



JULIA NAVES TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-
MECÂNICAS DE FIBROCIMENTOS
PRODUZIDOS A PARTIR DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS**

LAVRAS- MG

2017

JULIA NAVES TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
FIBROCIMENTOS PRODUZIDOS A PARTIR DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do Título de Mestre.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

LAVRAS - MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Teixeira, Julia Naves.

Avaliação das propriedades físico-mecânicas de fibrocimentos
produzidos a partir de materiais lignocelulósicos / Julia Naves

Teixeira. - 2017.

125 p. : il.

Orientador: Rafael Farinassi Mendes.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Compósitos. 2. Extrusão. 3. Partículas e Resíduos
lignocelulósicos. I. Mendes, Rafael Farinassi. II. Título

JULIA NAVES TEIXEIRA

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE
FIBROCIMENTOS PRODUZIDOS A PARTIR DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS**

***EVALUATION OF THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF
FIBER CEMENTS PRODUCED FROM LIGNOCELLULOSIC
MATERIALS***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, para a obtenção do Título de Mestre.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2017.

Prof. Dra. Joelma Rezende Durão Pereira

UNILAVRAS

Prof. Dra. Livia Elizabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão Vaz UFLA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Orientador

LAVRAS - MG

2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela dádiva da vida e a Santo Expedito pela graça alcançada.

À Universidade Federal de Lavras, por me proporcionar uma das experiências mais gratificantes da minha vida de uma maneira tão especial.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Biomateriais, por acreditar em minha capacidade e me proporcionar aprendizados que levarei para toda vida. À FAPEMIG pelo apoio a minha pesquisa e pela concessão da bolsa.

Ao professor Rafael Farinassi pelo exemplo, companheirismo, por compartilhar seus conhecimentos e pela amizade, levarei suas orientações por toda minha trajetória profissional. Agradeço por me mostrar do que sou capaz. Aos colegas e amigos da UEPAM por todo o aprendizado, parceria, conselhos e auxílios. Em especial à Camila Farrapo, Camila Fonseca, Danillo, Alan e Arlei.

Aos meus pais Wantuil e Helenice, pelo exemplo, apoio, força, pelo amor e o carinho e principalmente pelos valores a mim transmitidos. Sempre será um honra ser filha de seres tão maravilhosos.

Aos meus irmãos Elaine, Fernando e Aline, a confiança, apoio e compreensão. Aos meus primos pela parceria e aos tios pelo incentivo.

Ao meu namorado Victor pelo amor, pela paciência e compreensão.

À República Q-Boas pelo amor incondicional, pelos valores passados e mantidos e pela força que me deram a cada dia. Tenho muito orgulho de ser parte desta família.

Aos amigos que fiz em Lavras, aos de repúblicas, aos colegas de turma, aos professores em geral, por todos os momentos de descontração, todas as conversas, os conselhos e os ensinamentos.

MUITO OBRIGADA!

