo abaixo a 50 e por fim o fundo do jogo de peneiras (figura 2). Com este procedimento obteve-se três grupos de resíduos, (Tabela 2).

Figura 2. Conjunto de peneiras para granulometria de todo o RCD britado.

Tabela 2. Característica e critérios de aproveitamento dos grupos encontrados após o peneiramento.

Grupo de Resíduos	Características dos Grupos	Critérios de Aproveitamento	Diâmetro dos Grãos (mm)
1	Retidos na peneira 16	Segunda Britagem	$d > 1,2$
2	Retidos na peneira 50	Aproveitamento Imediato	$1,2 > d > 0,3$
3	Depositados no fundo	Descarte	$d < 0,3$

Fez-se necessário uma segunda britagem para maior aproveitamento dos resíduos de granulometria elevada. Este procedimento foi repetido até que o material retido na peneira 16 fosse de massa desprezível ao experimento.

Foram calculados então, os traços controle para o experimento através do método INT de dosagem (16). Suas resistências calculadas foram de 20 MPa e 30 MPa (Tabela 3) após 28 dias (fc28) (17).

Tabela 3. Traços de concreto controle.

20 MPa				30 MPa			
cimento	água	areia	brita	cimento	água	areia	brita
1	0,5450366	1,7035822	2,8865369	1	0,4250271	1,1799502	2,1793022

Com os traços calculados, deu-se início a etapa de cálculo do consumo do aditivo de RCD de cerâmica vermelha, que depende do consumo em massa de cimento empregado em cada traço (Tabela 4.)

Tabela 4. Consumo de cimento e de RCD de cerâmica vermelha.

20 MPa		30 MPa	
Consumo de cimento (kg/m ³)	385,41	Consumo de cimento (kg/m ³)	497,48
Consumo de cimento (kg/amostra)	6,17	Consumo de cimento (kg/amostra)	7,96
5% RCD (kg/amostra)	0,3085	5% RCD (kg/amostra)	0,398
10% RCD (kg/amostra)	0,617	10% RCD (kg/amostra)	0,796

Com a adoção dos dois grupos controle e da estipulação da quantidade de resíduos acrescida em cada um dos traços iniciais, deu-se início ao processo de modelagem dos corpos de prova cilíndricos (CP's) com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (18,19).

Posterior a este se deu a realização dos ensaios de compressão axial (20) e diametral (21). A cada amostra foram utilizados dois CP's para calibração da máquina de compressão e os dez seguintes foram ensaiados e seus resultados passaram por análise estatística.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos procedimentos empregados no beneficiamento do RCD coletado, puderam ser estudadas características como o diâmetro dos grãos (tabela 5.).

Tabela 5. Deposição de RCD de Cerâmica Vermelha nas peneiras granulométricas.

Peneira	Abertura (mm)	ABNT/ASTM	Massa Retida (Kg)	(%) Retida	(%) Acumulada	(%) Passante
1	2,36	8	0,043	27,04	27,04	72,96
2	1,18	16	0,035	22,01	49,05	50,95
3	0,85	20	0,014	8,81	57,86	42,14
4	0,6	30	0,01	6,29	64,15	35,85
5	0,425	40	0,011	6,92	71,07	28,93
6	0,3	50	0,01	6,29	77,36	22,64
7	0,212	70	0,006	3,77	81,13	18,87
8	0,15	100	0,008	5,03	86,16	13,84
9	0,106	140	0,006	3,77	89,93	10,07
10	0,075	200	0,004	2,52	92,45	7,55
FUNDO	-	-	0,012	7,55	100	-
-	-	-	0,159	100	-	-

Gráfico 1. Curva Granulométrica da amostra de RCD de Cerâmica Vermelha.

A curva granulométrica amostral permitiu classificar o resíduo britado como bem graduado, o que indica que contém quantidades bem distribuídas ao longo de todas as faixas granulométricas contidas no ensaio.

O intervalo granulométrico que será aproveitado é o $1,2 > d > 0,3$ milímetros, intervalo de areia média, com isto foram somadas as (%) retidas nas peneiras 3, 4, 5 e 6 (Tabela 5.) totalizando 28,31% de material imediatamente aproveitado, os que continham diâmetro dos grãos menores foram descartados do estudo e os com diâmetro dos grãos maiores foram novamente britados, secos e peneirados a fim de que parte desta fração atingisse o diâmetro desejado, resultando em um aumento no aproveitamento de 22,01% após a terceira britagem, atingindo 50,32% de todo RCD de Cerâmica Vermelha no intervalo granulométrico de areia média.

Todos os CP's modelados foram ensaiados à compressão axial e diametral aos 28 dias de idade (f_{c28}).

Todas as amostras ensaiadas atenderam às exigências normativas (20) quanto ao máximo valor de desvio padrão (Se), bem como o coeficiente de variação (cve), enquadrando-se no Nível 1 (excelente) da tabela B.2 da respectiva norma.

A análise dos resultados permite perceber que a adição de RCD de cerâmica vermelha aumentou, em alguns corpos de prova, a resistência à compressão e à tração, no entanto estes são casos pontuais que não qualificam a amostra, uma vez que as resistências médias alcançadas para cada grupo amostral indicam para uma perda de resistência expressa na tabela 6 e no gráfico 2.

Tabela 6. Percentuais de resistência à compressão e tração em f_{c28} dos corpos de prova aditivados com RCD de cerâmica vermelha em relação aos traços controle.

Traços ensaiados	Compressão		Tração	
	fcm	(%)	fcm	(%)
20 MPa controle	20,54	100	2,21	100
20 MPa aditivado com 5% de RCD	19,5	94,94	1,95	88,23
20 MPa aditivado com 10% de RCD	18,96	92,31	1,62	73,3
30 MPa controle	30,64	100	3,59	100
30 MPa aditivado com 5% de RCD	30,35	99,05	3,26	90,81
30 MPa aditivado com 10% de RCD	29,59	97,56	2,81	78,27

Gráfico 2. Relação entre resistência média à compressão e tração em relação ao grau de adição de RCD de cerâmica vermelha nos traços ensaiados.

Os corpos de prova ensaiados apresentaram ao longo de sua estrutura, características que configuram sua origem reciclada, é possível visualizar o tipo de agregado utilizado quando amostras fragmentadas oriundas dos ensaios destrutivos são submetidas às lentes de lupa microscópica binocular (figura 3).

Figura 3. (A) Controle 20 MPa (B) 5% de RCD 20 MPa (C) 10% de RCD 20 MPa (D) Controle 30 MPa (E) 5% de RCD 30 MPa (F) 10% de RCD 30 MPa.

4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir com esta pesquisa que a reciclagem e reaproveitamento de descartes de construção civil se apresentam como possibilidade viável frente à prática desenfreada de consumo e exploração dos meios naturais, acarretando em uma redução nos impactos ambientais. Com isto, é possível explorar um campo vasto e com alto potencial gerador de matéria prima sustentável. O presente trabalho demonstrou um grau de reciclagem superior a 50% de todo o material de cerâmica vermelha coletado. Os concretos com adição de RCD de cerâmica vermelha apresentaram menor trabalhabilidade devido a inclusão do agregado reciclado seco à mistura. O comportamento mecânico quanto à compressão apresentou diminuição da capacidade de suportar cargas, já na tração a diminuição dos índices são menos acentuadas. Em ambos os ensaios notou-se que quanto maior for a classe de resistência do concreto, menor será a influência do acréscimo do agregado de origem reciclável na resistência.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao PIBIC – Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do UniSALESIANO.

REFERÊNCIAS

- [1] FARIAS, I. P. Resíduos sólidos na construção civil: a realidade nos canteiros de obra na cidade de Teresina, Dissertação de Mestrado apresentada ante o Curso de Pós-Graduação em Geografia – Área de Concentração em Organização do Espaço, para obtenção do Título de Mestre em Geografia, Rio Claro, 2010.
- [2] BISPO, R. A.; VIEIRA, R. H. M.; VIEIRA E. T. M.; NEGREIROS, N. F. Influência da utilização de resíduos de construção civil ao meio ambiente. CO – 70971. IV CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UCDB, Campo Grande – MS, 2017. Anais ISSN 2594-7311 Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2017, p. 139-146. Disponível em: <http://anais.saberesemacao.ucdb.br/edicoes/2017/meio-ambiente-e-sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.
- [3] FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de Construção, Copyright, 5ed., 1v, p.63-4, Rio de Janeiro, 2015.
- [4] PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos, Oficina de Textos, 3ed., p. 21-7, São Paulo, 2006.
- [5] DAMINELLI, B. L. Estudo de métodos para caracterização de propriedades físicas de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados, Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de título de Doutor em Engenharia, São Paulo, 2007.
- [6] MOREIRA, L. H. H. Avaliação da influência de origem e do tratamento dos agregados reciclados de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto estrutural, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de Título de Mestre em Engenharia, São Paulo, 2010.
- [7] CABRAL, A. E. B. Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição de RCD, Tese apresentada à escola de engenharia de São Carlos como parte de requisitos para obtenção de título em doutor em ciência da engenharia ambiental, São Carlos, 2007.
- [8] MIGUEL, B.; JORGE, B.; JORGE, P.; LUÍS, E. Mechanical performance of concrete made with aggregates from construction and demolition wastw recycling plants, Journal of Cleaner Production (99) p. 59-74, 2015.
- [9] ANGULO, S. C.; CARRIJO, P. M.; FIGUEIREDO, A. D.; CHAVES, A. P.; JOHN, V. M. On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete – Materials and Structures, vol 43, p. 519-528, 2010.
- [10] ULSEN, C.; KANH, H.; ÂNGULO, S. C.; JOHN, V. M. Composição química de agregados mistos de resíduos de construção e demolição do estado de São Paulo, REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 63(2): p. 339-346, 2010.
- [11] FALCÃO BAUER, L. A. Materiais de Construção, Copyright, 5ed., 2v, p.326-27, 531, 540, Rio de Janeiro, 2015.
- [12] CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D.; RASIAH, S. R. Determinação da influência do tipo de agregado reciclado de resíduo de construção e demolição sobre o módulo de deformação de concretos produzidos com agregados reciclados. IBRACON. v. 1, p. 171-192, 2008.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM ISO 2395: Peneira de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário. Rio de Janeiro, 1997.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro 2003.
- [16] TARTUCE, R. Dosagem Experimental do Concreto. 1. ed. São Paulo: Pini: IBRACON, 1989. 25-7p.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014 Versão Corrigida: 2014.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [21] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

Capítulo 16

Telha ecológica fabricada com resina poliéster e fibra de vidro reforçada com fibras de licuri

Rúi Carlos de Sousa Mota

Bárbara Jane Martins Borges

Elba Gomes dos Santos Leal

Esly César Marinho da Silva

Resumo: Este trabalho tem por finalidade analisar e comparar a viabilidade técnica da fabricação e utilização da telha produzida com resina poliéster e fibra de vidro reforçados com fibras da casca de licuri (*Syagrus Coronata*) fragmentado, com a telha de fibrocimento tradicional a base de amianto (TFC). Estas telhas foram produzidas manualmente em uma forma de zinco. As fibras são aplicadas com medidas proporcionais ao peso total da resina. Quando a telha agrega a proporção de 5% de fibra de licuri, deve agregar também a proporção de 500 gramas de resina polimérica e três camadas de fibras de vidro. Os ensaios de compressão, flexão em três pontos e absorção de água foram executados no laboratório de tecnologias sociais do IFBA-Simões Filho com o objetivo de conhecer e comprovar a eficiência do reforço proposto a fim de, a partir dos resultados obtidos, estabelecer qual das alternativas possui melhor viabilidade técnica. O processo de secagem da telha produzida com resina e fibra de vidro reforçada com a fibra do licuri (TRFL) leva aproximadamente 24 horas, pois esse tempo pode variar de acordo com as condições climáticas do local da secagem. A compensação da fabricação do produto proposto neste artigo engloba os campos da qualidade mecânica, ambiental, financeiro e de saúde pública.

Palavras-Chave: Amianto. Ecologia. Fibra. Licuri. Telha.

1 INTRODUÇÃO

As telhas de fibrocimento estão entre as mais utilizadas, sobretudo na cobertura de edificações comerciais, industriais, rurais e de moradias populares. Isto se deve especialmente ao baixo custo e ao fato de apresentar como diferencial a possibilidade de vencer grandes vãos sem o uso de apoio intermediário, sendo leves e resistentes. (PRADO FILHO, 2014).

A história do fibrocimento começa com o uso do mineral amianto na idade antiga, quando gregos, romanos e outras civilizações reforçavam os objetos de argila e cerâmica, com a intenção de torná-los mais duráveis e resistentes. A origem da palavra amianto é derivada da palavra grega “asbesto” que significa “indestrutível”. (PRADO FILHO, 2014).

No século XVII, o uso do amianto começou a ser difundido em escala comercial. Em 1895 com a descoberta do fibrocimento (mistura de cimento, amianto e água) pelo austríaco Ludwig Hatschek, a produção em escala industrial das telhas de fibrocimento firmou-se no mercado e assim surgiu a empresa Eternit, criada pelo próprio austríaco, que em 1901 obteve a patente de sua invenção. Nas décadas posteriores diversos empreendedores obtiveram a licença para iniciar a produção do fibrocimento. (PRADO FILHO, 2014).

Eis a característica deste material:

No fibrocimento, cerca de 90% da mistura é cimento e menos de 10% é amianto, que tem a função de sustentação. Nesta mistura as fibras ficam perfeitamente incrustadas na massa que dificilmente se desprendem. Anualmente, cerca de dois milhões de toneladas de amianto são consumidas no mundo, usada principalmente na composição do fibrocimento, utilizado na construção civil. (PRADO FILHO, 2014).

Em meio a todas essas vantagens, a Organização Mundial de Saúde (OMS) incluiu, há algum tempo, o amianto no grupo principal de substâncias cancerígenas. Estima-se que no mundo existam cerca de 125 milhões de pessoas expostas ao material e por ano aproximadamente 107 mil pessoas morrem devido à exposição ao amianto. (FERREIRA, 2017).

Além do câncer a exposição ao amianto pode ocasionar também outra enfermidade chamada asbestose, que ocorre quando o organismo produz um ácido para tentar dissolver as fibras do amianto, gerando então uma lesão pulmonar que pode ser fatal. Nesse caso, a doença pode levar de 10 a 20 anos para se manifestar. Essa substância está também ligada a outros tipos de cânceres, como os da laringe, pulmão, ovário, rim e do trato gastrointestinal. (FERREIRA, 2017).

Ainda citando sobre as enfermidades causadas pelo amianto e a situação atual do nosso país a respeito disso:

Uma das principais doenças relacionadas ao amianto é o mesotelioma, um tipo de câncer que ocorre na membrana que cobre o pulmão, e costuma ser bastante agressivo, matando em menos de um ano. Os danos podem demorar entre 20 e 50 anos para acontecer. Estudo feito pela Fiocruz, mostra que entre 1980 e 2010 foram 3,7 mil mortes por mesotelioma no país. O Brasil é atualmente o terceiro maior produtor e segundo maior exportador de amianto do mundo. (FERREIRA, 2017).

A fim de contribuir com a diminuição dos casos citados que são provocados pelo amianto e valorizar materiais ecológicos no campo científico, um grupo de pesquisa do IFBA Campus Simões Filho propôs a fabricação de telhas de fibroresina sem a utilização do amianto, tendo como base o estudo dos Materiais Compósitos. Sobre estes materiais, Askeland e Phulé (2011, p. 525) cita:

São produzidos quando dois ou mais materiais (ou fases) são utilizados juntos para resultar em uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas de outra maneira. Materiais compósitos podem ser selecionados para resultar em combinações incomuns de rigidez, resistência mecânica, peso, desempenho em altas temperaturas, resistência à corrosão, dureza ou condutividade.

A respeito da fabricação dos compósitos, Ashby e Jones, (2007 p.285) mencionam que “A indústria de compósitos é nova, ela cresceu rapidamente nos últimos 30 anos com o desenvolvimento de compósitos fibrosos: começando pelos polímeros reforçados com fibra de vidro”. Além da utilização da fibra de vidro na fabricação da telha de fibroresina, proposto neste artigo, é usada a fibra do licuri (*Syagrus coronata*),

uma palmeira que se desenvolve em uma área que vai desde o sul de Pernambuco até o norte de Minas Gerais, abrangendo toda a área oriental e central da Bahia, ocupando também os estados de Sergipe e Alagoas. (NOBLICK, 1986 apud LEÃO, 2009) sendo seus frutos ricos em cálcio, magnésio, cobre e zinco.

O licuri é uma das principais palmeiras da região semiárida do nordeste do Brasil, de onde é nativo. Os municípios de Caldeirão Grande e Mairi no semiárido baiano, distantes 400 km de Salvador, destacam-se pela produção artesanal do licuri, ou seja, não existem fazendas de licurizeiros, o que existe são palmeiras que nasceram e se reproduziram pela caatinga ao longo dos anos, quer seja pela ação das fezes de animais ruminantes, quer seja pela disseminação através da ararinha azul de Lear (Mota, 2017). Trata-se de uma planta reconhecida na composição da caatinga que mede de 8 a 11 metros, tendo folhas com mais ou menos 3 metros de comprimento, pinadas de pecíolo longo com bainha invaginante, folíolos de coloração verde-escura que estão arrançados em vários planos (LORENZI, 1992 apud LEÃO, 2009).

Os pesquisadores do campus Simões Filho selecionaram esta fibra pelas suas qualidades mecânicas, pelo fato dele ser abundante na região e por ampliar a cadeia produtiva, possibilitando assim agregar renda ao pequeno produtor rural e ao agricultor familiar.

2 METODOLOGIA

Para realização desse trabalho, foi-se utilizados os seguintes materiais e equipamentos: Resina polimérica epóxi; Catalisador de MEK; Fibra de vidro 450 gramas; Fibra curta do endocarpo de Licuri; Cera desmoldante; Molde de zinco; Pincel; Rolo removedor de bolhas; Peneira 600 micro.

De posse desses materiais, deve-se inicialmente preparar a fibra do endocarpo de licuri em um moinho de facas para dividir em pequenos pedaços e, na sequência, peneirar a fim de obter uma uniformidade nos comprimentos da fibra. Em seguida pesa-se a quantidade necessária de cada material e inicia-se a produção da telha.

De princípio deve-se passar a cera desmoldante no molde de zinco para que facilite a remoção no final do processo, depois é colocado uma camada de fibra de vidro, sendo untada com o pincel pela mistura da resina e catalisador passando o rolo onde necessário para retirar as bolhas de ar. Em seguida adiciona a fibra de licuri utilizando uma peneira 600 micro para que seja realizada uma distribuição homogênea por toda a extensão do molde. Esse processo é sucessivamente repetido a fim de formar quatro camadas com esses materiais. Para finalizar, o produto é submetido a secagem ao ar livre.

Após a fabricação e o processo de secagem das telhas realizam-se cortes na TRFL com uma serra fita e é feito o acabamento lateral para a confecção de seis corpos de prova nas dimensões de 170x75x4mm para serem submetidas a teste de flexão em três pontos (ASTM – D 790-90) a fim de comprovar as suas propriedades mecânicas em uma máquina de tração universal (Time Group WDW-20E). Assim como, o teste de absorção de água que consistiu em pesar as duas amostras secas de cada material (TRFL e TFC) e deixar por um período de quatro horas debaixo de uma torneira com água corrente na sua superfície. Feito isso, o material foi recolhido e novamente medido o seu peso, verificando assim pela diferença dos valores iniciais e finais, o índice de absorção de cada material.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os seis corpos de prova da telha produzida com resina poliéster e fibra de vidro reforçado com fibras de licuri (TRFL) e a telha de fibrocimento (TFC) foram submetidas a teste de flexão em três pontos e seus resultados foram analisados a fim de gerar uma comparação entre as mesmas. Depois de computados as suas respectivas resultâncias, foram descartados os corpos de prova que apresentaram o maior e o menor resultado, gerando assim tabelas e gráficos correspondentes aos quatro corpos de prova restantes de cada material. Os resultados obtidos nesta pesquisa, referente aos quatro corpos de prova da telha de fibrocimento está registrado na “Tabela 1” e “Gráfico 1”. Já os resultados da telha de fibroresina está registrado na “Tabela 2” e “Gráfico 2”, logo abaixo, respectivamente.

Tabela 1. Resultado do ensaio de flexão em três pontos na telha de fibrocimento. IFBA, 2018.

Amostra	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Carga máxima (kN)	Tensão de Resistência (MPa)	Deformação máxima (%)	Material
Amostra 1	4	80	70	0,064	0,20	2,959	Fibrocimento
Amostra 2	4	80	70	0,068	0,21	2,965	Fibrocimento
Amostra 3	4	80	70	0,072	0,22	2,104	Fibrocimento
Amostra 4	4	80	70	0,076	0,24	1,776	Fibrocimento

(mm) = Milímetro; (kN) = kilo Newton; (MPa) = Megapascal.

Gráfico 1. Resultado do ensaio de flexão em três pontos na telha de fibrocimento. IFBA, 2018.

Tabela 2. Resultado do ensaio de flexão em três pontos na telha de fibra de vidro reforçada com fibra de licuri. IFBA, 2018.

Amostra	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Carga máxima (kN)	Tensão de Resistência (MPa)	Deformação máxima (%)	Material
Amostra 1	4	80	70	0,268	0,67	7,846	Fibra de vidro e licuri
Amostra 2	4	80	70	0,392	0,98	7,858	Fibra de vidro e licuri
Amostra 3	4	80	70	0,396	0,99	12,268	Fibra de vidro e licuri
Amostra 4	4	80	70	0,4	1	8,614	Fibra de vidro e licuri

(mm) = Milímetro; (kN) = Kilo Newton; (MPa) = Megapascal.

Gráfico 2. Resultado do ensaio de flexão em três pontos na telha de fibra de vidro e fibra de licuri. IFBA, 2018.

De posse dos resultados constatou-se que a telha produzida com resina poliéster e fibra de vidro, reforçada com fibras da casca de licuri superou a telha de fibrocimento nas suas qualidades mecânicas. A tensão de resistência, medida em megapascal, foi maior em todas as amostras. Outra qualidade significativa é que a TRFL apresentou uma variação de resultados das suas amostras apenas, aproximadamente três vezes maior que a telha de fibrocimento (TFC). Isso se dá pelo fato desta ser produzida industrialmente, o que facilita a uniformidade em toda área do produto. Ou seja, de acordo com os resultados obtidos pudemos perceber que mesmo com a produção manual da TRFL conseguimos atingir uma pequena margem de variação em toda área da telha. Ademais, o resultado do teste de absorção de água constatou que a TRFL não houve encharque, diferentemente da TFC.

Em relação aos custos, fizemos um levantamento de preços médios atuais de mercado para efeitos comparativos entre os dois produtos estudados. Encontram-se no mercado atual as telhas de fibrocimento nas dimensões 244x100cm com o preço em aproximadamente R\$25,00 reais, já as telhas produzidas com fibra de vidro reforçada com fibras de licuri ficam com o custo em torno de R\$50,00 reais. A princípio podem parecer valores discrepantes, porém a durabilidade e a confiabilidade no produto proposto são compensatórias.

Ulteriormente a todas as análises realizadas, produzimos uma tabela “Tabela 3” com a média dos resultados das amostras referente ao teste de flexão e ao teste de absorção de água em ambas as telhas para facilitar a visualização comparativa entre os dois produtos estudados. Em seguida estão às fotos correspondentes as etapas produtivas da telha de fibra de vidro reforçada com fibra de licuri.

Tabela 3. Média dos resultados do ensaio de flexão em três pontos da telha de fibrocimento e da telha de fibra de vidro, reforçada com fibras de licuri. IFBA, 2018.

Média das Amostras	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Carga máxima (kN)	Tensão de Resistência (MPa)	Deformação máxima (%)	Absorção de água (g)
Amostra fibrocimento	4	80	70	0,012	0,04	1,183	6,11
Amostra fibra de vidro e licuri	4	80	70	0,132	0,33	4,422	0,14

(mm) = Milímetro; (kN) = Kilo Newton; (MPa) = Megapascal; (g) = Gramas.

Figura 1 - Molde de zinco

Figura 2. Fibra de vidro untada com resina

Figura 3. Adição da fibra de licuri

Figura 4. Cura da telha

Figura 5. Produto final

Figura 6. Teste de flexão TRFL

Figura 7. Teste de flexão TFC

Figura 8. Teste de absorção TFC

Figura 9. Teste de absorção TRFL

4 CONCLUSÃO

A fabricação e a utilização da telha produzida com resina poliéster e fibra de vidro, reforçado com fibras da casca de licuri (TRFL) torna-se mais viável que a telha convencional de fibrocimento (TFC), tanto em relação as suas qualidades mecânicas, ambiental, como também de saúde pública. Isso foi concluído a partir da análise e comparação dos testes realizados em ambas, a TRFL superou a TFC em praticamente todas as suas propriedades mecânicas. A sua tensão de resistência foi maior em 100% das amostras, o seu nível de absorção de água foi significativamente menor, cumprindo perfeitamente o seu papel de resistir a

forças externas, além de possuir boa permeabilidade e um excelente custo benefício, oferecendo assim uma alternativa viável e de boa qualidade para fabricação e utilização de telhas que não trazem riscos para a saúde. Vale ressaltar que a TRFL é elaborada através de uma produção limpa, é constituída de materiais bastante resistentes, além de ampliar a cadeia produtiva do licuri que é a base de sustento de mais de 50 mil famílias (BRASIL, 2005), possibilitando assim agregar renda ao pequeno produtor rural e ao agricultor familiar. Essas características são insumos que produzem grandes possibilidades de atrair financiadores e fabricantes desse tipo de material a fim de substituir o uso do fibrocimento que é a base de amianto, produto este que está obsoleto no mercado atual.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao nosso Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Simões Filho que viabilizou a elaboração deste projeto, disponibilizando os seus laboratórios equipados. Por fim, agradecemos também a todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta durante a construção deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] ASHBY, Michael F; JONES, David R. H. Engenharia de materiais: uma introdução a propriedades, aplicações e projeto. Tradução de Arlete Simille Marques. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. v. 2.
- [2] ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep P. Ciência e engenharia dos materiais. Tradução Vertice Translate e All Tasks. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. Compósitos 1: materiais, processos, aplicações, desempenho e tendências. São Paulo, 2009. 623 p.
- [4] _____. Compósitos 2: Tecnologia de processos. São Paulo, 2009. 355 p.
- [5] _____. Compósitos 3: Mercado. São Paulo, 2009. 133 p.
- [6] ASTM D790:1990. Standard test methods: flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken: ASTM, 1990.
- [7] BERTOLINO, Cíntia. A joia do semiárido baiano. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/noticias/geral,a-joia-do-semiarido-baiano,3330>. Acesso em: 23 set. 2018.
- [8] BRASIL. Ministério da Educação. A Bahia descobre o licuri. Cadernos temáticos, Brasília, Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, n. 6, nov. 2005, p. 10-13.
- [9] FERREIRA, Cíntia. Amianto: cancerígeno presente em metade das casas brasileiras. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/viver/saude-e-bem-estar/5758-amianto-cancerigeno-casas-brasileiras>. Acesso em 23 set. 2018.
- [10] GARCIO, A.; SPIM, J.A.; SANTOS, C.A. Ensaio dos materiais. Rio de Janeiro: S.A, 247 p. 1 v.
- [11] LEVY NETO, Flaminio. Ciência e Tecnologia: compósitos estruturais. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- [12] MOTA, Rúi Carlos de Sousa. Aproveitamento do exocarpo do licuri particulado para produção de um compósito utilizando como matriz um poliéster ortoftálico, 2017.
- [13] PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. As normas técnicas para as telhas de fibrocimento. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/08/as-normas-tecnicas-para-as-telhas-de-fibrocimento/>. Acesso 23 set. 2018.

Capítulo 17

Estudo das características do tijolo ecológico com adição de resíduo de gesso

Wendel Melo Prudêncio de Araújo

Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana

Ataídes Oliveira Galvão Júnior

Mark Anderson Moreira e Silva

Renan Maycon Mendes Gomes

Resumo: O tijolo de solo-cimento se apresenta como uma ótima alternativa por apresentar inúmeras vantagens em seu emprego na alvenaria e por permitir uma incorporação dos mais variados resíduos. O objetivo deste estudo é analisar o tijolo solo-cimento, com uma adição de resíduos de gesso em sua composição. Foram feitas análises quanto à granulometria, plasticidade e liquidez do solo. Definiram-se três traços dos tijolos, sendo um, o traço padrão do tijolo solo-cimento, e outros dois traços com adição de resíduo de gesso em sua composição. Os resultados obtidos em relação à absorção de água ficaram dentro da norma, já de compressão simples apresentou valores insatisfatórios. A utilização de resíduo de gesso na produção de tijolo ecológico, com esse tipo de solo, não é apresentado como viável com a apresentação destes resultados.

Palavras-chave: Resíduos de gesso. Tijolo Solo-Cimento. Resistência à compressão. Absorção de água.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil causa inúmeros impactos ao meio ambiente ao longo de toda sua cadeia produtiva, desde a ocupação de terras e extração de matéria-prima até a construção e utilização de edifícios, recursos naturais são explorados e resíduos são gerados afetando o ar, o clima, o lençol freático, o solo, a paisagem, a fauna, a flora, e prejudicando o habitat humano (MESQUITA, 2014).

É cada vez mais comum na construção civil, a busca e o emprego de novas alternativas ecologicamente corretas e sustentáveis, um exemplo disso é tijolo solo-cimento, também denominado, tijolo ecológico, que é uma das opções para minimizar os custos das edificações populares e que utiliza apenas secagem natural, sendo regada com água por alguns dias até atingir as propriedades desejadas, como afirmado por Torgal e Jalali (2009).

Diante deste contexto a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos sólidos como os da construção civil tem sido de grande importância. Uma vez que contribuem para a redução no consumo de recursos naturais não renováveis, quando substituídos por resíduos recicláveis (JOHN, 2001). O tijolo de solo-cimento se apresenta como uma ótima alternativa por apresentar inúmeras vantagens em seu emprego na alvenaria e por permitir ainda, facilidades para a incorporação dos mais variados resíduos.

A utilização do gesso na construção civil tem tido crescimento significativo ao longo do tempo, pois se trata de um material que apresenta propriedades que permitem várias formas de aplicabilidade, como forro, revestimento, placas e até blocos de gesso. Consequentemente, com o aumento do uso, aumenta-se a geração de resíduos, exigindo assim, uma maior atenção a esse tipo de resíduo. (PINHEIRO, 2011).

A Resolução 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA classificava os resíduos do gesso como Classe C, resíduos sem tecnologia ou inviável economicamente para reciclagem, foi atualizada pela 431/2011, passando o gesso para Classe B, que o coloca como um material reciclável.

Nesse contexto, o resíduo de gesso gerado pela construção civil merece destaque, pois quando o gesso é descartado incorretamente e em lugares impróprios, pode contaminar o solo e lençol freático, além de gerar o gás sulfídrico, que é inflamável, podendo provocar irritação nos olhos e dores de cabeça, e apresenta um forte odor desagradável (SCHIERI, 2015).

Este trabalho visa avaliar o tijolo solo-cimento fabricado na Associação dos oleiros do Poty Velho, de Teresina – PI, em relação a sua resistência à compressão simples e absorção de água, e se a adição de resíduos de gesso em sua produção, pode ser uma alternativa viável, aumentando sua resistência e diminuindo a absorção de água, reaproveitando assim esse tipo de resíduos de construção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 COLETA DAS AMOSTRAS

O solo utilizado foi o proveniente da jazida de solo da região Monte Verde, situada na cidade de Teresina – PI, como ilustra a Figura 1, sendo comumente chamado de 'barro amarelo'.

Figura 1 - Região de Monte Verde Teresina, Jazida de Solo.

Fonte: Autor, 2018.

2.2 CIMENTO

O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP II-Z-32, por ser o mais utilizado na produção dos tijolos solo-cimento no local e possuir propriedades satisfatória. Suas propriedades atendem desde argamassas de assentamento e revestimento até estruturas de concreto armado.

2.3 ÁGUA

A água utilizada foi a fornecida nas dependências da própria de tijolos solo-cimento, proveniente do Rio Parnaíba.

2.4 GESSO

O resíduo de gesso utilizado na fabricação dos tijolos ecológicos foi obtido em uma obra de uma residência na cidade de Teresina. Esse resíduo era composto por sobras de placas de forro de gesso e de revestimento, como mostra a Figura 2. Desta forma, para a utilização desejada neste trabalho, esse resíduo foi previamente separado manualmente na obra, depois houve o peneiramento deste resíduo afim de obter granulometria mais homogênea. A peneira utilizada foi a mesma para o solo e o cimento.

Figura 2 - Resíduos de gesso coletado.

Fonte: Autor, 2018.

2.5 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

O traço utilizado nesta Olaria de Teresina varia de 8 a 10 partes de solo para 1 de cimento. Em busca de melhores resultados, foi adotado a proporção 8:1, visto que se torna um tijolo mais coeso. A partir disto, foi adicionado o resíduo de gesso em mais dois tipos de traços, conforme o Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de baldes dos componentes para cada traço.

Traço	Solo	Cimento	Resíduo de gesso
Traço I	8	1	-
Traço II	8	1	1
Traço III	8	1	2

Fonte: Autor, 2018.

Para cada balde de componente da mistura (solo, cimento e gesso), como mostra a Figura 3, foi pesado cada balde com suas respectivas massas, com auxílio de uma balança digital e encontradas as médias descritas na Tabela 2.

Figura 3 - Resíduo de gesso moído e solo.

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 2. Média das massas de cada componente para a quantidade de 1 balde.

MATERIAIS	QUANTIDADE (KG)
Massa de solo	14,09
Massa de cimento	12,17
Massa de resíduo de gesso	9,44

Fonte: Autor, 2018.

Foram produzidos um total de 60 tijolos ecológicos, 20 tijolos para cada tipo de traço. Do total, 42 foram submetidos ao teste de compressão e os outros 18 ao teste de absorção de água. Do lote de 10 tijolos produzidos, 7 deverão ser utilizados para o ensaio de compressão simples e os outros 3 restantes para o ensaio de absorção de água.

2.6 PRENSAGEM DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Misturou-se o solo, o cimento, o resíduo de gesso e água e depois colocou-se na prensa hidráulica, conforme a Figura 4. Os tijolos produzidos tiveram o tamanho padrão de 250x125x75 mm, de acordo com a forma que é produzida nessa Olaria, ilustrados na Figura 5.

Figura 4 - Mistura dos componentes e prensa hidráulica.

Fonte: Autor, 2018.

Figura 5 - Tijolo Solo-Cimento (250x125x75 mm).

Fonte: Autor, 2018.

2.7 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Na caracterização do solo quanto a granulometria utilizou-se como base a ABNT NBR 10833:2012, e os teste de liquidez e plasticidade foram realizados de acordo com a DNER-ME 122/94 para limite de liquidez e a DNER-ME 082/94 para limite de plasticidade.

Primeiramente, houve secagem da amostra de solo coletado da região Monte Verde, depois teve a pesagem de 1000 gramas da amostra, que foi submetida à passagem das peneiras de 4,75 mm (Nº 4) e 75 µm (Nº 200).

Para o teste de liquidez, pesou-se uma amostra de 70 gramas e inseriu 15 milímetros de água com um auxílio de uma seringa, depois com o uso da palha de Casagrande contou-se o número de golpes. Para o teste de plasticidade, se utiliza a placa esmerilhada, porém, o material se esfarelou antes de ser colocado na placa.

2.8 ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Os testes de compressão dos corpos de prova foram feitos de acordo com a ABNT 8492:2012. De acordo com ela, do lote de 10 tijolos, foram retirados 7 que foram submetidos ao ensaio.

Para este ensaio, os tijolos devem ser divididos no meio em relação a sua maior dimensão e ligados por uma pasta de cimento, conforme a figura 6.

Figura 6 - Corpos de prova para teste de compressão.

Fonte: Autor, 2018.

Depois de divididos, as duas partes foram ligadas por uma camada fina de pasta de cimento Portland CII Z-3. Os corpos foram colocados em repouso por 12 horas para o endurecimento, e em seguida foram imersos em um tanque de água por 6 horas. Retirou-se os tijolos do tanque e com um pano foi retirado o excesso de água na superfície, em seguida foram colocados na máquina de compressão, onde se obteve os valores de força de compressão em Tonelada – força (Tnf), assim, calculou – se o valor da resistência em Mpa, dividindo a força de compressão pela área do tijolo dividido.

2.9 TESTE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o teste de absorção de água, utilizou-se os 3 tijolos restante de cada lote de 10 tijolos. Os tijolos foram secos em uma estufa com temperatura de 105 C°, depois pesou-se a massa de cada tijolo. Em seguida, imergiu-se os corpos de prova em um tanque com água durante 24 horas, depois foram retirados, deixado em repouso e tirado o excesso de água com um pano e finalmente realizou-se a medição das massas do corpo saturado. Com os valores da massa do tijolo seco e saturado, calculou-se o valor da taxa de absorção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 GRANULOMETRIA DO SOLO

Na determinação da granulometria do solo, teve-se como resultado um solo arenoso. Ao passar a amostra de 1000g pela peneira de 4,75 mm (Nº4), todo o material passou, já na peneira 75 µm (Nº200) apenas 26,19 gramas passaram. Logo, para esse tipo de solo, existe a necessidade de correção, pois somente 2,62% do solo passou pela peneira 75 µm (Nº200), e de acordo com a norma, o solo deve compor cerca de 15% a 35% desse material. Não se foi feita a correção pois o estudo visa avaliar o tijolo que é produzido nesta Olaria, independente se for o solo adequado ou não.

3.2 ENSAIO DE PLASTICIDADE E LIQUIDEZ

Para o teste de Liquidez o material saturou com o mínimo de água que a norma exige (15 ml de água), assim o limite de Liquidez do solo foi zero. Para o limite de plasticidade, o resultado também foi zero, pois o material se esfarelou antes de se realizar o teste da placa esmerilhada, caracterizando assim como solo arenoso de limite de plasticidade e liquidez iguais a zero. Nesse requisito, o solo em questão estava de acordo com a Norma 10833:2012.

3.3 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS TIJOLOS

Os tijolos foram mensurados com o auxílio de uma trena milimétrica (Figura 7), como indicada na figura 21, e apresentaram dimensões padronizadas quanto o comprimento, largura e altura no valor de 250x125x70 milímetros, tendo uma pequena variação no valor de $\pm 0,6$ milímetros.

Figura 7 - Análise dimensional dos tijolos.

Fonte: Autor, 2018.

3.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO

De acordo com a Norma da ABNT 8492:2012 o valor da resistência média é de 2,0 MPA e para os individuais é de 1,7 MPA. Porém, esses valores são para um comprimento de 240 mm, e os tijolos produzidos aqui possuem comprimento de 250 mm, para otimização do resultado, realizou-se uma conversão dos valores para analisar de acordo com o comprimento utilizado no experimento.

Partindo de uma pressão de 2,0 MPA para a média e de 1,7 MPA para os valores individuais, e considerando um comprimento de 240 mm com uma área de superfície de compressão no valor de 14400 mm², obtém-se um valor para força de 28800 N para a média, e de 24480 N para os valores individuais.

Dividindo a força pela área utilizada no experimento, de valor 15625 mm², obtêm-se os valores de referência de 1,84 MPA para a média e 1,57 MPA para os individuais. Com isso, os valores de resistência à compressão se encontram na Tabela 3.

Tabela 3. Valores para o Teste de Compressão Simples.

Tijolo de 14 dias (Valores em MPa)								
Traço	Tijolo 1	Tijolo 2	Tijolo 3	Tijolo 4	Tijolo 5	Tijolo 6	Tijolo 7	Média
8:1	0,99	1,09	0,97	1,15	1,12	1,21	0,8	1,05
8:1:1	0,36	0,23	0,46	0,36	0,35	0,26	0,31	0,33
8:1:2	0,29	0,24	0,16	0,23	0,23	0,28	0,17	0,23
Tijolo de 28 dias (Valores em MPa)								
Traço	Tijolo 1	Tijolo 2	Tijolo 3	Tijolo 4	Tijolo 5	Tijolo 6	Tijolo 7	Média
8:1	1,6	1,34	0,99	1,18	0,99	1,15	1,73	1,28
8:1:1	0,56	0,62	0,58	0,7	0,65	0,62	0,55	0,61
8:1:2	0,22	0,38	0,33	0,26	0,29	0,27	0,55	0,33

Fonte: Autor, 2018.

Todos os valores obtidos, tanto para os testes de 14 dias quanto os de 28 dias, foram inferiores tanto aos valores de referências da norma, 2,0 Mpa para a média e 1,7 Mpa para individuais, quanto aos valores reajustados para o comprimento de 250 mm do tijolo produzido no trabalho, 1,84 Mpa para média e 1,57 Mpa para valores individuais. A NBR 8492:2013 diz que após 7 dias os tijolos devem apresentar esses valores para o ensaio mecânico, porém, mesmo com o teste em 14 dias, esses valores não foram alcançados, o que também não ocorreria nos testes de 7 dias.

3.5 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a análise de absorção de água temos o Tabela 4, com os valores de absorção de água dos tijolos.

Tabela 3. Valores para o Teste de Absorção de Água.

Tijolo de 14 Dias				
Traço	Tijolo seco (kg)	Tijolo saturado (kg)	Porcentagem saturada (%)	Média total (%)
8:1	3,679	4,003	8,81	9,46
	3,755	4,129	9,96	
	3,720	4,078	9,62	
8:1:1	3,403	3,955	16,22	14,19
	3,440	3,893	13,17	
	3,517	3,981	13,19	
8:1:2	3,247	3,790	16,72	16,23
	3,320	3,883	16,96	
	3,275	3,767	15,02	

Tabela 3. Valores para o Teste de Absorção de Água.

(continuação...)

Tijolo de 28 Dias				
Traço	Tijolo seco (kg)	Tijolo saturado (kg)	Porcentagem saturada (%)	Média total (%)
8:1	3,614	3,979	10,10	9,17
	3,646	4,009	9,96	
	3,856	4,143	7,44	
8:1:1	3,584	4,106	14,56	14,82
	3,540	4,095	15,68	
	3,462	3,954	14,21	
8:1:2	3,390	3,909	15,31	18,63
	3,270	3,972	21,41	
	3,291	3,921	19,18	

Fonte: Autor, 2018.

Em relação a absorção de água, os corpos de provas apresentaram valores satisfatório. Todos eles ficaram abaixo dos máximos permitidos, que são de 20% para a média e de 22% para os valores individuais

4 CONCLUSÃO

Em relação a absorção de água, os tijolos apresentaram índices dentro da norma, porém a adição de resíduo de gesso gerou um aumento na taxa de absorção, tendo valores mais altos que o do tijolo de traço padrão. Isso pode ter ocorrido pelo fato dos tijolos com resíduos de gesso apresentarem pequenas fissuras, facilitando a penetração da água.

Nos ensaios de compressão simples, embora ocorresse um aumento na resistência nos tijolos de 28 dias em relação aos de 14 dias, todos os resultados foram inferiores aos valores que a norma exige. Os tijolos com adição do resíduo de gesso ficaram muito abaixo até mesmo dos valores do tijolo convencional, com menos da metade da resistência destes.

Os resultados que o trabalho apresenta não foram satisfatórios, conclui-se que o tijolo produzido na Associação dos Oleiros Poty Velho não está de acordo com a norma e que também, com este tipo de solo, não há viabilidade na utilização do resíduo de gesso na sua composição.

Os resultados negativos obtidos podem ter ocorrido pelo fato do solo não apresentar a quantidade mínima de silte e argila, que é de 10%, visto que o solo utilizado teve um valor de 2,6% em sua composição.

Para os trabalhos futuros sugere-se selecionar um solo adequado ou realizar a correção do mesmo, a ser utilizado para a produção do tijolo solo-cimento. Também fica aberta a possibilidade de se usar outros tipos de materiais ou resíduos em sua composição.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação. Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- [2] _____. NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da Absorção d'água. Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [3] _____. NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo - cimento com utilização de prensa hidráulica. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2013.
- [4] BRASIL. 2002. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, 17 julho/2002.
- [5] BRASIL. 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. N° 431, de 24 de maio de 2011.

- [6] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – DNER-ME. 082/94: Determinação do Limite de Plasticidade. Método de ensaio. 1994
- [7] _____. DNER-ME. 122/94: Determinação do Limite de Liquidez. Método de ensaio. 1994.
- [8] JOHN, V. M. Aproveitamento de Resíduos como Materiais de Construção. Reciclagem de Entulho para Produção de Materiais de Construção. Salvador - BA: EDURFA, 2001.
- [9] MARQUES NETO, J. C. Descarte irregular de entulho e gesso causa transtorno em São Carlos, SP. 2014. Entrevista ao G1. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/sao-carlos-regiao/noticia/2014/10/descarte-irregular-de-entulho-e-gesso-causa-transtorno-em-sao-carlos-sp.html> > Acesso em: Setembro/2018.
- [10] PINHEIRO, S. M. M. Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes. 2011. 330 f. UNICAMP, Campinas – SP, 2011.
- [11] SICHIERI, E. P. O risco de descarte irregular do gesso. Entrevista ao Ambiente Central. 2015. Disponível em: <<http://ambientecentral.com.br/o-risco-de-descarte-irregular-do-gesso/>> Acesso em: Setembro/2018.
- [12] Torgal, F. P.; Jalali, S. Considerações sobre a sustentabilidade da construção em terra. In FORUM INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 1, Porto, Portugal, 2009 – “TECCON 2009: Tecnologias associadas ao processo do empreendimento de construção”.

Capítulo 18

Correlação entre as propriedades físicas e mecânicas de tijolos produzidos com lama ferruginosa retirada do Rio Doce – MG

Thais Maria Arruda Ferreira

Lucas da Silva Neves

Fabício Moura Dias

Resumo: Em 2015 uma barragem de beneficiamento do minério de ferro se rompeu em Mariana, provocando uma onda de lama que se arrastou pela região sudeste do Brasil. A utilização desta lama como matéria prima na construção civil permitirá reduzir os impactos causados por este desastre ecológico, assim como atenuar o consumo de recursos naturais pelo setor construtivo. Esta pesquisa tem como escopo analisar e correlacionar por meio de modelamento matemático as propriedades físico-mecânicas de tijolo solo-cimento com substituição da argila tradicional pela lama ferruginosa. Para tanto, foram usados cinco traços diferentes. O uso da lama ferruginosa na manufatura do tijolo é benéfico para valores de até 75% de substituição em relação à massa de solo. A correlação densidade x resistência mostrou-se promissora, demonstrando que o modelo é uma alternativa para estimar as propriedades do tijolo.

Palavras-chave: correlação, propriedades, solo-cimento, resíduo, lama-ferruginosa.

1 INTRODUÇÃO

Pesquisas apontam que a construção civil consome entre 20% e 50% do total de recursos naturais utilizados pela sociedade, sendo um dos setores que mais utilizam matérias-primas naturais(1). Visando a preservação ambiental e a redução deste índice de consumo, inúmeras pesquisas são desenvolvidas objetivando a utilização de resíduos no processo produtivo e como matéria-prima para produção de materiais de construção civil.

Ainda no que diz respeito aos impactos ambientais, o reaproveitamento dos resíduos provenientes da extração do minério de ferro mostra-se uma alternativa promissora na fabricação de elementos construtivos. Seu uso permitirá não só uma redução na extração de matéria-prima, como atenua o risco de rompimento das barragens de rejeito, um dos grandes problemas desse setor industrial.

Um evento ocorrido no Brasil em 2015 exemplifica o risco inerente a essas estruturas de grande porte. O rompimento da barragem de Fundão, da empresa Samarco, provocou uma onda de lama que percorreu 663 km afetando mais de 10.000 pessoas, além de gerar danos à saúde pública e o comprometimento da flora e fauna local(2).

Devido à suas características granulométricas, químicas, mineralógicas e morfológicas(3), é possível destinar diferentes aplicações para o rejeito da extração mineralógica. Na fabricação de pavers(4), a adição dos rejeitos finos melhorou a resistência do material. A construção de tijolos ecológicos é viável para uma porcentagem de rejeito utilizado de até 84% do peso total dos compostos(5). O material apresenta ainda características que permitem sua utilização em camadas de sub-base e base de pavimentos flexíveis(6),(7) e misturas asfálticas(8).

Neste contexto, o presente trabalho propôs a utilização do rejeito da lama ferruginosa em substituição parcial ou total na produção de tijolos solo-cimento. Procurou-se estabelecer uma relação entre as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos para auxiliar na predição da aplicabilidade desse material na construção civil por meio de modelagem matemática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados para a confecção dos tijolos solo-cimento com uso do resíduo de lama ferruginosa, além da metodologia utilizada para a confecção dos mesmos e para a análise dos resultados obtidos. Todos os ensaios e moldagens dos tijolos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LABTEC) situado no Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UNILESTE).

Para este trabalho, utilizou-se o cimento Portland CP III, o aglomerante é de classe 40, cuja resistência a compressão média é de 45MPa. A água utilizada na fabricação do tijolo solo cimento é proveniente da rede pública de distribuição.

O solo utilizado, coletado em Coronel Fabriciano, foi destorroado e preparado conforme as orientações da norma DNER-ME 041/94. Para sua caracterização, foram realizados os ensaios de análise granulométrica de acordo com a NBR 7181/1984(9), limite de liquidez e plasticidade, segundo as normas NBR 6459/1984(10) e NBR 7180/1984(11), respectivamente.

A lama ferruginosa foi coletada às margens do Rio Doce sobre a ponte da rodovia BR-458, que interliga os municípios de Santana do Paraíso e Caratinga, conforme a NBR NM26/2009(12) e NBR NM27/2001(13). Os ensaios realizados na lama para sua caracterização foram análise granulométrica, conforme 7181/1984(9) e limite de liquidez, segundo NBR 6459/1984(10).

O tijolo solo-cimento foi fabricado conforme os requisitos da norma ABNT NBR 10833/2013(14) com o traço 1:10. As porcentagens das misturas foram definidas levando-se em consideração a revisão bibliográfica, chegando-se as porcentagens de substituição de 0% (TR-0), 25% (TR-25), 50% (TR-50), 75% (TR-75) e 100% (TR-100) de resíduo em relação à massa de solo. Após a moldagem dos tijolos, foram realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água segundo a NBR 10836/1994(15) e densidade seguidos da análise dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentadas os modelos matemáticos que procuram prever a resistência característica à compressão simples dos tijolos com base em suas propriedades físicas. Para ajuste dos dados foi adotado regressão linear. As variáveis envolvidas no processo foram absorção, densidade do tijolo seco, resistência característica a compressão e resistência característica a compressão após ensaio de absorção. Para cada traço foram analisadas duas relações que são apresentadas a seguir.

Tijolos sem resíduo (tr-0)

Absorção x resistência

Figura 1: Absorção e resistência após absorção dos tijolos - TR-0.

A função da correlação entre a absorção do tijolo com 0% de resíduo e resistência à compressão é dada pela equação (A). Essa equação representa que, em média, para cada aumento de uma unidade na absorção do tijolo, a resistência aumenta 0,79%.

$$y = 0,792x + 0,2866 \quad (A)$$

DENSIDADE x RESISTÊNCIA

Figura 2: Densidade x resistência - TR-0

Observa-se através da figura 2 que o valor da resistência cresce linearmente com o aumento da densidade dos tijolos. Este fato pode ser evidenciado através da equação (B), ajustada pelo método dos mínimos quadrados, e explicado pela diminuição do número de poros no tijolos resultando em uma melhor distribuição da carga aplicada no tijolo. Essa equação (B) indica que para cada aumento de uma unidade na densidade do tijolo, a resistência aumenta 2,25%. Como a densidade do tijolo nunca assumirá o valor zero, o coeficiente β_0 (-10.468) não tem interpretação prática.

$$y = 2,2464x - 10,468 \quad (B)$$

Tijolos com 25% de resíduo em relação à massa de solo (tr-25)

Absorção x resistência

Figura 3: Absorção e resistência após absorção dos tijolos - TR-25.

A figura 3 acima associa os valores de absorção dos tijolos TR-25 e a resistência obtida por cada um no ensaio de absorção. Observa-se um relacionamento linear ascendente entre os dados, demonstrando que a resistência do tijolo com resíduo aumentou com a absorção. Este fato pode ser decorrente de um melhor agrupamento das partículas finas da lama com a presença da água e é explicado pela equação (C).

$$y = 0,8562x + 0,3497 \quad (C)$$

DENSIDADE x RESISTÊNCIA

Figura 4: Densidade x Resistência - TR-25.

Por meio da figura 4 é possível perceber que a resistência do tijolo aumentou com a densidade, entretanto observa-se ainda que os valores de compressão previstos estão distantes dos valores encontrados nos ensaios laboratoriais, não sendo dessa forma uma amostra representativa. Seu comportamento é representado pela equação (D).

$$y = 0,345x + 0,0289 \quad (D)$$

Absorção x resistência

Figura 5: Absorção e resistência após absorção dos tijolos - TR-50

A resistência à compressão simples dos tijolos TR-50 decresceu com o aumento da absorção. Diferente do fato ocorrido nos tijolos TR-0 e TR-25. Os valores encontrados em ensaios laboratoriais são próximos aos valores previstos, por conseguinte, a equação E é representativa.

$$y = -1,5748x + 0,7728 \quad (E)$$

DENSIDADE x RESISTÊNCIA

Figura 6: Densidade x Resistência - TR-50.

A figura 6 demonstra que a resistência do tijolo aumenta linearmente com o aumento da massa do tijolo, onde ocorre a redução do número de vazios presentes na amostra. Esta análise é interpretada graficamente pela equação (F).

$$y = 1,0003x - 3,8991 \quad (F)$$

Tijolos com 75% de resíduo em relação à massa de solo (tr-75)

Absorção x resistência

Figura 7: Absorção x Resistência - TR-75.

Mediante a figura 7 é possível considerar que a absorção de água é prejudicial aos tijolos TR-75, uma vez que sua resistência decrescerá linearmente. Quando a absorção for nula, a resistência do tijolo assumirá valor de 0,53MPa, como mostra a equação (G).

$$y = -0,7622x + 0,5303 \quad (G)$$

DENSIDADE x RESISTÊNCIA

Figura 8: Densidade x Resistência - TR-75.

NA figura 8, é possível verificar um aumento, ainda que pequeno, da resistência com aumento da massa do tijolo, mantendo seu volume. Seu comportamento é explicado pela equação (H).

$$y = 0,6109x - 0,9797 \quad (H)$$

Tijolos com 100% de resíduo em relação à massa de solo (tr-100)

Absorção x resistência

Figura 9: Absorção x Resistência - TR-100.

DENSIDADE x RESISTÊNCIA

Figura 10: Densidade x Resistência - TR-100.

Observou-se um comportamento aproximadamente constante no tijolo TR-100 no que tange à análise da absorção e densidade, conforme demonstrado nas figuras 9 e 10. Em todos os ensaios é possível observar valores pequenos de resistência a compressão.

$$y = -0,4714x + 0,5303 \quad (I)$$

$$y = -0,9777x + 6,7217 \quad (J)$$

4 CONCLUSÃO

Por meio dos ensaios, observou-se que o melhor estimador da resistência do tijolo é a densidade. Observa-se ainda que a resistência dos tijolos secos é relativamente superior aos tijolos que sofreram processo de absorção, indicando que seu uso seja preferencialmente em áreas com pouco contato com água.

Dos resultados alusivos à resistência à compressão simples, o melhor valor, em média, obtido foi dos tijolos TR-75, alcançando um valor de 2,458MPa, e o pior valor foi referente ao tijolo TR-100, sendo 0,402 MPa. A norma ABNT NBT 10834 (1994) especifica que os tijolos devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão igual ou maior que 2,0 MPa e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa, aos 28 dias de idade. Dessa forma, apenas a média dos valores de TR-25 e TR-75 atenderam aos requisitos normativos, todavia, nos tijolos que não passaram pelo processo de absorção, constatou-se valores individuais superiores a 1,7 MPa, com exceção do traço TR-100.

O uso da lama ferruginosa é benéfico para o tijolo em valores de até 75% de substituição em relação à massa de solo, conforme constatado em revisão bibliográfica e comprovado através deste estudo. Já nos tijolos TR-100, os valores não foram satisfatórios, demonstrando que seu uso não é viável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário do Leste de Minas Gerais e à FAPEMIG pela disponibilização do laboratório e recursos necessários para desenvolvimento deste trabalho e aos amigos que contribuíram nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] MESQUITA, A. S. G.. Análise da geração de resíduos sólidos da construção civil em teresina, piauí. HOLOS, [S.l.], v. 2, p. 58-65, maio 2012. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/835>>. Acesso em: 27 jul. 2016.
- [2] LACAZ, Francisco Antonio de Castro; PORTO, Marcelo Firpo de Sousa; PINHEIRO, Tarcísio Márcio Magalhães. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. Rev. bras. saúde ocup., São Paulo, v. 42, e9, 2017. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0303-76572017000100302&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 05 ago. 2018.
- [3] ANDRADE, Luana Caetano Rocha de. Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. Viçosa, MG, 112 p. 2014 (Tese de Doutorado)
- [4] SILVA, F. L. Aproveitamento e reciclagem de resíduos de concentração de minério de ferro na produção de paivers e cerâmica. Ouro Preto: REDMAT. 109 p. 2014. (Dissertação de Mestrado)
- [5] CHEN, Y.; ZHANG, Y.; CHEN, T. et al. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings. Construction and Building Materials. 2011. v. 25. 2107-2111 p.
- [6] CAMPANHA, A. Caracterização de rejeitos de minério de ferro para uso em pavimentação. Universidade Federal de Viçosa. 106 p. 2011. (Dissertação Mestrado)
- [7] OLIVEIRA, T. M. Caracterização de misturas de rejeitos de minério de ferro melhoradas com adição de cimento com vistas à aplicação em estradas e aterros. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 71 p. 2013.
- [8] SILVA, R. G. O. Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de mineração de ferro. 132 p. 2010. (Dissertação de Mestrado)
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7181:1984: Solo — Análise Granulométrica. Origem: Projeto NBR 7181:1984. 13 p.
- [10] _____. NBR 6459:1984: Solo – Determinação do limite de liquidez. Origem: Projeto NBR 6459:1984. 6 p.
- [11] _____. NBR 7180:1984: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Origem: Projeto NBR 7180:1984. 3 p.
- [12] _____. NBR NM26:2009: Agregados: amostragem. Origem: NM 26:2000. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 10 p.

- [13] _____. NBR NM27:2001: Agregados: redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Origem: NM 27:2000. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 7 p.
- [14] _____. NBR 10833:2013: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 3 p.
- [15] _____. NBR 10836:1994: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural - Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Origem: Projeto NBR 10836/1993. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 3 p.

Capítulo 19

Análise da resistência à compressão e absorção de água de tijolos solo-cimento com adição parcial de fibras de sisal

Taynara Gonçalves Nonato

Fabício Moura Dias

Resumo: O interesse em se confeccionar blocos solo-cimento com a adição de fibras de sisal surgiu da necessidade de novas propostas de materiais eficientes e sustentáveis para o setor construtivo. A metodologia empregada neste projeto foi a manufatura de três traços diferentes para análise das propriedades. Os lotes fabricados foram encaminhados aos ensaios de compressão e absorção de água, nas idades de 7 e 28 dias. Dentre os resultados obtidos, observou-se que nenhum dos blocos atingiu a resistência à compressão mínima exigida pela norma. Entretanto, os tijolos com a adição parcial da fibra de sisal apresentaram resistência média maior, comparados aos tijolos sem nenhum aditivo. Já em relação ao ensaio de absorção de água, os tijolos que continham o sisal apresentaram valores altos de absorção, possivelmente pela influência da presença da fibra. Portanto, as análises foram efetuadas com êxito e o detalhamento dos resultados é apresentado no corpo deste trabalho.

Palavras-chave: Bloco solo-cimento. Fibras de sisal. Construção civil. Materiais compósitos.

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a construção civil evoluiu rapidamente e, com ela, a necessidade de se desenvolver materiais inovadores, de baixo custo, sustentáveis e que apresentassem características físico-mecânicas satisfatórias às exigências do setor. Assim, estudando-se as vantagens de utilização do bloco solo-cimento e a eficiência oferecida pela fibra de sisal em outros materiais de construção, propôs-se um novo material compósito, a fim de se conhecer suas características.

De acordo com a ABCP (2000) (1) o tijolo ecológico demonstrou ser uma boa opção de aplicação no setor construtivo, devido à sua matéria-prima estar disponível em grande quantidade no meio ambiente, o seu processo de cura não requerer a queima em fornos e sua diversidade de utilização. Por outro lado, a NBR 10834 (ABNT, 1994) (2), define o tijolo ecológico como uma mistura composta por solo, água e cimento que é compactada em uma prensa mecânica. Desta forma, ambos evidenciam as vantagens de utilização do tijolo ecológico e a facilidade de manufatura do mesmo.

Entretanto, para que o bloco desempenhe satisfatoriamente sua função na estrutura em que será utilizado, os componentes da mistura devem atender aos requisitos indicados em suas normas pertinentes, por exemplo: o solo adequado para a confecção dos blocos é definido pela NBR 10833 (ABNT, 2012) (3), o cimento deve atender a resistência estabelecida para a sua classe, de acordo com a NBR 5735 (ABNT, 1991) (4) e a água deve estar isenta de impurezas e produtos químicos. Então, consequentemente, o material a ser escolhido para se adicionar ao bloco-solo cimento para torná-lo um material compósito, deveria também cumprir requisitos normativos ou ter sua eficiência comprovada por ensaios e estudos. Por fim, chegou-se à proposta da utilização da fibra de sisal.

Segundo a COSIBRA, o Brasil é o maior produtor de sisal do mundo e tem o nordeste como ampla região produtora, devido ao clima favorável ao desenvolvimento da planta. No que se refere à eficiência de utilização, a mesma é comprovada pelo estudo da PUC-Rio, 2003 (5) em que se afirma que o sisal é uma das fibras que possui maior resistência à tração.

Portanto, o material formado pelo bloco solo-cimento e pela fibra de sisal tende a oferecer características interessantes ao setor construtivo e apresenta todos os requisitos de baixo custo e sustentabilidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os tijolos solo-cimento foram fabricados no Labtec do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, campus de Coronel Fabriciano. Toda a moldagem dos tijolos foi feita de acordo com as instruções da NBR 10833 (ABNT, 2012) (3).

O solo utilizado na manufatura dos blocos foi extraído na cidade de Itabira-MG. A água utilizada foi proveniente da rede pública de distribuição (COPASA), da cidade de Coronel Fabriciano-MG. A fibra de sisal foi recolhida, na forma de malha, de um rolo disponível no Labtec do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, foi devidamente desfiada e cortada no tamanho de 1 a 2 cm, para que fosse possibilitado o seu uso na mistura de solo-cimento. Posteriormente, todos os componentes da mistura (cimento Portland CPIII 40, solo, água e fibras de sisal), foram pesados e prensados. Depois de prontos, os tijolos foram encaminhados aos ensaios de resistência à compressão e de absorção de água conforme diretrizes da NBR 10836 (ABNT, 1994) (6).

Foram confeccionados 2 lotes de 10 blocos para cada traço, sendo utilizados três traços diferentes. Após a fabricação, um dos lotes foi ensaiado aos 7 dias de idade, enquanto o outro lote foi ensaiado aos 28 dias. Para cada lote de 10 tijolos, metade se destinou ao ensaio de resistência à compressão e a outra metade foi encaminhada ao ensaio de absorção de água.

As proporções e detalhamento de cada traço foram calculadas e estão expostas na tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Traços utilizados e proporções de cada material

Traço (solo, cimento e fibra, respectivamente)	Quantidade de Cimento (g)	Quantidade de solo (g)	Quantidade de fibra (g)
1: 10	140	1260	-
1: 10: 0,286	140	1256	4
1: 10: 0,428	140	1254	6

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Após serem rompidos de acordo com as diretrizes da NBR 10836 (ABNT, 1994) (6), os tijolos solo-cimento apresentaram suas resistências características. Os valores destas resistências seguem dispostos nas tabelas 2, 3 e 4, a seguir.

A tabela 2 demonstra os valores de resistência à compressão atingidos pelos tijolos sem adição da fibra de sisal.

Tabela 2 – Resistência à compressão dos tijolos solo-cimento sem adição da fibra de sisal

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Resistência Média (MPa)
Aos 7 dias de idade		
1	0,51	0,522
2	0,59	
3	0,62	
4	0,49	
5	0,40	
Aos 28 dias de idade		
6	0,24	0,416
7	0,60	
8	0,50	
9	0,27	
10	0,47	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A tabela 3 expõe os valores de resistência à compressão atingidos pelos tijolos com a adição de 4 g da fibra de sisal.

Tabela 3 - Resistência à compressão dos tijolos solo-cimento com 4 g da fibra de sisal

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Resistência Média (MPa)
Aos 7 dias de idade		
1	0,62	0,585
2	0,65	
3	0,74	
4	0,33	
Aos 28 dias de idade		
5	1,07	0,976
6	0,76	
7	1,05	
8	1,16	
9	0,84	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

A tabela 4 traz os valores de resistência à compressão atingidos pelos tijolos com a adição de 6 g da fibra de sisal.

Tabela 4 - Resistência à compressão dos tijolos solo-cimento com 6 g da fibra de sisal

Corpo de prova	Resistência à compressão (MPa)	Resistência Média (MPa)
Aos 7 dias de idade		
1	0,73	0,754
2	0,81	
3	1,08	
4	0,44	
5	0,71	
Aos 28 dias de idade		
6	0,76	0,706
7	0,47	
8	0,62	
9	0,98	
10	0,70	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

3.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Após a conclusão do ensaio de absorção de água, efetuado de acordo com as diretrizes da NBR 10836 (ABNT, 1994) (6), os tijolos solo-cimento apresentaram suas capacidades de absorção características. Os valores obtidos seguem dispostos nas tabelas 5, 6 e 7, a seguir.

Tabela 5 - Absorção de água dos tijolos solo-cimento sem fibra de sisal

Corpo de prova	Peso Seco (g)	Peso úmido (g)	Absorção de água (%)	Média da absorção de água (%)
Aos 7 dias de idade				
1	926	1258	35,85	37,186
2	870	1174	34,94	
3	914	1247	36,43	
4	856	1207	41,00	
5	891	1227	37,71	
Aos 28 dias de idade				
6	913	1214	32,97	32,79
7	892	1180	32,27	
8	894	1190	33,11	
9	908	1206	32,82	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Tabela 6 - Absorção de água dos tijolos solo-cimento com 4 g da fibra de sisal

Corpo de prova	Peso Seco (g)	Peso úmido (g)	Absorção de água (%)	Média da absorção de água (%)
Aos 7 dias de idade				
1	955	1331	39,37	36,67
2	996	1352	35,74	
3	1017	1372	34,90	
Aos 28 dias de idade				
4	1044	1372	31,42	31,716
5	1040	1363	31,06	
6	1071	1391	29,88	
7	999	1339	34,03	
8	1025	1355	32,19	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

Tabela 7 - Absorção de água dos tijolos solo-cimento com 6 g da fibra de sisal

Corpo de prova	Peso Seco (g)	Peso úmido (g)	Absorção de água (%)	Média da absorção de água (%)
Aos 7 dias de idade				
1	957	1302	36,05	39,20
2	890	1267	42,36	
3	900	1239	37,66	
4	945	1298	37,35	
5	869	1239	42,58	
Aos 28 dias de idade				
6	896	1233	37,61	37,49
7	907	1246	37,37	
8	928	1261	35,88	
9	878	1217	38,61	
10	903	1246	37,98	

Fonte: Elaborado pela autora, 2017.

4 DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentadas todas as discussões referentes aos resultados obtidos nos ensaios realizados nos blocos manufaturados, bem como as relevâncias e considerações da autora.

4.1 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Com base nos resultados das resistências à compressão atingidos pelos tijolos, observou-se que nenhum atingiu a resistência mínima descrita na NBR 10836 (ABNT, 1994) (4). Porém, aos 7 dias de idade, os blocos encontravam-se com a umidade favorável, uma vez que a cura também foi efetuada segundo a norma supracitada. Assim, os blocos de com a adição de 6 g de fibra apresentaram uma resistência média superior aos demais lotes manufaturados.

Já aos 28 dias de idade, os blocos de todos os lotes apresentaram fragilidade ao manuseio, devido à falta de umidade. A deficiência de coesão entre as partículas de solo, cimento e fibra, proporcionou um esfrelamento na superfície dos blocos, demonstrando a ausência da umidade adequada.

Os blocos sem adição de fibra de sisal apresentaram, aos 28 dias, uma resistência média inferior à resistência atingida aos 7 dias, o que pode ter sido causado pela perda de umidade ao longo da cura. O mesmo ocorreu com os tijolos com a adição de 6 g da fibra de sisal, que além da perda de umidade por evaporação ao longo dos dias, pode ter perdido umidade para a fibra presente em sua composição, que era a maior quantidade utilizada dentre os três lotes manufaturados. Apenas os tijolos com a adição de 4 g da fibra de sisal apresentaram uma resistência média superior aos 28 dias, em relação à resistência atingida aos 7 dias de idade.

Em relação aos valores de resistência atingidos por todos os tijolos, os que continham sisal em sua composição, atingiram valores de resistência maiores em ambas as idades de ensaio, sendo os tijolos com adição de 4 g da fibra os que obtiveram a resistência média mais satisfatória aos 28 dias de idade.

4.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

De acordo com os resultados obtidos pelo ensaio de absorção de água, nenhum tijolo atingiu o valor requerido pela NBR 10836 (ABNT, 1994) (6), pois todos apresentaram valores acima do permitido pela norma.

O lote dos tijolos com 6 g de fibra de sisal foi o que apresentou os maiores valores de absorções médias em ambas as idades, o que pode ter sido ocasionado pela presença da maior quantidade de fibra na mistura. Já em relação aos blocos com 4 g de fibra de sisal, mesmo apresentando valores menores de absorção quando comparados aos blocos sem fibra, eles obtiveram valores altos de absorção devido à presença da fibra em sua composição. Além disso, todos os lotes apresentaram uma absorção de água maior aos 7 dias de idade, o que pode ser explicado pelo efeito da cura úmida realizada nos 7 primeiros dias de idade dos blocos, conforme diretrizes da norma.

5 CONCLUSÃO

O principal objetivo visado ao se manufaturar o tijolo solo-cimento com adição da fibra de sisal, partiu do princípio de trazer ao segmento de construção civil uma nova proposta que integrasse as características de sustentabilidade, resistência mecânica compatível às exigências normativas e baixo custo em um único material. Assim, através dos resultados atingidos foi possível chegar a algumas conclusões.

Após a análise de resultados do ensaio de resistência à compressão, pôde-se concluir que, mesmo não atingindo as resistências exigidas por norma, os tijolos com a adição da fibra apresentaram ganho de resistência comparados aos tijolos sem nenhum aditivo, principalmente os tijolos com a presença de 4 g de fibra, que apresentaram os maiores valores de resistência em ambas as idades de ensaio. Já em relação ao aspecto visual dos blocos, observou-se que os tijolos isentos de fibra, ao término dos ensaios de compressão, se apresentaram literalmente partidos e quebrados em vários pedaços menores. Porém, os tijolos com a presença da fibra, apresentaram apenas trincas, comprovando a eficiência da fibra como elemento de reforço.

Da mesma forma, ao que diz respeito ao ensaio de absorção de água, os blocos também não atingiram aos valores normativos. No entanto, os tijolos que continham a adição da fibra de sisal apresentaram valores altos de absorção, possivelmente pela influência da presença da fibra.

Portanto, o objetivo principal foi cumprido com êxito, uma vez que foi possível analisar as alterações ocorridas nos tijolos com a adição da fibra de sisal.

Aos futuros pesquisadores, sugere-se a investigação da perda de umidade ao longo da cura e de que forma isso interfere na resistência final dos blocos. Ou ainda, maneiras de se incorporar fibras vegetais aos blocos de maneira mais uniforme, seja através de um método mais eficiente de misturar as fibras aos demais os materiais da composição do tijolo, seja inserindo algum tratamento químico na fibra a ser utilizada.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural, Rio de Janeiro: ABNT, out. 1994.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento, 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, dez. 2012.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: Cimento Portland de alto forno, Rio de Janeiro: ABNT, jul. 1991.
- [5] COMPÓSITOS de barro e fibras: ensaios e experimentos. p.56. Rio de Janeiro: PUC-Rio. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21593/21593_4.PDF>. Acesso em: abr. 2016.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água, Rio de Janeiro: ABNT, out. 1994.

Capítulo 20

Avaliação do comportamento mecânico (tração na flexão) de argamassas com fibras vegetais em pó

Amanda Moraes Almeida

Sérgio Renato Teixeira Nascimento

Thiago Francisco de Souza

Franco Dani Rico Amado

Resumo: O setor da construção civil está se moldando a novos parâmetros em reflexo da recessão. A diversificação de produtos do ramo está crescendo cada vez mais devido a esse fator e aos impactos ambientais causados pelo mesmo. Diante dessa realidade, estão sendo introduzidos polímeros, fibras naturais, sintéticos e reciclados nos materiais compósitos destinados ao mercado. O objetivo principal do estudo é avaliar a resistência mecânica de corpos de provas de matriz cimentícia incorporados com fibras vegetais de piaçava em pó, submetidos a testes de tração na flexão. Essa foi reduzida a grãos de 48 e 65 Mesh, com porcentagens de incorporação de 5%, 8% e 10%. Com a comparação dos resultados, observou-se que os corpos-de-prova de característica 48 Mesh - 8% - sem tratamento apresentaram melhor desempenho entre todos os testados. Portanto, constatarem-se diferentes comportamentos dos compósitos cimentícios quando há incorporação das fibras de piaçava em pó nas condições testadas.

Palavras-chave: Compósitos, Fibra em Pó, Tratamento Superficial, Tração na Flexão

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor da economia com necessidades de se reinventar a todo momento. Todos os dias novas obras começam a se erguer e tantas outras são finalizadas, e com isso pode-se perceber a dimensão dessa indústria e o quão ela é importante para o desenvolvimento dos países. Além disso, a competitividade atrelada aos avanços tecnológicos é um ponto crucial para que exista essa urgência de se ter novos produtos implementados no mercado.

Em contrapartida, essa produção desenfreada atinge diretamente o meio ambiente. Para John Agopyan (2011), impactos são provocados por vários materiais referentes a cadeia produtiva na construção civil, os quais não se dão somente pela extração de matérias-primas, mas também ao longo do ciclo de vida. Grande quantidade de energia é consumida por estes materiais liberando também poluentes na água e no ar bem como provocando concentração de resíduos tóxicos ao meio ambientes.

Por esse motivo há uma busca constante por novos insumos que possam, de forma sustentável, substituir ou reduzir o uso dos recursos hoje explorados. Um exemplo são os compósitos cimentícios obtidos com a incorporação de agregados leves que são na maioria das vezes descartados pelas indústrias. Tal produto está ganhando cada vez mais espaço nas pesquisas com o objetivo de desenvolver materiais para somar ao setor construtivo.

Tendo consciência do valor sustentável e da redução de custos já que esse item tem valor comercial baixo e disponibilidade na região estudada (sul do Estado da Bahia), o objetivo principal do estudo é avaliar a resistência mecânica de corpos de provas de matriz cimentícia incorporados com fibras vegetais de piaçava (*Attalea funifera* Mart.) em pó, submetidos a testes de tração na flexão.

Essa avaliação contribuirá para que as argamassas assim estudadas futuramente possam ser aplicadas na indústria de pré-moldados, em aplicações que se requer conforto térmico, como em construções rurais, produção blocos de alvenaria, e outros produtos da construção civil, onde o fator resistência/peso é um requisito técnico importante para o projeto (Souza, 2012).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

No presente estudo, foi utilizada areia com grãos médios submetida ao processo de secagem em estufa elétrica, por um período de 5 horas a uma temperatura de 110°C para retirada do excesso de umidade. Contou-se com o uso do cimento Portland CPV – ARI Alta Resistência Inicial e do metacaulim tipo HP ULTRA. Além da água para dissolver e misturar os materiais. As fibras de piaçava utilizadas foram da espécie (*Attalea funifera* Martius), obtidas em Ilhéus localizada no sul da Bahia.

2.2 ETAPAS DO PROCESSO

Inicialmente, as fibras de piaçava foram trituradas três vezes em um moinho de facas e seguidamente foram separadas de acordo com a granulometria desejada num agitador mecânico de peneiras. Os grãos das fibras retidos na peneira de 48 e 65 Mesh, com porcentagens de incorporação de 5%, 8% e 10% foram adicionadas à matriz cimentícia e misturados em uma argamassadeira com base na NBR 7215 e no estudo já realizado na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) por Souza (2012).

O traço da matriz utilizado foi de 60% cimento e 40% metacaulinita de acordo com a tese de Lima (2004) e parte das fibras foram submetidas ao tratamento superficial, onde o pó da piaçava passa por diversas etapas de lavagem, em água e em solução de NaOH, além de um processo de secagem em estufa. À vista disso, foram produzidos corpos-de-prova cimentício padronizados em moldes prismáticos metálicos conforme a NBR 13279 para realização de uma análise comparativa entre as fibras de piaçava em pó quimicamente tratadas e não tratadas de diferentes granulometrias e porcentagens.

Submeteram-se aos ensaios de tração na flexão executados numa máquina universal AGS-X que a partir da norma NBR 12142, foi configurada da seguinte forma: três pontos, biapoiada e com carga centrada, em um regime de deslocamento controlado de 2 mm.min-1. No fluxograma da Figura 1, pode-se observar todas essas etapas de forma sintetizadas para facilitar a compreensão e o sequenciamento do que foi realizado.

Figura 1. Fluxograma das etapas dos experimentos.

2.3 TRATAMENTO SUPERFICIAL DAS FIBRAS

Após a obtenção das fibras peneiradas, começa-se o processo de tratamento da fibra em pó de 65 Mesh pelo período de 1 hora em solução de NaOH a 10%. Para produzir esta solução, deve misturar 4g de NaOH para cada 1 L de água destilada. Para realizar o processo de imersão das fibras durante 24 horas, utilizou-se 1 L de água destilada e 1 L de água de torneira.

Em seguida, retira a fibra da solução e lava-o na água da torneira para remover todos os excessos. Posteriormente, a fibra é imersa em um recipiente com água de torneira por um período de 24 horas e logo após imersa em água destilada pelo mesmo período. Para finalizar o processo, e possibilitar que as fibras fiquem prontas para a produção do compósito cimentício, são colocadas na estufa elétrica durante 12h à 60°C para a secagem das fibras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresentam resultados das resistências médias dos ensaios de tração na flexão realizados nos corpos-de-prova (CP) prismáticos. A média é correspondente a três ensaios de CPs de uma mesma característica. Na Figura 2, tem-se a exposição das médias em gráficos de barra referente a formulação de

48 Mesh, sem tratamento, para as porcentagens de 5%, 8% e 10% de incorporação da fibra em pó na mistura.

Verifica-se que não há um crescimento ou decréscimo ordenado das resistências com o aumento ou diminuição da porcentagem adicionada de agregado leve na composição. A incorporação de 5% de piaçava com grãos de 48 Mesh proporcionou uma queda na resistência à tração na flexão ao comparar o desempenho das três porcentagens.

Figura 2. Resistência à tração na flexão (Mpa) para CPs com grãos de 48 mesh

No caso da Figura 3, verifica-se uma redução da resistência com o aumento do teor de piaçava em pó não tratada introduzida na mistura, já o contrário acontece para a piaçava que passou pelo tratamento com NaOH. Para os CPs com fibras sem tratamento, houve uma sutil variação dentro de um pequeno intervalo referente as resistências médias. Observou-se um melhor desempenho na incorporação de 5%, que inclusive se destacou dentre as tratadas e não tratadas com grãos de 65 Mesh.

Ao avaliar os CPs com fibras tratadas, pode-se notar um comportamento inverso aos que não passaram por este processo. A medida que foi incorporada uma quantidade maior deste agregado leve nos corpos-de-prova, a resistência dos mesmos aumentou gradualmente tendo a diferença de uma porcentagem para a outra de 0,59 Mpa. Este valor foi maior do que na condição não tratada e com isso pode-se inferir que houve uma redução da resistência também devido a submissão da piaçava ao tratamento químico.

Figura 3. Resistência à tração na flexão (Mpa) para CPs com grãos de 65 mesh

Ao fazer a comparação entre as mesmas porcentagens de incorporação referentes aos tipos estudados de grãos sem tratamento adicionados nas misturas, é possível notar que com 5% de incorporação foi a única porcentagem que mostrou um desempenho menor para 48 Mesh e maior para 65 Mesh. Em sua maioria, os resultados de 65 mostrou uma resistência maior e ordenada.

Ficou nítido a similaridade no ganho de resistência das médias das resistências nas seguintes características: 10% com grãos de 48 Mesh e 5% com grãos de 65 Mesh. Estes só ficaram atrás da média de 8% com formulação 48 Mesh, mostrando assim um bom desempenho ao serem comparados com estudos anteriores de diversas formulações e porcentagens. Isso traz a percepção de que as delimitações da pesquisa atingiu resultados relevantes para a continuidade do estudo.

4 CONCLUSÕES

A partir desta pesquisa pode-se verificar que este material pode ser empregado com a intenção de atingir o melhoramento da resistência dos compósitos cimentício. Com a comparação dos resultados médios da resistência à tração na flexão, observou-se que os corpos-de-prova de característica 48 Mesh - 8% - sem tratamento apresentaram melhor desempenho entre todos os testados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UESC, LAMMA e FAPESB pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] SOUZA, T. F. Avaliação da resistência de compósitos de argamassas leves de EVA reforçadas com fibras de piaçava. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2012.
- [2] LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Uso de Metacaulinita Para Incremento da Durabilidade de Compósitos à Base de Cimento Reforçados Com Fibras de Sisal. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 7-19, out./dez. 2010.
- [3] SANTOS, F. M. R. Estudo de compósitos cimentícios leves com resíduos de eva e fibras vegetais para aplicações na construção civil. 2015. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2015.
- [4] Artigo de periódicos: Moraes, P.; Souza C. R. O IMPACTO AMBIENTAL DE UMA EDIFICAÇÃO Revista Organização Sistêmica - Vol 7. N.4 - jan/dez 2015
- [5] LOPES, P.S.; ALVIM, R.C; ALVIM, R.A.A. Tratamento de fibras de Piaçava para reforço de compósitos de cimento leve. Resumos. In: 17º Seminário de Iniciação Científica e 11ª Semana de Pesquisa e Pós-Graduação UESC, Ilhéus, 2011.
- [6] AQUINO, R.C.M.P; D'ALMEIDA, J.R.M.; MONTEIRO, S.N. Desenvolvimento de compósitos de matriz polimérica e piaçava, como substituto de produtos de madeira. Vértices, v.4, n.1, p.42-47, 2002.
- [7] D'ALMEIDA, A. L. F. S; D'Almeida, J. R. M.; Barreto, D. W.; Calado, V. Effect of surfasse treatments on the termal behavior and tensile strength of piassava (*Attalea funifera*) fibers. Journal of Applied polymer Science, v. 120, p. 2508-2515, 2011 B.

Capítulo 21

Argamassa pigmentada com adição de tensoativo como agente de fluidez

Luis Gustavo Zerbato Sanchez

Ana Lidia da Silva Lino

Éder Baroni da Silveira

Pedro Garcia Lins

Gibran da Cunha Vasconcelos

Camila de Paula Fernandes

Jorge Santos Lyra

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da presença de pigmentos em pasta cimentícia e argamassa com adição simultânea de detergente neutro como aditivo tensoativo, sendo o último uma alternativa para substituição de aditivos superplastificantes, focando em obter composições que mantenham a resistência semelhante ou superior a argamassa convencional constituída de CPIII-40RS. Para alcançar tal finalidade, determinou-se a fluidez da pasta de consistência normal, tempo de pega inicial e final, resistência à compressão axial e análise da morfologia da seção transversal por meio de lupa estereoscópica. Os resultados obtidos mostram que, em relação a argamassa convencional, os pigmentos aceleram a pega inicial e retardam a final, promove aumento da resistência à compressão de 23,86 % com o pigmento vermelho na idade de 7 dias, além de influenciar na consistência, oscilando seus valores quando empregado o detergente como aditivo tensoativo.

Palavras-chave: Pasta de cimento, argamassa pigmentada, aditivo.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de novas técnicas de acabamento e a otimização da performance do material utilizado na construção, são crescentes exigências em materiais de construção civil. A inserção de pigmentos em estruturas e pavimentos cimentícios garantem um entorno mais agradável (1), atendendo ao quesito acabamento. No entanto, se os pigmentos são combinados com outros aditivos, podem ocorrer alterações no desempenho mecânico e de trabalhabilidade do material.

Pigmentos de base inorgânica, que corresponde ao óxido de ferro III (Fe_2O_3), são os mais recomendados para utilização na construção civil(1), pois atende todos os requisitos necessários de aplicação – inerte aos demais componentes do concreto e argamassa, assegura e mantém a sua cor original, apresenta boa resistência a ação da luz e intempéries, é insolúvel em água e mistura-se com facilidade em materiais cimentícios.

Descobriu-se que o uso de pigmentos em materiais cimentícios pode influenciar diretamente em sua resistência, trabalhabilidade, secagem, retração e durabilidade em decorrência da finura e forma das partículas de cada pigmento (2,3). O uso de pigmentos não deve comprometer a evolução da resistência do cimento e muito menos o ar incorporado ao mesmo (4). A incorporação de pigmento resulta na redução de trabalhabilidade da argamassa ou concreto (1), sendo necessário a utilização de aditivo superplastificante para recuperar a fluidez, o que facilita o manuseio. Contudo, deve-se verificar a paridade dos pigmentos com o aditivo a ser usado (5).

Os pigmentos que contém óxido de ferro III em sua composição são produzidos a partir de sucatas recicladas ou resíduos industriais, como por exemplo, a carepa, coproduto gerado pela oxidação da superfície do aço (6). Suas tonalidades variam de acordo com o processo de oxidação, obtendo colorações do amarelo até o preto (7,8).

Em suma, com a crescente utilização do detergente em canteiros de obra como forma de melhorar a fluidez da argamassa, questiona-se quais são os embasamentos técnico-científico que constatarem se a técnica garante a real substituição dos policarboxilatos (superplastificante) empregados em conjunto com os pigmentos. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo estudar a aplicação do detergente para tal finalidade.

2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

O cimento utilizado foi do tipo CP III – 40RS cedido pela Mizu Cimentos Especiais. Os pigmentos vermelho (óxido de ferro III) e azul (ftalocianina de cobre), foram cedidos pela empresa Microxcolor e utilizou-se como agente tensoativo detergente neutro, marca Ypê.

Inicialmente foi identificada a melhor composição através do teste de fluidez da pasta de cimento, com base em misturas pigmento/cimento e pigmento/detergente/cimento; fixando os valores das variáveis pigmento e detergente, quando a pasta final mais se assemelhasse o espalhamento em relação a composição convencional de cimento + água. Para todas as composições foi adotado o valor fixo do fator água/cimento (A/C) em 0,40(9) de modo que a quantidade de água empregada na mistura não influenciasse no resultado.

As composições ensaiadas para a determinação da melhor pasta de cimento continham variação de 3% e 5% de pigmento vermelho e azul, e 1%, 2% e 3% de detergente.

Os demais ensaios realizados no estado fresco da pasta foram de consistência normal da pasta de cimento – NBR 16606 e tempo de pega inicial e final - NBR16607. Quanto ao ensaio no estado endurecido foi adotada a NBR 7215 para determinar a resistência à compressão axial do cimento com 3, 7 e 28 dias, em máquina Instron, modelo 5585H (EUA), com célula de carga com capacidade de 250 kN. O agregado miúdo utilizado no ensaio foi devidamente seco em estufa a 105 °C por 24 horas conforme NBR NM 52.

Para análise da morfologia da seção transversal dos corpos de prova de argamassa, utilizou-se lupa estereoscópica ZEISS, modelo AxioCam ICc 3 (Alemanha). A superfície analisada foi obtida de corpos de prova submetidos a carga de flexão, em máquina Instron, modelo 5585H (EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 TESTE DE FLUIDEZ DA PASTA CIMENTÍCIA

A Tabela 1 apresenta os dados obtidos do teste realizado para determinar os abatimentos das pastas de cimento, comparando o resultado da composição convencional com os resultados das demais composições. Para tanto, as pastas tiveram adição de 5% de pigmento e 3% de detergente, ambos em relação a massa de cimento.

Tabela 1 – Teste de abatimento em função dos valores pré-fixados de pigmento e detergente.

Composições	Diâmetro Original (mm)	Diâmetro final (mm)	Espalhamento (mm)
Convencional	50,00	60,04	10,04
Pigmento Azul	50,00	56,79	6,79
Pigmento Azul + Detergente	50,00	60,31	10,31
Pigmento Vermelho	50,00	53,66	3,66
Pigmento Vermelho + Detergente	50,00	53,37	3,37

Com a exceção da composição pigmento azul + detergente, os resultados evidenciam que a fluidez é reduzida em função da adição de pigmento. Esse comportamento possivelmente é decorrente da forma e dimensão característica dos pigmentos, sendo assimilado como um filer, conforme será abordado adiante.

Deste modo, a pasta aditivada com pigmento vermelho, sem e com detergente, obteve valores semelhantes de espalhamento; ou seja, a função do tensoativo como dispersante e incorporador de ar, ao qual deveria facilitar a fluidez, foi impedida pela interação do pigmento vermelho.

3.2 CONSISTÊNCIA NORMAL DA PASTA

O ensaio de consistência normal da pasta possibilitou obter a relação de água/cimento (fator A/C) mais adequado de acordo com as composições mencionadas anteriormente; tais dados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Fator A/C encontrado de acordo com a consistência normal de cada composição.

Composições	Consistência Normal (%)
Convencional	31
Pigmento Azul	33
Pigmento Azul + Detergente	29
Pigmento Vermelho	34
Pigmento Vermelho + Detergente	29

Para ambas as adições de pigmento, nota-se que há maior demanda de água para suprir a consistência adequada. Diante deste fato, a utilização do detergente como aditivo incorporador de ar (tensoativo) reduz a proporção do fator A/C de modo que interfere diretamente na exsudação de água na superfície do corpo de prova durante o ensaio.

O teste segue o padrão estabelecido pela NBR 16606 de modo que foram utilizados 500g de cimento, e variada a quantidade de água empregada em cada composição para atingir a consistência adequada. A porcentagem expressa nos resultados equivale a relação entre a água em função da massa de cimento.

3.3 TEMPO DE PEGA INICIAL E FINAL

O tempo de pega é determinante para que se possa estabelecer o período ao qual se pode trabalhar com o composto no estado fresco (início de pega), e em seu limite de manuseio (fim de pega), seja pasta, argamassa ou o concreto; deste modo, a atuação de cada adição é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Representação do início e fim de pega das composições testadas.

Tendo como base o tempo da composição convencional, ao qual é composta por cimento + água nas mesmas proporções obtidas de acordo com o ensaio de consistência normal da pasta, pode-se observar que os pigmentos aceleram a pega inicial por necessitarem de menor quantidade de água para sua hidratação total e retardam a pega final; porém, ao empregar o tensoativo nas composições, o início de pega se assemelha da composição convencional e a pega final tem aumento expressivo.

O aumento significativo do tempo de fim de pega para as pastas aditivadas, ocorre em função da dispersão das partículas de cimento resultante da influência da incorporação de ar e simultâneo recobrimento das partículas pelo detergente, demandando mais tempo para as mesmas se aglutinarem, fator importante para a evolução da consistência da pasta e tempo de pega.

4.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de resistência à compressão foi adotado para se analisar a atuação dos pigmentos e do detergente na argamassa. Para tanto, fixou-se as quantidades de agregado miúdo, aglomerante e água conforme previsto na NBR 7215. As quantidades de pigmento e de detergente utilizadas seguem os padrões adotados nos ensaios de teste de fluidez da pasta cimentícia, consistência normal e tempo de pega. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Resistência à compressão axial de acordo com a idade de rompimento.

Há similaridade entre as resistências com 28 dias de idade sem o emprego de detergente para ambos os pigmentos, porém, se tratando da argamassa de cimento com pigmento vermelho, nas idades de 7 e 28 dias a tendência de aumento na resistência provavelmente se deve à forma e ao diâmetro médio das partículas ser menor que o do grão do cimento, favorecendo o fechamento dos poros (10). Tais partículas podem alojar-se entre os grãos de clínquer promovendo melhor empacotamento e melhor dispersão dentro da mistura (11).

A adição do detergente diminuiu significativamente a resistência do cimento. Esse comportamento possivelmente está associado a elevada incorporação de ar e aprisionamento de água no interior dos corpos de prova. O efeito da absorção de água na resistência à compressão pode ser observado nas Figuras 3, 4 e 5.

Figura 3 - Relação entre a quantidade de água incorporada e resistência com 3 dias.

Figura 4 - Relação entre a quantidade de água incorporada e resistência com 7 dias.

Figura 5 - Relação entre a quantidade de água incorporada e resistência com 28 dias.

Conforme apresentado nas Figuras 3, 4 e 5, e de acordo com Romano, R. S. O. (1), a incorporação de ar no estado fresco provoca o aumento de coesão e trabalhabilidade da argamassa de cimento, porém, no estado endurecido a torna mais porosa, aumentando a frequência de vazios e, consequentemente, reduz a resistência mecânica à compressão axial e seu módulo de elasticidade. Romano, R. S. O. (1) ressalta também que a qualidade e resistência dos materiais cimentícios pode ser afetada pelo tipo de cimento empregado, relação água/cimento, tipo e teor de aditivo.

Ademais, o detergente possivelmente incorporou ar e elevou a capacidade de retenção do corpo de prova. Os resultados sugerem que a combinação de porosidade e retenção de água são os responsáveis pela redução na resistência à compressão axial.

4.4 ANÁLISE DA MORFOLOGIA DA SEÇÃO TRANSVERSAL

A permeabilidade é um dos fatores principais para se determinar a vida útil de materiais cimentícios. Sendo assim, vazios presentes na estrutura da argamassa são propícios a possibilitar a percolação de fluidos (12,13). Tal morfologia é evidenciada nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Morfologia das argamassas com aumento de 32X: acima estão apresentadas as argamassas de composição convencional (A), com pigmento azul (B), e com pigmento vermelho (C); moldadas sem o emprego de tensoativos.

Figura 7 – Morfologia das argamassas com aumento 32X: D (com adição de pigmento azul) e E (com adição de pigmento vermelho); ambas moldadas com a utilização de detergente neutro como aditivo tensoativo.

Comparando as Figuras 6 e 7, fica evidente que ao acrescentar o detergente como agente tensoativo, há grande aumento da quantidade de poros (círculos amarelos) presentes na microestrutura das composições contendo pigmento.

De tal modo, o aumento na porosidade das composições com tensoativo explica a perda de resistência à compressão axial, devido a elevada concentração de vazios na estrutura interna da argamassa. Esses vazios também podem reduzir a vida útil do sistema, já que foi constatado ligação direta entre capilares e poros, tornando a argamassa mais permeável e suscetível à incorporação de água em seu interior,

conforme observado na relação incorporação de água/resistência com os dados obtidos da compressão axial.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudada a influência da adição de pigmentos e detergente em argamassa. Constatou-se que os pigmentos necessitam de maior quantidade de água para sua total hidratação e no teste de consistência normal da pasta de cimento verificou-se que o detergente incorpora ar, contribuindo para a redução do fator A/C. Também foi notado que para substituição do aditivo superplastificante em materiais cimentícios, deve haver alto controle tecnológico para a preparação e dosagem do incorporador de ar, já que este, em quantidades elevadas, tende a reduzir a resistência e aumentar a quantidade de poros, contribuindo para possíveis patologias futuras.

AGRADECIMENTOS

Eng. Ricardo de Lima (Microcolor Indústria e Comércio LTDA), Romeci Sales e Mohamad Harati (Polimix Agregados IRO Indústria de Reciclagem e Comércio de Materiais de Construção LTDA); MSc. Rafael Rocha Maia (PoliUSP – PMT); Dra. Camila de Paula Oliveira, Igor Novais Santos, Mateus de Macedo e Eng. Vinicius Oliveira Lima (UMC Villa Lobos).

REFERÊNCIAS

- [1] COELHO, F. C. A., Variación del calor y textura de hormigones vistos con adición de pigmentos inorgánicos, sometidos a distintos estados de exposición ambiental. Tese (Doutorado em Ingeniero de Caminos Canales y Puertos). Universidad Politécnica de Madrid, U. P. Madrid, Espanha, 2001.
- [2] LEE, H. S. LEE, J. Y., YU, M. Y. Influence of inorganic pigments on the fluidity of cement mortars. *Cement and Concrete Research*, v.35, p. 703-710, 2005.
- [3] METHA, K.; MONTEIRO, J. M., *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: PINI, 1994
- [4] NEVILLE, A. M. *Propriedades do concreto*. 2. Ed. São Paulo: PINI, 1997..
- [5] HENDGES, Et al. Resistência á compressão, custo e coloração de concretos produzidos com pigmentos e cimentos Portland cinza e branco. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 46º, Florianópolis, 2004. Anais... São Paulo: Instituto Brasileiro do concreto, 2004 (CD-ROM).
- [6] MONTEDO, O.R.K; BERTAN, F.M; PICCOLI, R.; HOTZA.D; OLIVEIRA, A.P.N de., Obtenção de pigmento de óxido de ferro a partir de resíduos siderúrgicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 48º, 2004, Curitiba. Anais... Curitiba: 2004 .1-7.
- [7] ROJAS, D. L. Durabilidade do concreto colorido. Technical Service, Bayer. São Paulo, 30/09/2001.
- [8] AGUIAR, C.A. Concreto de Cimento Portland Branco Estrutural: Análise da Adição de Pigmentos quanto á Resistência á Compressão. 2006. 84 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2006.
- [9] ROMANO, R. C. de O., Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil. 2013. 227 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [10] PIOVESAN, A.Z. Estudo sobre a influência da adição de pigmentos em propriedades de durabilidade e na cromacidade do concreto de cimento Portland branco. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- [11] CABRERA, O., BONAVETTI, V. DONZA, H., IRASSAR, E. F. Efecto del curado em la evolución de la resistencia de hormigones con filler calcáreo. In: 1 er Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón. Anais. Buenos Aires, Argentina. Asociación Argentina de Tecnología del hormigón. Jun/1998. p. 183-194.
- [12] CARE, S., DERKX, F. Determination of relevant parameters influencing gas permeability of mortars. *Construction and Building Materials* 25 (2011) 1248 – 1256.
- [13] SENTONE, D. T. Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimento de argamassa. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2011. 139p.

Capítulo 22

Influência da adição de fibra de carbono na resistência à compressão e no processo de conformação de argamassas

Igor Novais Santos

Camila Fernanda de Paula Oliveira

Pedro Garcia Lins

Jorge Santos Lyra

Gibran da Cunha Vasconcelos

Éder Baroni da Silveira.

Resumo: O presente trabalho analisa a viabilidade técnica para aplicação da fibra de carbono como adição em argamassas. Para tal finalidade, estudou-se o comprimento ideal de fibra (1, 2 e 3 cm), assim como o melhor método de adição da mesma na argamassa para se obter dispersão adequada. Foram realizados testes de resistência à compressão – NBR 7215:1997, utilizando cimento CP V-ARI, e concentrações de fibra de 0,5%, 1% e 1,5% em massa de cimento. A morfologia foi analisada com lupa estereoscópica, notando-se bom envolvimento da massa na fibra, podendo ser um indicativo de boa adesão interfacial. No ensaio de resistência à compressão, verificou-se que a melhora na resistência não é contínua em função do aumento da concentração de fibra, existindo uma concentração ótima – 1% – que atingiu melhor desempenho aos 7 dias com incremento de 9% na resistência à compressão, aumento que não se manteve ao término dos 28 dias.

Palavras-chave: Argamassa. Fibra de Carbono. Resistência à Compressão.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil sempre fez parte da história da sociedade, desde os tempos antigos era um dos mais fascinantes eixos idealizadores da civilização. Estando sempre em constante crescimento, busca cada vez mais sintetizar a sustentabilidade e a tecnologia de aplicação de novos materiais, revolucionando e suprimindo às exigências da sociedade moderna.

O emprego dos materiais de construção adequados é de extrema importância para garantir a qualidade e estabilidade das edificações, por isso, se faz necessário pesquisa e desenvolvimento (P&D) nesta área. A argamassa, utilizada em diversos projetos de engenharia civil, requer cuidado no seu preparo e dosagem, principalmente quando há algum tipo de adição, como no caso do presente trabalho, que adicionou fibra de carbono.

A argamassa é um material de destaque quando se trata de construção. Segundo Ambrozewicz [1], a argamassa é um elemento destinado a unir os blocos entre si, [...] podendo ser empregadas como revestimento de pisos, tetos e paredes (emboço e reboco) ou no assentamento de tijolos, blocos, azulejos e ladrilhos, reparos de obras de concreto, injeções. A resistência mecânica de uma argamassa de cimento depende de alguns aspectos, como a coesão de sua pasta, a sua aderência às partículas de agregados e, até certo ponto, da resistência do agregado em si. Outros fatores importantes são a trabalhabilidade da massa (quantidade de energia interna útil necessária para produzir o adensamento total) e a consistência da mistura, ou seja, a facilidade com a qual ela flui [2].

A argamassa é uma parte vital da alvenaria, ela serve para acomodar suas respectivas unidades, dando-lhes apoio umas às outras, mesmo com as irregularidades da superfície. Proporciona vedação entre as unidades, impedindo penetração de água e vento, além de aderir as unidades umas às outras, formando uma unidade estrutural monolítica. Para última aplicação, a adição de fibra de carbono pode melhorar as propriedades mecânicas na região de ligamento [3].

Existem argamassas de cimento, de cal e a mista (tipo mais característico). A que é feita apenas com cimento Portland é ‘áspera’ e por isso não flui bem, sendo necessária a adição de cal para dar suavidade e trabalhabilidade [4]. Além disso, o uso de cal hidratada contribui muito pouco para a resistência à compressão das argamassas, no entanto, o seu uso se faz necessário pela sua grande capacidade de absorver deformações [1]. Sendo assim, optou-se por utilizar nos experimentos deste trabalho a argamassa mista, buscando se aproximar o máximo do material convencional mais empregado nas obras.

A utilização de adições em argamassas é uma das técnicas que tem se destacado nos últimos anos, tendo como finalidade melhorar a trabalhabilidade, resistência à compressão e retardar as reações químicas que ocorrem na mesma [5]. A fibra de carbono é comumente utilizada para solicitações de tração, entretanto, também possui notável resistência à compressão quando utilizada como adição em argamassas. Segundo Figueiredo [6], isso ocorre porque a fibra atua como ponte de transferência de tensão das fissuras, aumentando a resistência pós-fissuração. Para situações como essa, o tamanho da fibra deve ser controlado, se muito comprida poderá se romper e não apresentar ganho de resistência após a fissuração.

Inúmeros fatores referentes à fibra são de extrema importância para a sua utilização como reforço: o tipo, suas propriedades, comprimento, teor, volume, orientação e dispersão. As características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não dependem somente das propriedades da fibra, mas também do grau segundo o qual uma carga aplicada é transmitida para as fibras pela fase matriz [7]. Essa transmissão está diretamente ligada à aderência entre a fibra e a matriz. A superfície da fibra e sua natureza química impactam na aderência fibra-matriz, o que influencia nas propriedades mecânicas de módulo de elasticidade e a resistência à tração [8].

Além disso, a ligação mecânica entre a fibra e a matriz envolve ancoramento mecânico na interface. A resistência desse tipo de interface geralmente não é de grande magnitude quando submetida a esforços de tensão transversal, a menos que exista um grande número de reentrâncias, na forma de microporosidade, na superfície do reforço [9].

As fibras foram adicionadas à argamassa aleatoriamente e sem orientação pré-estabelecida (fibras curtas), sendo sua contribuição para as propriedades mecânicas do compósito inferior ao das fibras longas orientadas paralelamente à carga, isto é, a eficiência das fibras curtas e inclinadas é menor [10]. Quanto ao comprimento da fibra, um dos principais fatores segundo Figueiredo [6] é a geometria da fibra, que requer maior quantidade de água e produz a perda da mobilidade do concreto no estado fresco. Além disso, nos compósitos com fibras curtas, o comprimento da fibra não é suficiente para aumentar significativamente a resistência [7].

O mecanismo de atuação das fibras pode ser entendido pelo aumento do número de fissuras com largura e área total menores (Figura 1). Isto é decorrente da sua habilidade em melhorar a capacidade de deformação dos compósitos [11]. Quando a aderência é boa, aparecem muitas microfissuras, do contrário, aparecem poucas fissuras de maiores dimensões [1]. Fica claro também a necessidade de se alcançar boa dispersão das mesmas na matriz.

Figura 1 - Mecanismo de aumento na tenacidade à flexão de concreto com fibras

Fonte: Mehta e Monteiro

Além disso, “a fibra de carbono oferece vantagens como, alta resistência mecânica, alto módulo de elasticidade e baixa massa específica, além de propriedades como inércia química, resistência térmica e condutividade elétrica” [13]. No entanto, sem a utilização de uma matriz que a aglutine, proteja e a estabilize geometricamente, poderia ser empregada apenas em componentes submetidos a esforços de tração [9].

“Dentre os fatores geométricos, o fator de forma, ou relação de aspecto, é um dos principais parâmetros de caracterização de uma fibra” [8], que é definido como a relação entre o comprimento da fibra e o seu diâmetro equivalente. Segundo Figueiredo [14] desde que não se exceda o comprimento crítico da fibra, quanto maior for o fator de forma da fibra, maior será a capacidade resistente pós-fissuração da argamassa.

Com relação ao teor de fibra, quanto maior ele for, maior a probabilidade de que a fibra intercepte a fissura, já que o número de fibras dispostas na matriz é maior [15]. Contudo, existe um volume crítico de fibra a se empregar na argamassa, sendo que, para que haja um aumento da resistência última do compósito, devido à inserção das fibras, é essencial que o teor de fibra empregado resulte num volume de fibras excedente ao crítico [8].

Dado o contexto, o presente trabalho tem como propósito caracterizar o desempenho do compósito formado entre a fibra de carbono/argamassa, quanto a resistência à compressão, apontando também os efeitos da incorporação da fibra no processo de conformação da argamassa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A princípio foi realizada a caracterização dos componentes a serem utilizados nos experimentos: cimento, água, areia e fibra. Realizando a granulometria dos agregados – NBR NM 248; massa específica do agregado miúdo – NBR NM 52 e massa unitária do agregado miúdo – NBR NM 45.

Utilizou-se nos ensaios fibra de carbono do tipo CARBONTAPE 32U-50 de 12K, fornecida pela Texiglass. É formada por 12.000 filamentos de carbono em cada fio, sendo 91% (fibra de carbono) e 9% (fibra de vidro). Fibra sintética, cuja superfície possui o tratamento polimérico size que reduz as irregularidades superficiais. Suas principais propriedades são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Dados da fibra de carbono utilizada

Propriedade	Unidade	Fibra de Carbono
Densidade	g/cm ²	1,76
Elongação até a ruptura	%	1,9
Módulo de Elasticidade	GPa	240
Resistência à Tração	MPa	4500
Efeito do calor	-	Oxida a > 316° C

Fonte: Texiglass Indústria e Comércio Têxtil.

O traço estabelecido para a argamassa foi definido segundo a Norma Britânica BS 5628-1:1992 (Tabela 2). Em seguida, analisou-se os comprimentos de fibras nas dimensões de 1, 2 e 3 cm, utilizando cimento CP V-ARI (Alta Resistência Inicial). Posteriormente, com o comprimento de fibra fixado, avaliou-se teores de fibra nas proporções de 0; 0,5; 1 e 1,5% da massa de cimento, utilizando nestes, realizando a ruptura dos corpos de prova com 7 e 28 dias.

Tabela 2 - Traço estabelecido para a argamassa

Componente	Cimento	Cal	Areia	Água
Argamassa	1	0,25	3	0,48

A fibra de carbono, foi desmembrada antes da aplicação para se ter maior alcance de atuação e melhor dispersão no corpo-de-prova (Figura 2 – A), sendo misturada ao cimento antes do preparo da argamassa (Figura 2 – B).

Figura 2 - Fibra de carbono desmembrada (A) e misturada ao cimento (B)

A moldagem e o ensaio de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias foram realizados seguindo as especificações da NBR 7215. Sendo os ensaios de resistência à compressão realizados no laboratório do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) utilizando a máquina Instron, modelo 5585H (EUA).

A morfologia do compósito final foi analisada a partir de imagens obtidas pela Lupa Estereoscópica ZEISS, modelo AxioCam ICc 3 (Alemanha), com faixa de ampliação de até 50X.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COMPRIMENTO DA FIBRA

Com os resultados obtidos no experimento (Figura 3), considerando o desvio padrão, pôde-se verificar que a resistência à compressão de cada uma das composições (1, 2 e 3 cm de fibra) apresentaram propriedades similares no 3º dia de ruptura. Já no 7º dia de ruptura houve mudança de valores, havendo melhoras significativas da composição de 2 cm em relação à de 1 cm. As composições de 2 e 3 cm estão tecnicamente empadas, no entanto, alguns dos corpos de prova de 2 cm apresentaram melhor desempenho em relação aos de 3 cm.

Figura 3 - Resistências correspondentes aos comprimentos de fibra analisadas na argamassa

Portanto, apesar da regularidade apresentada no 3º dia de rompimento dos corpos-de-prova, o limite superior apresentado pela composição com 2 cm de fibra na idade de 7 dias foi o melhor dentre as demais, e por isso estabeleceu-se essa dimensão a ser utilizada nos experimentos subsequentes.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão da argamassa são apresentados na Figura 10. Constata-se que para o 7º dia o aumento em resistência à compressão não é contínuo em função do aumento da concentração de fibra, existindo uma concentração ótima de 1% em massa que obteve os melhores resultados, atingindo aumento de 9%, equivalente a 2,79 MPa em relação a argamassa sem fibra. Entretanto, esse desempenho não se manteve para os resultados do 28º dia, e as composições de 0% e 0,5% se mantiveram dentro do desvio padrão, ficando um pouco acima da composição de 1%.

Figura 4 - Resultados da resistência à compressão da argamassa

Para melhorar o desempenho da fibra de carbono na argamassa deve-se optar por utilizar aquelas que não recebem o tratamento polimérico na superfície (size), pois apresentam maior rugosidade superficial, facilitando a aderência com a matriz. As fibras que recebem tratamento por oxidação utilizando um meio ácido para aumento da rugosidade superficial é uma alternativa interessante, já que a oxidação “resulta,

normalmente, no aumento da área superficial específica e da molhabilidade, que por sua vez resulta no aumento da resistência ao cisalhamento interlaminar” [16], melhorando a interação fibra/matriz.

3.3 MORFOLOGIA

Na morfologia apresentada na Figura 6, representativa de todos os corpos de prova com fibra, nota-se que as fibras estão concentradas em aglomerados (seta branca) e que sua adesão com a fase matriz é suficiente para transferência de tensões durante a solicitação mecânica, visto que não houve destacamento. A formação de aglomerados sugere ineficiência no processo de mistura para dispersão das fibras, o que pode comprometer a eficiência em ganhos de propriedades de resistência à compressão. Apesar da formação de aglomerados e do tratamento superficial da fibra não ser o mais adequado para o sistema estudado, o envolvimento da matriz ao redor da fibra e a dificuldade para destacar as fibras sugerem que a adesão não é tão fraca.

Figura 6 – Análise da morfologia do compósito pós-ensaio com ampliação de 40X, realizada com o auxílio de uma lupa estereoscópica.

CONCLUSÃO

A fibra de carbono mostrou-se adequada para aplicação como adição em argamassas, visto que a composição de 1% obteve ganhos de resistência inicial à compressão, sendo esta de grande valia para a aplicação na construção civil, já que a necessidade de se reduzir o tempo nas obras e a garantia de resistência mínima com poucas idades é uma propriedade desejada.

Contudo, a perda de resistência das demais composições com fibra possivelmente estão associadas à dispersão ineficiente destas na argamassa, o que sugere a substituição desse tipo de fibra. Uma alternativa e sugestão para trabalhos futuros seria a utilização de fibra de carbono sem o tratamento polimérico superficial (size), que aparentemente teria melhor afinidade com argamassa, facilitando sua dispersão na matriz.

AGRADECIMENTOS

Ana Lúcia da Silva Lino, Luis Gustavo Zerbato Sanchez, Mateus de Macedo e Eng. Vinicius Oliveira Lima (UMC), Sr. Romeci Sales e Sr. Mohamad Harati (Polimix), Rafael R. Maia (PoliUSP).

REFERÊNCIAS

- [1] AMBROZEWICZ, P. H. L. Materiais de Construção: Normas, Especificações, Aplicação e Ensaio de Laboratório. São Paulo - SP: PINI, 2012.
- [2] NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- [3] ADÃO, F. X. e HEMERLY, A. C. Concreto Armado: Novo Milênio, Cálculo Prático e Econômico. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- [4] ALLEN, E. e IANO, J. Fundamentos da Engenharia de Edificações: Materiais e Métodos 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- [5] CARVALHO, R. C. e FILHO, J. R. d. F. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2003. 3. ed. São Carlos - SP: EdUFSCar, 2013.
- [6] FIGUEIREDO, A. D. d. Concreto com Fibras de Aço. São Paulo: EPUSP, 2000.
- [7] CALLISTER, J. W. D. e RETHWISCH, D. G. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- [8] ISAIA, G. C. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais vol.2. São Paulo: IBRACON, 2010.
- [9] NETO, F. L. e PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2016.
- [10] BENTUR, A. e MINDESS, S. Fibre Reinforced Cementitious Composites. London and New York: Modern concrete technology series, 2007.
- [11] BALAGURU, P. N. e SHAH, S. P. Fiber Reinforced Cement Composites. McGraw-Hill, 1992.
- [12] MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. The McGraw- Hill Companies, 2013.
- [13] BURAKOWSKI, L. Tratamento superficial de Fibras de Carbono. São José dos Campos - SP: ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2000.
- [14] FIGUEIREDO, A. D. d. Concreto Reforçado com Fibras. São Paulo, 2011.
- [15] TANESI, J. e FIGUEIREDO, A. D. Fissuração por retração em Concretos Reforçados com Fibras de Polipropileno (CRFP). São Paulo: EPUSP, 1999.
- [16] NOHARA, L. B. e REZENDE, M. C. Estudo da morfologia da interface/interfase de compósitos fibra de carbono/matriz termoplásticas. Natal, 2002.

Capítulo 23

Aplicação de concreto resfriado em fundações de edifício residencial: Estudo de caso em Natal/RN

Ítalo Vale Monte Júnior

Danyel Flávio Lopes de Paiva

Hugo Alessandro Almeida Diniz

Lucy Kheyler Maciel de Mendonça

Cinthia Maia Pederneiras

Resumo: Trata-se de um estudo de caso com monitoramento e análise do comportamento térmico do concreto utilizado nas fundações de um edifício residencial em Natal/RN, através do registro da temperatura média do elemento estrutural nas primeiras idades, a cada duas horas, durante cinco dias consecutivos após a concretagem. Para tanto, foi acompanhada a evolução da temperatura do concreto pré-resfriado, com F_{ck} de 40 MPa, usinado com a substituição parcial e/ou total da água de amassamento por gelo. Os resultados demonstraram que tanto os blocos com substituição de 40% da água de amassamento por gelo, como os blocos com 100% de substituição, apresentaram temperaturas acima do esperado. Foi observado ainda que questões geométricas dos blocos influenciaram nas temperaturas alcançadas, sendo o maior pico de temperatura apresentado pelo bloco F, 55 °C no segundo dia de controle. Fatores como temperatura ambiente na hora da concretagem também influenciaram nas temperaturas de hidratação verificadas.

Palavras-chave: Temperatura do concreto. Concreto resfriado. Fissuração plástica do concreto.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material heterogêneo cujos componentes constituintes possuem diferentes propriedades térmicas. Dessa forma, vários fatores como os tipos de materiais utilizados, o volume de agregados, o teor de água, a porosidade resultante, podem afetar as propriedades térmicas do compósito.

Uma peça de concreto com dimensões tais que necessitem de medidas a serem tomadas para minimizar a geração de calor de hidratação do cimento e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras é chamado de concreto massa (1).

A retração ou contração térmica do concreto ocorre devido ao seu resfriamento nas primeiras idades, e se inicia após a expansão do concreto, a qual é resultante da elevação da temperatura gerada pelo calor de hidratação (2). Este fenômeno é normalmente observado em estruturas de grande porte, e as altas temperaturas geradas são resultantes tanto do calor de hidratação do cimento como da dificuldade ou das condições em que essas estruturas de concreto têm de dissipar o calor (3).

Durante a hidratação do cimento ocorre uma reação exotérmica, liberando calor no período de endurecimento do concreto. Este calor de hidratação produz gradientes térmicos, resultando em tensões térmicas e, conseqüentemente, no aparecimento de fissuras (4). O calor gerado que não escapa para o meio ambiente é retido, causando aumento de temperatura e expansão no concreto. Isto ocorre devido à baixa condutividade térmica do compósito que evita uma dissipação rápida do calor em peças mais espessas, como no caso do concreto massa. Quando a espessura da peça é superior a 1 metro, o centro está praticamente em condições adiabáticas, porque o concreto é um mau condutor de calor (1,5 a 1,8 W/m/K) (5).

A manifestação patológica relacionada com a retração térmica é a fissuração do concreto. Essa retração pode levar a uma deterioração das estruturas tendo em vista a abertura de um caminho livre para a percolação de água, iniciando um processo de lixiviação do concreto. Essas fissuras podem ainda promover a penetração de agentes agressivos e contribuindo para a corrosão das armaduras. Sendo assim, o controle de fissuração em estruturas de concreto é importante para garantir a durabilidade desde as primeiras idades (2).

Além dos constituintes que influenciam no aumento da temperatura final do concreto, fatores ambientais afetam a perda de água por evaporação, como por exemplo as condições climáticas do dia da concretagem, contribuindo para o aparecimento das fissuras após o lançamento e acabamento final da peça estrutural. A previsão da evolução da temperatura do concreto devido ao calor de hidratação em estruturas é um problema de grande complexidade (6). A temperatura é então um parâmetro importante no controle tecnológico, devendo ser monitorada, principalmente, em obras com elementos estruturais com grandes volumes.

Em muitos casos, é necessária a pré-refrigeração do concreto com a utilização de gelo em substituição parcial à água, de ar frio, de água gelada ou nitrogênio líquido, e até mesmo a refrigeração dos agregados para reduzir-se a temperatura de lançamento (2).

A água de amassamento tem o maior efeito na temperatura do concreto por unidade de peso dentre todos os demais componentes. O uso de água de amassamento resfriada e/ou gelo na mistura é a melhor maneira de reduzir a temperatura do concreto porque o gelo absorve 80 cal/g ao derreter (3).

Sendo assim, esse trabalho se propõe a monitorar e analisar a evolução da temperatura de um concreto massa, aplicado em blocos de fundação de um edifício residencial localizado na cidade de Natal/RN, no qual parte da água de amassamento foi substituído por gelo, com o objetivo de reduzir a temperatura do concreto.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As fundações do edifício residencial em estudo são constituídas por estacas hélices contínua, com diâmetro variando entre 40 e 80 cm, sendo coroadas por blocos em concreto armado, interligados por cintas.

Apresentando nove configurações diferentes, em função do número de estacas coroadas, os blocos possuem volume de concreto variando entre 0,65 m³ (uma estaca $\approx$ 40 cm) e 151,06 m³ (treze estacas $\approx$ 80 cm), sendo o sistema de fôrmas executado em alvenaria de uma vez com bloco cerâmico, estruturada por cintas e pilaretes em concreto armado.

Nas Figuras 1a e 1b, exemplificam-se as fôrmas dos blocos cujos volumes de concreto são 151,06 m³, 37,49 m³ e 20,16 m³.

Figura 1 – Sistema de fôrmas - a) Elevação da alvenaria para os blocos; b) Fôrmas concluídas

O concreto foi produzido para uma resistência à compressão axial, aos 28 dias, de 40 MPa, com um consumo de cimento em 375 kg/m³, abatimento 100 ± 20 mm, brita de origem granítica, e substituição parcial e/ou total da água de amassamento por gelo que foi aplicado na própria usina, sendo a concretagem de cada bloco de coroamento realizada em camada única.

A Tabela 1 apresenta as características dos blocos monitorados.

Tabela 1 – Características dos blocos de coroamento monitorados

Nomenclatura do bloco	Dimensões (cm)	Volume de concreto (m ³)	Quantidade e diâmetro das estacas
A	350 x 630 x 170 (h)	52,96	8 $\varnothing$ 70 cm
D	330 x 530 x 215 (h)	37,60	6 $\varnothing$ 80 cm
E	480 x 530 x 215 (h)	54,70	7 $\varnothing$ 80 cm
F	830 x 650 x 280 (h)	151,06	13 $\varnothing$ 80 cm

Para o controle tecnológico, os blocos de coroamento foram analisados em dois agrupamentos: (i) volume 37,60 m³ (bloco D), com substituição de 40% da água de amassamento por gelo, teve a temperatura medida apenas no momento do lançamento; (ii) os blocos com volume acima de 50 m³ (blocos A, E e F), com substituição de 100% da água de amassamento, tiveram as temperaturas monitoradas desde o lançamento até cinco dias após a concretagem com intervalos de medição de duas horas.

Era previsto que a temperatura do concreto durante o descarregamento seria no máximo 20 e 24 °C, para as peças com volume superior e inferior a 50 m³, respectivamente.

Procedeu-se a aferição das temperaturas ambiente e do concreto com um termômetro digital tipo espeto a prova d'água, com haste de 15 cm em aço inox, escala de leitura entre -50 °C a 300 °C, e precisão de 1° C.

As Figuras 2a, 2b e 2c, demonstram a aferição das temperaturas ambiente, do concreto no estado plástico - recebimento na obra, e durante o período de controle de 5 dias, respectivamente.

Figura 2 – Aferição da temperatura com termômetro digital - a) Ambiente (33 °C); b) Concreto no estado plástico (27 °C); c) Concreto no estado endurecido (53 °C).

Para aferição das temperaturas no concreto após o início da pega foram introduzidos verticalmente nos blocos de coroamento quatro tubos em PVC posicionados nos cruzamentos dos terços médios, conforme o esquema na Figura 3. Os tubos foram preenchidos com água, objetivando que esta entrasse em equilíbrio térmico com o interior da massa de concreto. Considerou-se a temperatura do concreto equivalente à média das quatro medições realizadas.

Figura 3 – Posicionamento dos pontos de medição da temperatura - a) Detalhe na Planta de Corte AA', b) Detalhe na Planta Baixa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A localização dos pontos de monitoramento da temperatura do concreto pelo terço médio das dimensões do bloco de coroamento investiga o parâmetro, apenas, nas porções mais centrais do elemento estrutural, nesse caso impedindo uma análise do gradiente de temperatura entre a superfície e o centro da peça. Esse gradiente se traduz em retração térmica diferencial, que durante o esfriamento, a temperatura da superfície diminui muito mais rápido do que a do centro da estrutura, potencializando a fissuração superficial da peça, se as tensões de tração na superfície forem superiores à sua resistência à tração (5).

Na Tabela 2, observa-se que a variação na temperatura do concreto no estado plástico, para os blocos com volume de concreto igual a 37,6 m³ (blocos D), ocorreu entre 24 °C (T_{min}) e 30 °C (T_{máx}), com temperatura média no lançamento de 27 °C, superando a expectativa inicial de 24 °C. A temperatura e coeficiente de variação (8,7%) máximos, foram registrados no bloco D (P17) quando a concretagem ocorreu no período da tarde.

Tabela 2 – Controle da temperatura do concreto no estado plástico – recebimento na obra

Bloco / Pilar	Horário (h:min)		Variações da temperatura (°C)				
	Início	Término	T _{min}	T _{máx}	T _{méd}	Desvio Padrão	Coeficiente Variação (%)
D (P19)	8:30	11:32	24	27	26	1,30	5,1
D (P18)	8:54	12:27	26	29	28	1,14	4,1
D (P17)	13:49	17:05	25	30	28	2,41	8,7
D (P14)	9:13	13:16	24	27	26	1,34	5,2
D (P11)	8:47	14:13	24	25	25	0,55	2,2
E (P13)	8:41	13:15	23	27	25	1,35	5,4
D (P10)	9:06	12:02	26	29	28	1,22	4,4
F (P5, P8)	8:55	20:31	20	26	24	1,71	7,2
A (P1, P3)	8:19	13:05	21	26	23	1,7	7,5

Essa temperatura elevada do concreto fresco resulta em uma hidratação do cimento mais rápida e leva, portanto, a pega acelerada e menor resistência em longo prazo do concreto endurecido (7).

Constatado que a temperatura do concreto no lançamento para os blocos D, com 40% de substituição da água de amassamento ficou acima do previsto, optou-se por substituir 100% da água por gelo, além de resfriar o agregado graúdo com banho de água gelada para os blocos com volume de concreto superior a 50 m³ (blocos A, E e F).

A variação da temperatura para os blocos A, E e F, esteve entre 20 °C (T_{min}) e 27 °C (T_{máx}). O bloco E obteve o menor coeficiente de variação para as temperaturas mínima e máxima (5,4%), porém registrou as maiores temperaturas 23 °C (T_{min}) e 27°C (T_{máx}), sendo a temperatura média igual a 25 °C.

Os blocos A e F apresentaram os coeficientes de variação 7,5% e 7,2%, respectivamente, sendo as temperaturas médias de 23 °C para o bloco A e 24 °C para o bloco F. Se comparados ao bloco E, o aumento na variação da temperatura do concreto no estado plástico foi promovido pela redução nas temperaturas mínimas, sendo 20 °C para o bloco F e 21 °C para o bloco A. Esse fato pode ser atribuído a possível falha na continuidade do resfriamento da brita, visto que as menores temperaturas foram registradas nas primeiras medições.

A Figura 4 demonstra que o pico de temperatura do concreto no bloco E foi de

54 °C, registrado após 18 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 29 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 15 °C, após 80 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

Figura 4 – Evolução da temperatura no bloco de fundação (E) com volume de 54,70 m³

Na Figura 5, observa-se que o pico de temperatura do concreto, no bloco F, foi de 55 °C, registrado após 17 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 31 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 10 °C, após 66 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 7 °C.

Figura 5 – Evolução da temperatura no bloco de fundação com volume de 151,06 m³

Na Figura 6 observa-se que o pico de temperatura do concreto, no bloco A, foi de 51 °C, registrado após 23 horas do lançamento. A elevação da temperatura do concreto (ΔT_{Aq}) foi de 28 °C, sendo registrada uma redução na temperatura (ΔT_{Rf}) de 13 °C, após 66 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

Figura 6 – Evolução da temperatura no bloco de fundação com volume de 52,96 m³

Os gradientes térmicos no concreto são influenciados, entre outros fatores, pela geometria da peça estrutural, sendo o volume relacionado ao aquecimento - conduzido pelo calor de hidratação do cimento e a área superficial ao resfriamento - promovendo equilíbrio térmico com o ambiente.

Considerando que o sistema de fôrmas atuou como material isolante, a troca de calor entre o concreto e o ambiente ocorreu fundamentalmente na parte superior do bloco de coroamento. Assim, observando a evolução da temperatura do concreto a luz da relação volume/superfície (V/S) em cada peça estrutural, percebeu-se que o resfriamento do compósito tem relação inversa à variável V/S. O bloco E, com menor V/S (2,15 m) obteve a maior variação de temperatura que foi de 15 °C. Já o bloco F, com maior V/S (2,80 m), apresentou a menor variação 10 °C.

O aumento na temperatura do concreto tem relação direta ao volume e altura da peça estrutural, uma vez que esses fatores são preponderantes para a dissipação do calor. O bloco A, com menor volume e altura, apresentou a menor variação no aquecimento, que foi de 28 °C. Já o bloco F, com maior volume e altura, apresentou a variação de 31 °C.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados encontrados constatou-se que:

Os pontos de monitoramento da temperatura concentrados apenas na parte central da peça estrutural, formados a partir dos terços médios entre largura e comprimento, impossibilitaram analisar os gradientes térmicos;

A substituição de 40% da água de amassamento por gelo, nos blocos D, não foi eficiente o suficiente para que as temperaturas dos compósitos durante o lançamento registrassem 24 °C. Tais blocos atingiram temperaturas médias de 27°C, portanto, a maior substituição da fração de água por gelo se mostrou necessária;

Nos blocos com volumes acima de 50m³, além da substituição de 100% da água por gelo, foi realizado o resfriamento do agregado graúdo. Ainda assim, a maior média de temperatura alcançada foi de 25°C, superior a temperatura requerida de 20°C para tais blocos.

O pico máximo de temperatura do concreto foi de 55 °C, ocorrendo no bloco F de maiores volume e altura, após 17 horas do lançamento, para uma formulação do compósito com consumo de cimento em 375 kg/m³, brita granítica e substituição total da água de amassamento por gelo;

O resfriamento do concreto em endurecimento ocorreu de forma inversa à relação volume/superfície da peça estrutural, sendo a maior variação de 15 °C, registrada após 80 horas de atingido o pico de temperatura para uma variação na temperatura ambiente de 11 °C.

Sendo assim, o acompanhamento da evolução da temperatura em blocos de coroamento de grandes volumes é recomendado de forma a minimizar o surgimento de fissuras e consequentemente, contribuir para uma maior durabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] American Concrete Institute. Cement and Concrete Terminology. ACI 318 Farmington Hills, 2005.
- [2] SANTOS, S. B.; BITTENCOURT, R. M.; GRAÇA, N. G. Efeitos da temperatura sobre o concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.) Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 705-731.
- [3] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.
- [4] DE SCHUTTER, G. Finite element simulation of thermal cracking in massive hardening concrete elements using degree of hydration based material laws. Computers & Structures, v. 80, p. 2035-2042, 2002.
- [5] ACKER, A.; TORRENTI, J.M.; GUÉRINET, M.. Controle da fissuração nas primeiras idades: condição de durabilidade das obras de concreto. In: OLLIVER, J.P.; VICHOT, A. (Ed). Durabilidade do concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. São Paulo: IBRACON, 2014. p. 181- 206.
- [6] KIM, J. K.; KIM, K. H.; YANG, J. K. Thermal analysis of hydration heat in concrete structures with pipe-cooling system. Computers & Structures, v. 79, p.163-171, 2001.
- [7] NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J.. Tecnologia do concreto. 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 161-174.

Capítulo 24

Estudo do comportamento dúctil do concreto reforçado com fibra de álcool polivinílico (PVA) dosado pelo método de empacotamento de partículas

Jéssica Andrade Dantas

Patrícia Maria do Amaral Sabatini

Marco Tadeu Nunes

Heloísa Cristina Fernandes Cordon

Resumo: A incorporação de fibras melhora o comportamento do concreto pós-fissuração e reduz sua fragilidade. Porém, alguns tipos de fibras não apresentam boa aderência à pasta de cimento, provocando escorregamento quando a tensão de tração é maior que a de aderência. Por outro lado, os concretos reforçados apresentam maiores deformações na ruptura. Para determinar o melhor empacotamento dos agregados, gera-se o esqueleto granular que servirá como parâmetro para determinar o traço do concreto pelo método do empacotamento de partículas. Ensaiou-se o concreto no estado fresco e endurecido, tanto para o traço de referência quanto para o traço com incorporação de 2% (em volume) de fibra de álcool polivinílico (PVA). Os resultados obtidos foram satisfatórios com a incorporação da fibra, como o aumento de 4,6% na resistência à compressão axial e cerca de 12,1% na resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias do concreto reforçado com relação ao concreto de referência. Já o módulo de elasticidade sofreu uma leve redução, o que era esperado devido à adição das fibras. A fibra contribuiu no comportamento pós fissuração da matriz.

1 INTRODUÇÃO

Com a finalidade de melhorar o comportamento do concreto pós-fissuração, tem-se incorporado fibra à mistura convencional, obtendo-se o chamado concreto reforçado com fibra(1). Por apresentar baixa resistência à tração, o concreto apresenta diversas fissuras, derivadas de processos como retração e fluência. Assim, de acordo com Mehta e Monteiro(1), estudou-se durante muito tempo a aplicação de fibras para aumentar substancialmente a resistência à tração do concreto, impedindo a propagação das microfissuras e retardando o processo de fissuração.

Motivou-se a busca por estudar alternativas, como a incorporação de fibras de PVA (álcool polivinílico), visando-se diminuir a taxa de aço nas estruturas, com a intenção de minimizar os custos e reduzir problemas com locomoção de material e montagem de estruturas. Este material é uma fibra sintética solúvel em água com maior produção em escala mundial, em torno de alguma centenas de kton/ano(2).

Como essas fibras apresentam uma alta aderência química à matriz cimentícia(3), a utilização de pozolanas pode melhorar o comportamento mecânico do compósito reforçado com fibra de PVA, que com o consumo de hidróxido de cálcio e a formação de composto hidratados, aumenta a resistência da matriz cimentícia(4), podendo reduzir a taxa de aço das estruturas.

1.1 OBJETIVO

Avaliar a influência da incorporação da fibra de PVA nas propriedades de estado fresco e endurecido de um concreto autoadensável formulado com base no método de empacotamento de partículas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a produção dos concretos foram o cimento CP V ARI, areia natural, areia artificial, brita 0, aditivo superplastificante, fibra de PVA e microsilica não densificada com conteúdo mínimo de 85% de SiO₂ do tipo 920U.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Todos os materiais pulverulentos e granulares utilizados (agregados, cimento e microsilica) foram caracterizados quanto à distribuição granulométrica (5) (6).

A umidade superficial dos agregados foi realizada pelo método de secagem em estufa(7) e frasco de Chapman(8), do qual se obteve os valores de 0,019%, 0,002% e 0,381%, para areia natural, areia artificial e brita 0, respectivamente. Para o desenvolvimento do traço de concreto, o parâmetro de massa específica dos materiais constituintes é de grande importância, assim sendo, determinou-se a massa específica dos agregados miúdos, com base na norma NBR 9776(8). Os resultados médios obtidos para três amostras distintas de cada material, foram 2,763 g.cm⁻³ para areia artificial e 2,651 g.cm⁻³ para areia natural. No caso da sílica, o procedimento é ligeiramente diferente, pois se utiliza o balão volumétrico ao invés do frasco de Chapman, obtendo-se como resultado médio para as três amostras ensaiadas 2,216 g.cm⁻³. No ensaio com o cimento se utilizou o frasco de Le Chatelier e, ao invés da água, utilizou-se querosene estabilizado e obteve-se o valor da massa específica do cimento igual a 2,812 g.cm⁻³.

Determinou-se a massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo(9). Para a obtenção do resultado de massa específica e da massa específica aparente, utilizou-se uma média de três amostras de brita 0, chegando-se aos valores de 2,73 g.cm⁻³ e 2,66 g.cm⁻³, respectivamente. Para o ensaio de absorção o resultado obtido foi de 3,09%. Os parâmetros de massa específica na condição seca e massa específica na condição saturada superfície seca seguiram a norma ME 195(10) e os valores obtidos foram de 2,69 g.cm⁻³ e de 2,62 g.cm⁻³ respectivamente. O teor de matérias pulverulentos(11) foi de 1,30%, 7,83% e 1,64%, para areia natural, areia artificial e brita 0, respectivamente.

Para o ensaio de determinação da massa unitária e da massa unitária compactada(12), os valores médios de 3 amostras foram 1,53 g.cm⁻³ para areia natural, 1,60 g.cm⁻³ para areia artificial, 1,44 g.cm⁻³ para brita 0, 0,17 g.cm⁻³ para sílica e, finalmente, 1,01 g.cm⁻³ para o cimento. No caso da massa unitária compactada, ensaiou-se duas amostras de cada material, sendo eles areia natural, areia artificial e brita 0, resultando nos valores de 1657 kg.m⁻³, 1766 kg.m⁻³ e 1524 kg.m⁻³, respectivamente.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA

A fibra de PVA utilizada é do modelo RF4000X30mm, composta por monofilamento de PVA (Figura 1).

Figura 1 – Fibra de PVA

A caracterização do comprimento da macrofibra é feito manualmente por meio do paquímetro com precisão de 0,1 mm e para caracterizar o diâmetro realiza-se o procedimento por meio de um micrômetro com precisão de 0,001 mm. Em ambos os ensaios, necessita-se de uma amostragem de 30 macrofibras. Com os parâmetros obtidos para o comprimento de $30,72 \pm 0,2$ mm e diâmetro de $711 \pm 0,02$ μm , é possível a determinação do fator de forma da fibra, relação entre o comprimento e diâmetro equivalente da macrofibra, que é de 43,21.

A densidade absoluta(13) da fibra foi determinada, com uma amostra de massa de 2,09 g. Como a fibra tem pouco volume, o método para determinar a densidade da fibra foi feito através de uma bureta, ao invés de utilizar o frasco de Chapman. A marcação inicial foi de 4,4 cm³. Após inserida a amostra na bureta foi feita a leitura final do volume na mesma igual a 6 cm³. Com a massa da amostra e a leitura final do volume pode-se calcular a densidade do material, que foi de 1,306 g.cm⁻³.

O teor de umidade(14) da microfibra foi realizado com uma amostra de massa inicial de 10,40 g exposta ao ar por 24h, obtendo-se a massa seca ao ar (Pa), após esse período seca em estufa a 100 °C até constância de massa, determinou-se sua massa seca (Pe). O teor de umidade das fibras secas obtido foi de 0,87%.

O ensaio de resistência ao meio alcalino foi realizado para avaliar a capacidade da macrofibra de resistir à ação de meios alcalinos. Com três amostras em uma solução de 200 ml de NaOH (Ph=14) 1M acrescentou-se a amostra de 10 g de fibra, que foi mantida em banho-maria à temperatura de 60°C por 30 dias. Após o período, a amostra foi lavada em água corrente, para que a solução de NaOH fosse retirada, e posteriormente seca a 60 °C até constância de massa para análise do aspecto da fibra resultante. A perda de massa calculada em termos percentuais segundo o ensaio foi de 0,1%, 0% e 0,09%, para cada amostra, não sofrendo ataques significativos do meio alcalino.

2.3 DOSAGEM DO TRAÇO DE CONCRETO

A dosagem experimental para determinar o traço ideal do concreto inicialmente utilizou o método de dosagem proposto por Tutikian e Dal Molin(15) para determinar o empacotamento granular máximo.

A composição dos agregados determinada pelo método serviu como parâmetro de entrada para o software EMMA (Elkem Materials Mixture Analyser), disponibilizado pela Elkem Materials, no qual a dosagem foi realizada a partir do modelo de Andreassen modificado. Como o objetivo era obter a formulação de um concreto autoadensável favorecendo o empacotamento máximo para distribuições infinitas, foi definido para o coeficiente de empacotamento o valor de 0,37, que segundo Vanderlei(16), os valores desse parâmetro devem ser menores ou iguais a este para não haver porosidade residual.

Adicionando como dados de entrada as caracterizações granulométricas, a massa específica dos materiais, o modelo de empacotamento a ser utilizado, o valor do diâmetro da maior e da menor partícula da mistura e o coeficiente de distribuição (q), o software forneceu a curva granulométrica resultante do modelo teórico utilizado. As formulações obtidas estão apresentadas na Tabela 2 a seguir. O teor de argamassa

obtido para o traço dosado foi de 60,46%, que está dentro dos limites de aplicação conhecidos do IBRACON que é de 30% a 90%, suficiente para não deixar vazios dentro do concreto.

O gráfico da Figura 2 mostra a curva granulométrica ideal segundo o modelo de Andreassen modificado (vermelho), junto à distribuição granulométrica da mistura (azul). O consumo de cimento foi igual a $342,6 \text{ kg.m}^{-3}$.

Tabela 2 – Traço em massa do concreto de referência

Material	Traço
Cimento	1
Areia natural	0,59
Areia artificial	1,47
Brita 0	2
Sílica	0,13
Aditivo	0,02
Água	0,33

Figura 2 - Comparação entre a curva ideal (vermelha) e a curva obtida (azul) para o traço referência.

2.4 TEOR DE FIBRA

O comportamento à tração é o aspecto mais importante do concreto reforçado com fibra. As propriedades mecânicas são determinadas por ensaio de flexão em 3 pontos. Para o melhor teor de fibra que se compatibiliza com o traço dosado, foi realizado o ensaio segundo os procedimentos descritos na NBR 12142(17). Os teores de fibra ensaiados em relação ao volume de concreto foram de 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% e 3%, sendo moldados 2 corpos de prova para cada teor.

A incorporação do teor de 2% de fibra de PVA ao concreto de referência, mostrou-se efetiva nos resultados dos ensaios, aumentando as propriedades do concreto em 4,6% na compressão axial e 12,1% na tração por compressão diametral, aos 28 dias, sendo então o teor de fibra adotado para o prosseguimento do trabalho.

2.5 TEOR DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Para a definição da quantidade ideal de aditivo, realizou-se o ensaio do Cone de Marsh(18), para compatibilização do traço com o teor ideal de aditivo, medindo a viscosidade através da observação do tempo, utilizando o aditivo superplastificante a base de policarboxilato (MC-PowerFlow 4001), com densidade de $1,12 \text{ g.cm}^{-3}$, no traço determinado acima. As dosagens utilizadas foram de 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3% e 3,5% sobre a massa do cimento, seguindo a dosagem recomendada pelo fabricante (entre 0,2 e 5,0%). O teor que apresentou o melhor tempo de escoamento sem apresentar segregação e abertura dentro do ideal, foi de 3,0%, visando reduzir a demanda de água para o compósito, por está adicionando a

mistura um material pozolânico junto com o aditivo superplastificante para que o efeito filer ser evidente e significativo.

3 RESULTADOS

3.1 ESPALHAMENTO – SLUMP FLOW TEST

Para a determinação do espalhamento foi realizado o ensaio de método do cone de Abrams(19) (Slump Flow Test). O resultado para o traço de referência foi de 628,3 mm, como indicado na Figura 3, e o do traço final com fibra foi de 551,8 mm, como mostrado na Figura 4, confirmando a teoria de que a trabalhabilidade é afetada com a incorporação da fibra.

Mesmo com a trabalhabilidade reduzida, ambos podem ser classificados como concretos autoadensáveis com classe de espalhamento SF1. Essa classe de concreto é adequada para aplicação em estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura, como por exemplo lajes, estacas e fundações profundas. Outra aplicação corrente é para bombeamento em túneis.

Figura 3 - Slump flow test para o traço referência Figura 4 - Slump flow test para o traço com fibra

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Para análise da resistência à compressão axial foram realizados ensaios aos 3, 7 e 28 dias dias(20). A cada idade, a resistência à compressão foi determinada com base no rompimento de quatro corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm. Os resultados mostram que a incorporação da fibra não apresentou alteração significativa nesse parâmetro em relação ao traço de referência, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Resistência à compressão

3.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A resistência à tração indireta foi obtida em ensaios de compressão diametral, conforme a NBR 7222(22). O corpo de prova foi fraturado devido à tração desenvolvida em planos diametralmente opostos e pelos resultados obtidos (Figura 7) nota-se que a fibra melhorou o comportamento a solicitações de tração do concreto em relação ao de referência, principalmente, quando com mais idade, devido à aderência da fibra aumentar ao longo do processo de endurecimento da pasta.

Figura 7 – Resistência à tração por compressão diametral

3.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE

A caracterização não destrutiva do módulo de elasticidade do concreto a partir das frequências naturais de vibração foi obtida pela técnica de excitação por impulso. A resposta obtida através da amostra que recebe um leve impulso contém as frequências naturais de vibração, que são proporcionais ao módulo de elasticidade do material analisado.

Como parâmetros de entrada para o software tem-se: a massa, o comprimento e o diâmetro da amostra. Assim, o software calcula, através das frequências naturais e dos parâmetros de entrada, o módulo de elasticidade e o amortecimento com precisão.

Para a obtenção dos resultados, utilizou-se o procedimento descrito em norma ASTM C215(21) pela Equação A.

$$E = CMn^2 \quad (A)$$

Onde:

E : Módulo de Elasticidade (GPa);

M : massa do corpo de prova (kg);

n : frequência transversal fundamental (Hz);

$C = 1,6067 \left(\frac{L^3 T}{d^4} \right)$, m⁻¹ para cilindros;

L : comprimento do corpo de prova (m);

d : diâmetro do corpo de prova (m);

T_1 : fator de correção.

Os resultados apresentados na Figura 6 indicam que a incorporação da fibra reduziu os valores de módulo de elasticidade com relação ao concreto de referência, mostrando que o material tornou-se menos rígido, ou seja, capaz de se deformar mais para uma mesma carga aplicada, devido ao fato da fibra permitir um maior deslocamento para uma mesma carga.

Figura 6 – Módulo de elasticidade

Pela Equação B, Figueiredo(23), nota-se que o módulo de elasticidade da matriz é o principal elemento definidor do módulo de elasticidade do compósito (E_c) e que influencia diretamente no volume crítico das fibras, ou seja, matrizes cimentícias de maior módulo ou resistência mecânica irão demandar um volume maior de fibras para atingir o teor crítico.

$$E_c = E_f \times V_f + E_m \times V_m \quad (B)$$

Onde:

E_c : Módulo de Elasticidade do compósito (GPa);

E_f : Módulo de Elasticidade da fibra (GPa);

E_m : Módulo de Elasticidade da matriz (GPa);

V_f : volume de fibra no compósito;

V_m : volume de matriz no compósito;

Como o teor definido de 2% é classificado como de moderada fração volumétrica e o concreto referência apresenta um valor elevado de módulo de elasticidade (48 GPa), normalmente o módulo de elasticidade do concreto, varia de 14 GPa a 40 GPa segundo Shimosaka(23), assim sendo, quanto maior o E_m da matriz tanto maior será o teor de fibras necessário para atingir o comportamento próximo ao do elasto-plástico perfeito, portanto, um teor de moderada fração volumétrica tende a diminuir o módulo de elasticidade do compósito consideravelmente.

4 CONCLUSÃO

Os traços dosados pelo método de empacotamento de partículas atenderam às expectativas no quesito consistência e trabalhabilidade do material, resultando nos dois casos (referência e reforçado com fibra) em concretos autadensáveis. Com relação às propriedades mecânicas, o concreto reforçado apresentou ligeiro aumento na resistência à compressão e na resistência à tração por compressão diametral a partir dos 3 e dos 7 dias de idade, respectivamente, levando a crer que o efeito da adição pozolânica tenha

contribuído para a eficiência da aderência da fibra à matriz cimentícia. Com relação ao módulo de elasticidade, o concreto reforçado apresentou valores menores que o concreto de referência em todas as idades, mostrando-se, portanto, menos rígido.

Ressalta-se que o controle da preparação deste tipo de concreto, desde a dosagem até a sua confecção, é importante para obter um material de qualidade, que apresente as características de alta performance esperadas. Para finalizar, pode-se afirmar que é possível a aplicação desse tipo de concreto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mauá de Tecnologia pelo apoio na realização dos ensaios e utilização de suas instalações, à empresa MC – Bauchemie pelas amostras dos aditivos, à empresa Elkem pelo fornecimento de microsilica, à empresa Kuraray do Brasil pelas amostras de fibra de PVA disponibilizadas e à empresa Intercement pela doação de cimento, agregados miúdos e graúdos.

REFERÊNCIAS

- [1] MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Editora Pini, 1994. 573 p.
- [2] CHIELLINI, E.; CORTI, A.; D'ANTONE, S.; SOLARO, R. Biodegradation of poly (vinyl alcohol) based materials. "Progress in Polymer Science", v.28, p. 963-1014, 2003.
- [3] MAGALHÃES, Margareth, "Caracterização Experimental de Compostos Cimentícios Reforçados com Fibra de PVA: Processo de Fratura, Propriedades Térmicas, Deformações Diferidas e Estabilidade Térmica", Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.
- [4] NITA, Clovis. "Estudo de pozolanas em compósitos de cimento reforçados com fibras de celulose e PVA", Tese de Mestrado, USP, São Paulo, 2006.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217:1987: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248:2003: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9939:2011: Umidade total de agregados graúdos - Secagem. Rio de Janeiro, 2011.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776:1987: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53:2003: Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
- [10] DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 195: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1997.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7219:1987: Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, p. 2. 1987.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- [13] ISO – International Organization for Standardization. ISO 1183-3:1999 – Plastics - Methods for determining the density of noncellular plastics -- Part 3: Gas pyknometer method.
- [14] ISO – International Organization for Standardization. ISO 3344:1997 – Reinforcement products -- Determination of moisture content.
- [15] TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D.C.C. Concreto Auto adensável. 2.ED. São Paulo: PINI, 2015.
- [16] VANDERLEI, R. D. Análise experimental do concreto de pós reativos: dosagem e propriedades mecânicas. Tese de Doutorado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de S. Carlos, Universidade de S. Paulo, S. Carlos, São Paulo, 2004.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142:2010: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10908:208: Aditivos para Argamassa e Concreto – Ensaio de Uniformidade. Rio de Janeiro, 2011.

- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823-1:2010 - Concreto – Auto adensável – Parte 2: Determinação do espalhamento e escoamento – Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.
- [20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 - 2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [21] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C215: Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens. United States: Astm, 2014.
- [22] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.
- [23] FIGUEIREDO, ANTONIO DOMINGUES. Concreto com fibras de aço. 2000. 70 f. Texto apresentado à escola politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente, 2011.
- [24] SHIMOSAKA, T.J. Influência do teor de diferentes tipos de fibras de aço em concretos autoadensáveis. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

Autores

ALESSANDRO AUGUSTO ROGICK ATHIÊ

Biólogo formado pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (IB-USP), com Mestrado em Oceanografia pelo Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP). Docente, orientador científico e pesquisador no Centro Universitário SENAC ? Campus Santo Amaro (SENAC-CAS) nos cursos presenciais e EaD, nas áreas de Engenharias, Gestão Ambiental, Administração e Comércio Exterior, MKT, Gestão de Pessoas, Estética e Cosmética. Membro de Conselho Superior Universitário e do Sistema de Gestão Ambiental. Líder de Grupo de Pesquisa, Coordenador de Projeto de Pesquisa e de Projeto de Extensão. Orientador Temático e Metodológico de TCCs. Parecerista de revistas e periódicos nacionais. Como pesquisador e consultor científico desenvolve projetos nas áreas de Meio Ambiente e Sustentabilidade; Responsabilidade Socioambiental (empresas e corporações); Avaliação de Impactos Ambientais; Recuperação de Áreas Degradadas; Ciências de Materiais e Biomimética; Ecoeficiência e Construções Sustentáveis; Sistema de Gestão Ambiental; Biotecnologia e Bioética

ALESSANDRO JOSÉ GOMES DOS SANTOS

Possui graduação em Engenharia Mecânica (Universidade Federal do Pará, 2013), mestrado em Engenharia Mecânica (Universidade Federal do Pará, 2015), pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica (PPGEM).

ALICE DOS PRAZERES PINHEIRO

Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (UFPA), Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará; Área: Desenvolvimento de Processos; Linha de Pesquisa: Engenharia de Processos Inorgânicos.

ALINE KARLA BARBOSA DA SILVA

Engenheira de Alimentos (2015) pela Universidade Federal da Paraíba e Mestra em Engenharia Mecânica (2018) pela Universidade Federal da Paraíba.

ALLANA KELLEN LIMA SANTOS PEREIRA

Possui graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Regional do Cariri - URCA (2001), Mestrado em Química Orgânica pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2004) e Doutorado em Química Orgânica pela Universidade Federal do Ceará - UFC (2008). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química de Produtos Naturais, atuando principalmente nos seguintes temas: Biocatálise, Fitoquímica, Isolamento de metabólitos especiais de plantas do Brasil, plantas medicinais, óleos essenciais e atividade antioxidante. Em seus trabalhos profissionais interage com pesquisadores que atuam principalmente na área de Química de Produtos Naturais, Biocatálise, Fitoquímica, Cromatografia e Polímeros.

AMANDA CHAVES AZEVEDO

Graduanda em Engenharia de Materiais.

AMANDA DOS SANTOS MOREIRA

Engenheira Mecânica formada pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, compradora na Indústria Mecânica Alterosa, cursando MBA em Logística e Supply Chain no centro universitário UNA. Conhecimentos técnicos em mecânica, usinagem, caldeiraria e soldagem. Facilidade de trabalhos em grupo, comprometimento ao alcance de metas organizacionais e cumprimento de prazos.

AMANDA MORAIS ALMEIDA

Graduanda em Engenharia de Produção com experiência no setor de Gestão de Pessoas da empresa Optimus Engenharia Júnior, no qual atuou como Diretora Executiva da área. Hoje, exerce a função de estagiária do setor de Produção na multinacional Olam Cocoa (Joanes).

ANA CAROLINE DE SOUZA COUTO

Engenheira Mecânica, formada pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Bolsista em um projeto de iniciação científica no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas, dentro da universidade foi monitora das matérias de Álgebra Linear, Física 1, Física 2 e Física 3. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação. Possui conhecimentos nas ferramentas de AutoCAD, SolidWorks, Ensaio mecânicos, Ferramentas de Análise de Elementos Finitos (Abaqus) e Análise metalográfica. cursando Pós Graduação Gestão em Engenharia de Produção na PUC Minas.

ANA CLAUDIA DE MELO CALDAS BATISTA

Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, professora efetiva da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA – campus Caraúbas) e pesquisadora na área de Compósitos poliméricos.

ANA LIDIA DA SILVA LINO

Estudante de Engenharia Civil na Universidade de Mogi das Cruzes (UMC). Técnica em Edificações pelo Instituto Técnico de Barueri (ITB) - SP. Possui conhecimentos na parte de elaboração de projetos 2D e 3D. Experiência profissional na área de qualidade de materiais de construção civil e em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Atualmente, desenvolve pesquisa científica em concreto pigmentado com adição de aditivo super plastificante.

ANDRÉ LUÍS GAMINO

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (2001), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual Paulista (2003), doutorado em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2007) e pós-doutorado na Universidade Estadual de Campinas (2007 - 2010) e na Universidade Estadual Paulista (2010-2011). Atualmente é Professor Doutor do UniSALESIANO - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Estruturas, atuando nos seguintes temas: desenvolvimento, implementação computacional, modelagem computacional via Método dos Elementos Finitos e análise experimental em estruturas de concreto armado e protendido, incluindo reforços com materiais compósitos. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Geotecnia, atuando nos seguintes temas: implementação de modelos constitutivos para solos e rochas (modelo de dano e plasticidade - Cam-Clay). Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção Civil, atuando nos seguintes temas: reações álcali-agregado, ensaios de caracterização de materiais, reparo e reforço estrutural e determinação de traços otimizados de concreto. Possui interesse para atuação em áreas multidisciplinares das Engenharias ou áreas afins.

ANTÔNIO CARLOS DA CUNHA MIGLIANO

Pesquisador Doutor do Instituto de Estudos Avançados (IEAv) do Comando da Aeronáutica - Ministério da Defesa, Chefe da Divisão de Física Aplicada (IEAv/EFA), Docente Permanente Doutor do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologias Espaciais (PG-CTE) do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA/IEAv/IAE) e Professor Titular Doutor da Universidade Braz Cubas (UBC). Trabalha nas áreas de Materiais Eletromagnéticos, Microondas a Terahertz (THz) e Compatibilidade Eletromagnética (EMC/EMI), atuando principalmente nos seguintes temas: materiais eletromagnéticos, caracterização eletromagnética de materiais, sensores eletromagnéticos, calibração de sensores, ambiente eletromagnético, ensaios de EMC/EMI,

RADOMES, Blindagens eletromagnéticas e ferramentas CAE/CAD. Coordena o Laboratório Multiusuário de Sistemas Eletromagnéticos do IEAv, capacitado para avaliações de materiais e estruturas, na faixa de frequência, DC a 6 THz, micro- e nano- estruturados (AFM).

ATAÍDES OLIVEIRA GALVÃO JÚNIOR

Possui Graduação em Engenharia Civil (2017) pelo Centro Universitário UNINOVAFAPI.

BÁRBARA JANE MARTINS BORGES

Graduanda em Engenharia Mecânica -IFBA/SF. Técnica em Manutenção Mecânica- IFBA/SF
Pesquisadora Júnior - IFBA/SF

BLUMA GUENTHER SOARES

Possui graduação em Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1973), mestrado em Química Orgânica pela UFRJ(1978), doutorado em Ciência e Tecnologia de Polímeros pela UFRJ (1987) e pós-doutorado em compósitos condutores pela Universidade de Liege- Bélgica (1993). Atualmente é professor titular da Universidade Federal do Rio de Janeiro. É membro do Conselho Editorial das revistas: Journal of Applied Polymer Science, Polímeros, e The Chemistry : An Indian Journal . Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Polímeros, Aplicações, atuando principalmente nos seguintes temas: polianilina, mistura polimerica, compatibilizacão, compositos condutores e compatibilizacão reativa, compósitos e nanocompósitos, tenacificação de termorrígidos com ênfase em adesão.

BRUNNA JULIANO DE OLIVEIRA

Engenheira Mecânica, formada pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e condecorada Medalha de Ouro na graduação pela mesma instituição de ensino, formada como Técnico em Mecânica pelo SENAI em 2014. Participou de um projeto de iniciação científica no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas e foi monitória das disciplinas de Cálculo 1, Cálculo 1, Equações Diferenciais Ordinárias, Desenho Mecânico, Ciência dos Materiais, Materiais de Construção Mecânica e Resistência dos Materiais. Possui conhecimentos em AutoCAD, ensaios mecânicos e análise metalográfica.

CAMILA FERNANDA DE PAULA OLIVEIRA

Possui graduação em Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (2007), mestrado em Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2010) e doutorado em Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2015). Atualmente é professor auxiliar pca-4 nível i da Universidade de Mogi das Cruzes e professora em tempo parcial no Insper (Instituto de Ensino e Pesquisa). Atua principalmente nos seguintes temas: blendas, compósitos e nanocompósitos poliméricos, com ênfase em polímeros biodegradáveis, biopolímeros, e materiais com cargas 2D (processamento e caracterização); além de atuar em tratamentos térmicos de metais.

CARLOS CÁSSIO DE ALCÂNTARA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2015), com período sanduíche na Euskal Herriko Unibertsitatea (2012/2013); Especialista em Engenharia Elétrica com Ênfase Sistemas de Automação pela Universidade Cândido Mendes (2017). Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2017). Tem experiência na área de Metalurgia Física com ênfase em transformações de fase no estado sólido. Atua principalmente nos seguintes temas: Ligas com Memória de Forma; Transformações Martensíticas; Crescimento Anormal de Grão.

CINTHIA MAIA PEDERNEIRAS

Engenheira Civil formada pela Universidade Potiguar - UnP (2014) e Psicóloga formada pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN (2012). Mestre em Engenharia Civil pela UFRN (2017) na linha de pesquisa em Materiais e Processos Construtivos. Doutoranda em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa e Investigadora no Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal.

CYBELLE RODRIGUES DUARTE

Técnica em Meio Ambiente formada pelo Instituto Centro de Ensino Tecnológico, Engenheira de Materiais formada pela Universidade Federal do Cariri e Mestranda em Ciência de Materiais pela Universidade Federal de Pernambuco. Atualmente desenvolve pesquisa na área de materiais poliméricos aplicados a embalagens ativas no Laboratório de Petroquímica do Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia (LITPEG-UFPE).

DANIELLE DANTAS PEREIRA

Especialização em MBA Executivo em gerenciamento de projetos. Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2016) e graduação em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2014). Técnica em Edificações, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Norte - IFRN (2010). Atua como: orçamentista; projetista de instalações elétricas, hidráulicas e estrutural; laudos de vistoria; e, planejamento e acompanhamento de obras. Tem interesse na área acadêmica, desenvolvendo atividades de pesquisa e publicações. Proativa, gosta de trabalhar em equipe.

DANYEL FLÁVIO LOPES DE PAIVA

Engenheiro Civil pela UFRN (2005). Especialista em Infraestrutura de Transportes e Rodovias pela UNIP (2013). Mestre em Engenharia Civil pela UFRN (2016). Especialista em Gestão Pública pela UNIP (2017). Especialista em Direito Administrativo pela UNIP (2018). Analista em Infraestrutura de Transportes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT desde 2007, onde ocupa a função de Chefe de Serviço de Manutenção Rodoviária desde 2016 e Superintendente Regional Substituto do DNIT no Estado do Rio Grande do Norte desde 2018.

DEIBSON SILVA DA COSTA

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2009). Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2012), na área de Concentração de Materiais e Processos de Fabricação sub-área de Materiais Compósitos. Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais pela Universidade Federal do Pará (2016). Pós-Doutorado em andamento na área de materiais pela Universidade Federal do Pará (2016). Atualmente é Professor do Magistério Superior, Classe "A" com a denominação de Adjunto A, Nível 1 do Campus Universitário de Ananindeua da Universidade Federal do Pará.

DENILSON DA SILVA COSTA

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará (2000), mestrado em Engenharia Química (Desenvolvimento de Processos) pela Universidade Federal do Pará (2003) e doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas (Tecnologia Mineral) pela Universidade Federal de Minas Gerais (2012). Possui uma especialização em Óleos Vegetais (2003) e outra em Tecnologia Mineral (2004), ambas pela Universidade Federal do Pará. Atualmente é professor adjunto da Faculdade de Engenharia de Minas e Meio Ambiente da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Campus de Marabá). Tem como principal campo de atuação Desenvolvimento de Processos em Tecnologia Mineral utilizando insumos naturais.

DIOGO PONTES DE QUEIROZ

Engenheiro de Materiais em formação, com atuação em monitoria voluntária na disciplina de Cálculo e Geometria Analítica I, bolsista com projeto de extensão com a utilização de softwares livres no auxílio de aprendizagem nas áreas de exatas, atualmente bolsista no projeto de pesquisa com ênfase na fabricação de compósitos.

ÉDER BARONI DA SILVEIRA

Graduado Bacharel em Ciências com Habilitação em Química pela Faculdade de Ciências e Letras Oswaldo Cruz (2010) e Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2015). Atuação acadêmica na área de engenharia e ciência de materiais com ênfase em misturas poliméricas (blendas), compósitos poliméricos e cimentícios. Atualmente auxilia na orientação de trabalhos de iniciação científica e de conclusão de curso nas engenharias civil, mecânica (UMC, Campus Villa Lobos) e de materiais (Escola Politécnica da USP). Membro do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso de bacharelado em engenharia civil (UMC, Villa lobos) desde fevereiro de 2017.

ELBA GOMES DOS SANTOS LEÃO

Doutora em engenharia Química - UFPB

EMERSON RODRIGUES PRAZERES

Doutorando em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia pelo PRODERNA-UFPA. Mestre em Engenharia Mecânica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPA, com linha de pesquisa em Processamento e Caracterização dos Materiais. Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará. Atualmente estuda ligas a base de Alumínio para fins de transmissão e distribuição de energia elétrica.

EMILIA SATOSHI MIYAMARU SEO

Possui graduação em Engenharia Química (1980), mestrado em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (1984) e doutorado em Ciências pela Universidade de São Paulo (1997). Atualmente é professora titular do Centro Universitário SENAC e Pesquisadora Colaboradora da Comissão Nacional de Energia Nuclear-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/SP. Tem experiência nas áreas de Engenharia de Materiais e Metalúrgica e Meio Ambiente, com ênfase em Materiais Não-Metálicos, Metálicos, gestão ambiental, cloração e redução; atuando principalmente nos seguintes temas: células a combustível (síntese, processamento e caracterização de materiais cerâmicos), gestão de resíduos industriais, reciclagem de resíduos industriais, análise do ciclo de vida, gestão integrada em saúde, segurança e meio ambiente, pelletização, obtenção de cloretos metálicos e tecnologia de obtenção de zircônio metálico e de silício metálico. É editora da Revista InterfacEHS - Saúde, Meio ambiente e Sustentabilidade e da Revista Iniciação com ênfase em sustentabilidade.

ENILSON DE SOUSA COSTA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2019), participou de empresa junior (2018/2019), desenvolvendo suas pesquisas nos seguintes temas: LMF (Ligas com Memória de Forma).

ESLY CÉSAR MARINHO

Doutor em Engenharia Mecânica- UFPB

EVANDRO COSTA DO ROSÁRIO

Formado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Pará - UFPA, possui experiência na área de rejeito de minério.

FABRÍCIO MOURA DIAS

Possui doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2005), mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2000) e graduação em Engenharia Civil pela Universidade Vale do Rio Doce (1994). Tem experiência na área de Engenharia Civil, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, atuando com Caracterização de Materiais Metálicos e Cerâmicos, Reaproveitamento de Resíduos Sólidos Industriais. É Coordenador do Curso de Engenharia Civil e Professor dos Cursos de Engenharia do Unileste - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais.

FRANCO DANI RICO AMADO

Possui graduação em Engenharia Química pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1999), mestrado e doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2002 e 2006). Pós doutorado no Laboratório de Corrosão e Reciclagem de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2007) e no Department of Engineering and Innovation na The Open University - Inglaterra (2015). Atualmente é professor titular do Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus - BA. Também é fundador (março de 2010) e coordenador do Laboratório de Materiais e Meio Ambiente (Lamma) da UESC.

GABRIELA OLIVEIRA GALVÃO

Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis e Bolsista de Iniciação Tecnológica do CNPq. Atua nos temas: Processos de Fabricação de Materiais Termoeeficientes, Superfícies Solar Seletivas, Filmes Finos, Materiais Alcalinamente Ativados, Materiais Termomecânicos eficientes, Beneficiamento e transformação de materiais, Recursos renováveis e Caracterização dos Materiais (óptica, térmica, microestrutural, morfológica e mecânica).

GIBRAN DA CUNHA VASCONCELOS

Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Atua na Área de Plásticos e Borrachas do Centro de Química e Manufaturados. Professor da Universidade Paulista - UNIP nos cursos de Engenharia Mecânica, Produção Mecânica e Controle e Automação. Engenheiro de Materiais graduado pela UNESP, Campus de Guaratinguetá. Mestre em Engenharia Mecânica na mesma instituição, no tema cabos de transmissão de energia com núcleo compósito. Doutorado em andamento no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Poli-USP) na área de reciclagem de polímeros para aplicações estruturais.

GLERYSTONTHIAGO GOMES DA SILVA

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (conclusão 2015), com período sanduíche na Università Bologna (2013/2014). Especialista em Engenharia e Segurança do Trabalho pela Faculdade Integrada de Patos-FIP (conclusão 2017). Mestre pelo programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Campina Grande (conclusão 2017). Desenvolvendo suas pesquisas nos seguintes temas: LMF (Ligas com Memória de Forma), Silicone, Adesão, Compostos Híbridos. Foi professor substituto do curso de engenharia mecânica na Universidade Federal Rural do Semi - Árido - UFERSA. Atualmente é coordenador de curso na Faculdade pitágoras de Campina Grande - PB.

GLÓRIA MARIA LEITE CARLOS

Graduada em História pela UERN, especialização em Educação pela UERN, graduada em Ciência e Tecnologia pela UFRSA. Atualmente, discente de Engenharia Mecânica /UFRSA. Interessa-se por engenharia mecânica e de materiais.

HELLEN CRISTINA MENDONÇA COELHO

Graduanda em Engenharia de Materiais.

HELOÍSA CRISTINA FERNANDES CORDON

Possui graduação em Engenharia Civil pelo Instituto Mauá de Tecnologia (2003), mestrado em Engenharia de Construção Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2007) e doutorado em Nanociências e Materiais Avançados pela Universidade Federal do ABC (2017). Atualmente é professora da disciplina Materiais de Construção Civil da Escola de Engenharia Mauá e pesquisadora nas áreas de gesso de construção e concreto.

HENRIQUE NUNES DA SILVA

Henrique Nunes da Silva é Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Cariri. Atualmente é mestrando em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande, desenvolvendo pesquisas com filamentos e estruturas tecidas de quitosana para uso em curativos e engenharia de tecidos.

HENRIQUE PEREIRA CARDOSO

Estudante do 13º período do curso de graduação em Engenharia de Materiais pela universidade federal do cariri. Bolsista de iniciação acadêmica na mesma universidade nos anos de 2015-2016 nos projetos intitulados: "Avaliação da incorporação de resíduos de Eva em resina epóxi" e "Caracterização e funcionalização de resíduos da indústria de calçados: pvc e eva", ambos sob orientação da professora Ledjane Lima Sobrinho

HUGO ALESSANDRO ALMEIDA DINIZ

Profissional na área da Construção Civil, Professor EBTB efetivo IFCE, Campus Itapipoca, Doutorando em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFRN, Mestre em Engenharia Civil pela UFRN (2018), com graduação em Engenharia Civil pela UnP (2015), Técnico em Edificações pelo IFRN (2009). Realizou estágio na Coordenação de Engenharia Civil e Arquitetura no 21º Tribunal Regional do Trabalho, e estágio no Departamento de Engenharia no DNIT-MT.

IACI MIRANDA PEREIRA

Possui graduação em Engenharia Metalúrgica pela Escola de Engenharia (2000), mestrado em Ciência dos Materiais - Technical University Hamburg Haburg (2004), mestrado em Global Technology Management - Technical University Hamburg Haburg (2004) e doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Universidade Federal de Minas Gerais (2009). Atualmente é pesquisador do Centro Tecnológico do Exército.

IGOR NOVAIS SANTOS

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Mogi das Cruzes (UMC). Técnico em Edificações formado pela Universidade Nove de Julho (UNINOVE - 2015). Participação no programa de iniciação científica da Universidade de Mogi das Cruzes (2017 - 2018). Ganhador do prêmio de Melhor Trabalho de Iniciação Científica na Área de Ciências Exatas e da Terra pelo mesmo programa com o tema "Utilização da fibra de carbono como adição em concreto e argamassa". Artigo final da iniciação publicado na Revista Científica UMC (ISSN: 2525-5150).

Participação no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBCiMat - Foz do Iguaçu, 2018) e no Simpósio de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (MetMat - USP, 2017) com temas voltados para a utilização da fibra de carbono em argamassa.

ISABELLA TEREZA FERRO BARBOSA

Doutoranda em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia na Universidade Presbiteriana Mackenzie. Graduada em Química, Mestre em Engenharia de Materiais pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Atualmente, Coordenadora do Curso de Graduação em Bacharelado e Tecnologia em Estética e Cosmética, Docente, Parecerista da Revista Interfacehs e Pesquisadora do Centro Universitário SENAC e da Universidade Presbiteriana Mackenzie. É Membro do Banco de Avaliadores do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Basis) do Instituto Nacional de Estudos (SINAES/INEP/MEC), estando credenciado como Avaliador Institucional e de Cursos do SINAES/CAPES. Tem experiência nas áreas de Engenharia de Materiais, com ênfase em Materiais Poliméricos e 20 anos de experiência na indústria cosmética.

ÍSYS DE MARINHO PERRONE

Técnico em mecânica Industrial - IFBA

ÍTALO VALE MONTE JÚNIOR

Engenheiro Civil pela UnP (2011). Especialista em Meio Ambiente e Gestão de Recursos Hídricos pela UnP (2013). Mestre em Engenharia Civil pela UFRN (2017). Professor de Graduação em Engenharia Civil e Pós-Graduação (lato sensu) UnP. Professor Pesquisador do Centro e-Labora (UnP) desde 2014. Professor membro do Núcleo Docente Estruturante (NDE) de engenharia civil UnP, desde 2016. Professor membro do Conselho de Curso de Engenharia Civil UnP, desde 2017.

ITHYARA DHEYLLE MACHADO DE MEDEIROS

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba(2014), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de João Pessoa(2016), mestrado em ENERGIAS RENOVÁVEIS pela Universidade Federal da Paraíba(2016), curso-tecnico-profissionalizante em Segurança do Trabalho pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba(2016), curso-tecnico-profissionalizante em Eletrotécnica pela Kronos Nexus(2019) e curso-tecnico-profissionalizante em Técnico em Mecânica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba(2018). Tem experiência na área de Engenharia de Energia, com ênfase em Fontes Renováveis de Energia

JEFFERSON MAIA LIMA

Possui graduação e mestrado em Engenharia Civil pela UFPA e Especialização em Avaliação e Perícia da Engenharia pela Faculdades Oswaldo Cruz (FOC) de São Paulo. Tem experiência na área de Engenharia Civil, atuando principalmente nos temas concretos e argamassas, processo executivo e patologias das construções.

JÉSSICA ANDRADE DANTAS

Graduação em Engenharia Civil pelo Instituto Mauá de Tecnologia - IMT (2018). De 2015 a 2019 atuou como pesquisadora na área de Desenvolvimento de Concretos de alto desempenho para concursos nacionais e internacionais. Bi-campeã do Concurso Concrebol (2017 e 2018), campeã do Concurso Ousadia (2017) e campeã do Concurso COCAR (2018), promovidos pelo IBRACON. A partir de 2019 se tornou membro da comissão da Diretoria de Atividades Estudantis do IBRACON. Homenageada em 2019 pelo Instituto de Engenharia na categoria 'Engenheira do Futuro'. Mestranda do programa de mestrado profissional em Inovação da Construção Civil, na linha de pesquisa Materiais e Componentes de Construção, pela Escola Politécnica da Universidade de São

Paulo (EPUSP). Atua como Engenheira Civil na Área de Pesquisa e Desenvolvimento da Construtora Tenda.

JORGE SANTOS LYRA

Mestre em Engenharia de materiais pela Escola Politécnica da USP - EPUSP, Tecnólogo em Materiais, Processos e Componentes Eletrônicos pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo - FATEC. Professor na Universidade de Mogi das Cruzes - Experiência na área de Engenharia de Materiais com ênfase em materiais cerâmicos, cimentos e aditivos para concreto. Atuando principalmente nos seguintes temas: Hidratação, reologia de materiais a base de cimento, interação entre aditivos poliméricos (polycarboxilatos) e partículas de cimento e uso de materiais recicláveis em argamassa e concreto.

JOSE ANTONIO DA SILVA SOUZA

Possui graduação em ENGENHARIA QUÍMICA - Departamento de Engenharia Química (1978) e mestrado em Engenharia Materiais e metalurgia PUC-RJ (1980). Curso de Engenharia de Materiais na Faculdade técnica de Erlangen RFA no Instituto de Cerâmica e vidro (1986). Doutor em Engenharia pela UFPA (PRODERNA - UFPA). Atualmente é professor Titular da Universidade Federal do Pará, experiência na área de Engenharia Química, com ênfase em Processos Inorgânicos, em Engenharia de Materiais e Metalurgia.

JUSCIANE DA COSTA E SILVA

Doutorado em Física (2008) pela Universidade Federal do Ceará, onde também concluiu o mestrado (2004). Graduada em Licenciatura em Física pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (2002). Tem experiência na área de Física, com ênfase em Transp. Eletrônicos e Prop. Elétricas de Superfícies; Interfaces e Películas, atuando principalmente nos seguintes temas: tipo ii, $si/si(1-x)ge(x)$, excitons, high-k e strain. Professora Adjunta na universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

KELLY CRISTIANE GOMES

Professor Associado do Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba. Ministra aulas na Pós-Graduação em Energias Renováveis e na Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPB. Orientadora de Mestrado e Doutorado, possui Mestrado (2008) e Doutorado (2011) em Engenharia Mecânica pela UFPB. Coordena o Laboratório de Síntese e Caracterização de Filmes Finos do DEER/CEAR. Atua na área de Materiais Aplicados as Energias e Processos de Fabricação com enfoque nos seguintes temas: Processos de Fabricação de Materiais Termo eficientes, Superfícies Solar Seletivas, Filmes Finos, Materiais Alcalinamente Ativados, Materiais Termomecânicos eficientes, Reaproveitamento de materiais, Beneficiamento e transformação de materiais, Recursos renováveis, Durabilidade dos materiais e Caracterização (ótica, térmica, microestrutural, morfológica e mecânica) dos materiais.

LARISSA KEROLLAINA MAIA GOMES

Engenheira de Materiais formada pela UFC.

LEDJANE LIMA SOBRINHO

Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE), Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/COPPE), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Sergipe. Atua na área de Polímeros e Materiais Compósitos. Atualmente é Professora Associada e Pró-Reitora de Assuntos Estudantis da Universidade Federal do Cariri.

LÍDIA BRUNA TELES GONZAGA

Pós-graduada em MBA Executivo em Gerenciamento de Projetos. (2018). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2016). Graduada em Ciência e Tecnologia pela UFERSA (2014). Atualmente, mestranda em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos na UNIR em Parceria com a UNESP- PROFÁGUA e trabalha como Docente EBTB do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO).

LOURENA BARBOSA CAVALCANTE PAIVA

Pós-graduada em MBA Executivo em Segurança no Trabalho e Meio Ambiente (2018). Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA (2016). Graduada em Ciência e Tecnologia pela UFERSA (2014). Atua como projetista de instalações elétricas, hidráulicas, Arquitetônico e de detecção e combate a incêndio. Tem interesse na área de Engenharia Civil, com ênfase em Segurança no Trabalho e Gestão e Planejamento de Projetos.

LUCAS DA SILVA NEVES

Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais UNILESTE (2018). Em meio a graduação participou do projeto de extensão Experimentos de Química para o Ensino Fundamental e projeto de iniciação científica. Exerceu estágio na Prefeitura municipal de Timoteo na área de licenciamento de obras e postura. Atualmente trabalha como engenheiro civil na empresa Apriori Arquitetura.

LUCAS REZENDE ALMEIDA

Engenheiro de Materiais em formação, com atuação como bolsista no PCNA - Projeto de Curso de nivelamento da aprendizagem, atualmente voluntário no projeto de pesquisa com ênfase na fabricação de compósitos.

LUCAS THIEGO DE ALMEIDA MONTEIRO

Estudante do 5º período de Engenharia Elétrica na faculdade Faci-Wyden. Conhecimento nas áreas de Elétrica; Eletrônica; Programação (C, C++ e Python); Desenvolvimento de Projetos Elétricos, utilizando a plataforma AutoCad, e Simulação Computacional voltada às áreas de Mecânica dos Fluidos, Circuitos Elétricos e Eletrônica. Monitor de química aplicada à engenharia no período de 2017.2, na faculdade Faci-Wyden. Formado em inglês pela Cultura Inglesa em 2015 e com nível básico de Alemão pela Casa de Estudos Germânicos entre 2017-2018.

LUCY KHEYLER MACIEL DE MENDONÇA

Engenheira Civil pela UFRN (2013). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela UnP (2015). Mestre em Engenharia Civil pela UFRN (2017). Diretora Técnica e Engenheira da Construtora Mendonça Júnior desde 2014. Professora Substituta do IFRN nas disciplinas de Materiais de Construção e Construção Civil I. Professora de Engenharia Civil nas disciplinas de Fundações e Obras de Terra e Contêntes na UnP no período de agosto/2018 a março/2019.

LUIS FELIPE ALENCAR BRANDÃO

Graduando em Engenharia de Materiais. Já realizou pesquisas em simulações de transporte eletrônico em nano-materiais e na confecção e caracterizações de compósitos de matriz poliméricas. Atualmente desenvolve uma pesquisa na aplicação de carbetos de silício em matriz de alumínio.

LUIS GUSTAVO ZERBATO SANCHEZ

Graduando na Universidade de Mogi das Cruzes - Campus Villa Lobos (SP), em engenharia civil. Técnico em edificações pelo Instituto técnico de Barueri em 2015 (ITB). Experiência profissional em construções unifamiliares e multifamiliares com ênfase em técnicas construtivas. Participação acadêmica como representante de sala (2016,2017,2018) e no desenvolvimento da semana interna da engenharia.

MARÇAL ROSAS FLORENTINO LIMA FILHO

Possui o Título de Bacharel em Engenharia Civil (UFPB/2003), é Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (UFPB/2008), na área de concentração: Materiais. Em 2013, obteve o Título de Doutor em Engenharia Mecânica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica (UFPB), área de concentração: Materiais. Entre os anos de 2011 e 2012, realizou Doutorado Sanduíche na Universidade de Leeds - (Inglaterra). Entre os anos de 2013 e 2014, realizou Pós-Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais como PNPd/CAPES Institucional da Universidade Federal da Paraíba. Atualmente é professor do Centro de Energias Alternativas e Renováveis do CEAR/UFPB. É gerente da Unidade de Caracterização do Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais-TECNOMAT do IDEP/UFPB, responsável pelas análises de Microscopia Eletrônica (Quanta 450-FEI-ESEM-EDS), Difração de Raio X (D2 Bruker) e Ensaio Mecânicos (UH-1000 Shimadzu). É membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energias Renováveis e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, atuando nas áreas de: materiais funcionais, estruturais, compósitos e interfaces (imobilização de resíduos, imobilização de CO₂-Supercrítico, nanopartículas e filmes, durabilidade, cimentos, ativação alcalina, caracterização mecânica e microestrutural (MEV, DTA-TG, XRF, DRX, IRS)).

MARCO TADEU NUNES

Engenheiro civil formado pelo Instituto Mauá de Tecnologia em 2018. Participou do grupo de pesquisas para desenvolvimento e produção de concreto de alto desempenho oferecido pelo Instituto Mauá de Tecnologia. 2º Lugar no 59º Congresso Brasileiro de Concreto, promovido pelo IBRACON - 2017. 6º Lugar na competição estudantil mundial, promovido pelo American Concrete Institute (ACI) – Salt Lake City – Utah - Março/2018. Atualmente trabalha com construção civil e reformas.

MARCOS OLIVEIRA DE OLIVEIRA

Possui graduação em LICENCIATURA PLENA EM MATEMÁTICA pela Universidade Federal do Pará (2002), MESTRADO em Matemática Aplicada pela Universidade Federal do Pará (desde novembro de 2007). MESTRADO em Matemática profissional (PROFMAT) desde maio de 2015 com bolsa Capes, pela Universidade Federal do Pará. Atualmente é professor do COLÉGIO IDEAL, FACULDADE FACI e FACULDADE METROPOLITANA DA AMAZÔNIA (FAMAZ) e é Funcionário Público da SEDUC no quadro de professor AD-4. Tem experiência na área de ensino de matemática, cálculo diferencial e integral, álgebra linear, estatística, cálculo numérico e Matemática Aplicada.

MARIO HENRIQUE MOREIRA DE MORAES

Discente do curso de Engenharia de Materiais, na Universidade Federal do Pará. Foi bolsista de extensão, utilizando Softwares Livres voltados para o ensino com ênfase na resolução de problemas envolvendo Cálculo Diferencial e Integral. Atualmente, é bolsista de iniciação científica na área de Materiais Compósitos e estagiário do Laboratório de Síntese (LASIN) da Faculdade de Engenharia Química (FEQ/UFGA).

MARK ANDERSON MOREIRA E SILVA

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí (2008). Atualmente diretor da empresa de engenharia Moreira & Silva Construções Ltda e professor do curso de

graduação em Engenharia Civil e Arquitetura do Centro Universitário Uninovafapi. Tem experiência na área docência nos cursos de Engenharia Civil e Arquitetura, construção de edificações residenciais e projetos complementares de estruturas e instalações.

MATHEUS CARVALHO BISPO

Mechanical Engineering student at Federal Institute of São Paulo (IFSP), São José dos Campos. He got a Technical Administration degree in 2015. He has been working with electromagnetic/structural characterization, ceramic materials, composites, and electromagnetic simulations (FDTD) as a Scientific Initiation Student since 2018 at the Department of Materials (AMR), in Institute of Aeronautics and Space (IAE/DCTA). His main interests include radiation absorbing materials, sintered materials, and electromagnetic CAE/CAD. His current scientific initiation project is focussed on the development of radiation absorbing composites in the microwave frequency with temperature variation.

MÍRIAM KASUMI HWANG YASSUDA

Possui graduação em bacharelado em Física pela Universidade de São Paulo (1994); mestrado em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (2000); doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2006) e Especialização em Neurociência pela USP (2018). Trabalha no DCTA desde 1995, sendo que 1995-2018 no Instituto de Aeronáutica e Espaço e 2018 até o momento no Instituto de Estudos Avançados. Tem experiência na área de Engenharia Aeroespacial, com ênfase em Materiais e Processos para Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial, atuando principalmente nos seguintes temas: materiais cerâmicos, propriedades microestruturais e mecânicas e análises de interação da radiação com a matéria.

MOACIR KUWAHARA

Graduado em Física Bacharelado pela UFPA (1997), Licenciado em Física pela UFPA (1998) e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UFPA (2014), na área de matérias e processos, também doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais de Amazônia (PRODERNA) na área de Engenharia de Processos na UFPA. Atualmente é professor de Física da FACI / WYDEN dos cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia de Controle e Automação, Engenharia Ambiental e Sanitária e Sistema de Informação, também membro da Secretaria de Estado de Educação do Pará.

NATASHA TERRA DEMACHKI

Estudante do 5º período de Engenharia Civil na Faculdade FACI | Wyden; Atualmente faz estágio - Ac Athayde Projetos Estruturais; Conhecimento em AutoCad e TQS; Monitora de Cálculo Instrumental e Cálculo Aplicado em 2018.1 e 2018.2; Formada em inglês avançado pela Cultura Inglesa em 2015 e em Alemão intermediário pelo Castilla em 2018;

PATRÍCIA MARIA DO AMARAL SABATINI

Graduada em Engenharia Civil pelo Instituto Mauá de Tecnologia – IMT – atua como engenheira civil na A2E Arquitetura e Engenharia, sendo responsável pela elaboração de propostas comerciais baseadas em orçamentos de obras, acumulando ainda experiência na área comercial com prospecção de clientes potenciais. Na AGS Instalações e Reformas, é responsável pela supervisão de execução de obras de reformas.

PEDRO GARCIA LINS

Professor Universitário a nove anos atuando nos cursos de Engenharia Civil e Mecânica na Universidade Mogi das Cruzes, foi professor no Centro Paula Souza – FATEC, nos cursos de soldagem e refrigeração. Possui graduação e mestrado em Engenharia de Materiais pela Escola Politécnica da USP. Os principais temas de pesquisa são: compósitos poliméricos, reologia.

RAISSA VENÂNCIO

Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis e bolsista de iniciação tecnológica do CNPq. Atua nas linhas de pesquisa voltadas à síntese, preparação de filmes finos e caracterização térmica e eletroquímica de materiais cerâmicos para as células a combustível de óxido sólido. Bem como estudo de catalisadores altamente eficientes para a mesma aplicação.

RAPHAEL SIQUEIRA FONTES

Graduado, Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica, pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN (IFRN) - campus Parnamirim. Atua no ensino, no curso técnico em Mecatrônica, e na pesquisa, na área de materiais compósitos.

RAVENA YASKARA SAMPAIO DE OLIVEIRA TAVARES

Estudante do 5º período de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande.

RENAN MAYCON MENDES GOMES

Possui graduação em Engenharia Civil pelo Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Piauí - UFPI. Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental pela Universidade Candido Mendes. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais pelo Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Piauí - IFPI. Atualmente é professor do Centro Universitário UniNovafapi.

RODRIGO ANDRAUS BISPO

Engenheiro Civil pelo Centro Universitário Católico Salesiano Auxílium, Araçatuba-SP. Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira FEIS, bolsista CAPES sob orientação do Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva.

RÚI CARLOS DE SOUSA MOTA

Curso superior de Tecnologia Mecânica- CENTEC ; Mestre em Engenharia Mecânica - UFRN ; Doutor em Engenharia Mecânica - UFRN ; Professor e pesquisador do IFBA - Instituto de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Simões Filho

SAYMO WENDEL DE JESUS PEIXOTO VIANA

Possui Graduação em Engenharia Civil (2017) pela Universidade Ceuma (UniCeuma), Mestrando em Engenharia Civil com ênfase em estruturas pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Tem experiência na área da Engenharia Civil, com ênfase em Análise Dinâmica de Estruturas.

SÉRGIO RENATO TEIXEIRA NASCIMENTO

Graduando em Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC) com experiência na área administrativo-financeira na empresa júnior Optimus Engenharia Júnior, na qual ocupou os cargos de assessor e diretor administrativo financeiro. Atualmente é estagiário de melhoria contínua na indústria têxtil Trifil.

TAMARA INDRUSIAK SILVA

Possui graduação em Engenharia de Materiais - Drexel University (2012) e graduação em Engenharia de Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia (2013). Atualmente é adjunto ao Laboratório de Materiais do Centro Tecnológico do Exército. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase caracterização de polímeros e materiais absorvedores de radiação eletromagnética

TAYNARA GONÇALVES NONATO

Bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (2018). Enquanto graduanda, participou em projetos de extensão universitária e iniciação científica, na qual foi desenvolvido o trabalho que virou artigo científico e foi apresentado no 23º CBECimat (Foz do Iguaçu - Brasil). Inglês em nível avançado e atualmente trabalha como auxiliar técnica de engenharia.

THAIS MARIA ARRUDA FERREIRA

Graduada no curso de Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (2018). Na graduação foi Monitora das disciplinas de Cálculo 1 e Desenho assistido por computador. Exerceu estágio em execução e gestão de obras. Atuou como coordenadora e participou dos Projeto de Extensão: Física Divertida, Uso de software e atividades lúdicas no ensino de matemática e Mãos à obra. Atuou como aluna bolsista do Programa de Iniciação Científica, onde desenvolveu estudos sobre manufatura de materiais de construção civil a partir de resíduos sólidos industriais. Atualmente desempenha a função de Engenheira Civil na empresa CA Empreendimentos Imobiliários (2019).

THIAGO FRANCISCO DE SOUZA

Possui graduação em Engenharia de Produção e Sistemas e mestrado em Ciência, Inovação e Modelagem em Materiais, pela Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC/ILhéus-BA). Atualmente professor assistente (dedicação exclusiva) do curso de Engenharia de Produção na Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC.

VANESSA ERMES SANTOS

Engenheira de Materiais formada pela Universidade Federal do Cariri - UFCA. Mestranda em Ciência dos Materiais pelo Instituto Militar de Engenharia - IME. Atualmente, trabalha no grupo de proteção balística.

VICTOR HUGO MAFRA MONFREDO FERREIRA

Discente de Engenharia De Materiais pela Universidade Federal do Pará, atualmente voluntário do projeto de pesquisa com ênfase na fabricação de materiais compósitos.

WASSIM RAJA EL BANNA

Possui graduação pela Universidade Federal do Pará (2009). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Processos de Fabricação. Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Pará (2012) na área de Concentração de Materiais e Processos de Fabricação, sub-área de Materiais Compósitos. Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) pela Universidade Federal do Pará (2017). Atua em pesquisa com materiais polimérico termoplástico e termorrígido, materiais compósito reforçados com fibras naturais, caracterização de fibras naturais, resíduos de madeira, resíduos industriais e análise de superfície de fratura

WENDEL MELO PRUDÊNCIO DE ARAÚJO

Possui graduação em Engenharia de Civil pela Universidade Federal do Piauí (2013), MBA em Gerenciamento de Obras e Tecnologia da Construção (2015) pelo Instituto Brasileiro de Educação Continuada ? INBEC, especialização em Avaliações e Perícias de Engenharia (2018) e mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do IFPI. Atualmente está cursando o doutorado em engenharia civil pela Universidade Federal do Pará.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7042-091-6

9 788570 420916