RESUMO

As pesquisas voltadas para o desenvolvimento de fibrocimento com resíduos lignocelulósicos utilizam, em sua maioria, fibras como reforço. Porém, o uso de partículas proporcionaria um menor custo de produção. No entanto, a falta de entendimento sobre o comportamento desses compósitos com a adição de partículas de diferentes tipos de materiais de reforço lignocelulósico e a porcentagem ótima de reforço ainda é uma barreira para sua utilização. Sendo assim, esta pesquisa objetivou avaliar as propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimentícios com adição de diferentes tipos e porcentagens de materiais lignocelulósicos em formato de partículas. Para a realização do trabalho foram utilizadas partículas de eucalipto, pseudocaule de bananeira, casca de café, casca de coco e palha de arroz como componente de reforço dos fibrocimentos. Os materiais lignocelulósicos foram avaliados quanto às suas propriedades físicas, químicas e anatômicas. Os compósitos foram produzidos em escala laboratorial por procedimento de extrusão. A formulação empregada na produção dos compósitos foi de: 0, 1, 2, 3, 4 e 5% de material lignocelulósico, 30% de calcário agrícola moído, 1% de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e 1% de aditivo poliéter carboxílico (ADVA) e o restante do material, para completar 100% da formulação, foi composto de cimento Portland (CPV-ARI). A relação água/cimento utilizada foi em torno de 30% de água em relação à massa de cimento. Os fibrocimentos produzidos foram avaliados quanto às suas propriedades físicas de densidade aparente, porosidade e absorção de água; e suas propriedades mecânicas de módulo de elasticidade, módulo de ruptura, limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade. O uso de partículas lignocelulósicas como reforço em matriz cimentícia apresentou comportamento satisfatório quando avaliadas as propriedades físico-mecânicas dos fibrocimentos produzidos por extrusão. As melhores porcentagens de substituição de cimento por partículas lignocelulósicas foram de 1% para casca de café, pseudocaule de banana e casca de coco e de 2% para palha de arroz e 4% para o eucalipto. Os fibrocimentos produzidos com reforço de partículas de eucalipto apresentaram os melhores resultados.

Palavras-chave: Compósitos. Extrusão. Partículas. Resíduos lignocelulósicos.

ABSTRACT

Researches aimed at the development of fiber cement with lignocellulosic residue, in general, use fibers as reinforcement. The use of particles provides lower cost to the production. However, the lack of understanding the behavior of these composites with the addition of particles of many types of reinforcement lignocellulosic materials and the optimum percentage of reinforcement are still a barrier for its use. Thus, this research aimed at evaluating the physical-mechanic properties of the cementitious composites with the addition of different types and percentages of lignocellulosic materials in the form of particles. For conducting this work, particles of eucalypt, banana pseudostem, coffee peel, coconut shells and rice straw were used as reinforcement component for the fiber cement. The lignocellulosic materials were evaluated regarding their physical, chemical and anatomic properties. The composites were produced in laboratorial scale by means of extrusion. The formulation employed in the production of the composites was of: 0, 1, 2, 3, 4 and 5% of lignocellulosic material, 30% of ground agricultural limestone, 1% of hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and 1% of carboxyl polyester additive (ADVA) and, the remaining material, for completing 100% of formulation, was comprised of Portland cement (CPV-ARI). The water/cement relation used was approximately 30% of water. The produced fiber cements were evaluated regarding their physical properties of apparent density, porosity and water absorption; and its mechanical properties of elasticity module, rupture module, proportionality limit and tenacity. The use of lignocellulosic particles as reinforcement of the cement matrix presented satisfactory behavior when evaluating the physical-mechanic properties of the fiber cements produced by extrusion. The best percentages for cement substitution by lignocellulosic particles were of 1% for coffee peel, banana pseudostem and coconut shells, 2% for rice straw and 4% for eucalypt. The fiber cements produced with reinforcement of eucalypt particles presented the best results.

Keywords: Composites. Extrusion. Particles. Lignocellulosic residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fibrocimento com reforço.....	20
Figura 2 - Alinhamento das fibras pelo método de extrusão.Fonte: Teixeira (2010).....	24
Figura 3 - Detalhamento de definição de partículas lignocelulósicas.....	25
Figura 4 - Processo de produção dos compósitos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.....	42
Figura 5 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	54
Figura 6 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	55
Figura 7 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	55
Figura 8 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	57
Figura 9 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	58
Figura 10 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.....	58
Figura 11 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.	59
Figura 12 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	62
Figura 13 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com pseudocaule de bananeira.....	63

Figura 14 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	63
Figura 15 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	66
Figura 16 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	66
Figura 17 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	67
Figura 18 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.	67
Figura 19 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	71
Figura 20 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	71
Figura 21 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	72
Figura 22 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	74
Figura 23 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	75
Figura 24 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.	75

Figura 25 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.....	76
Figura 26 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	78
Figura 27 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	79
Figura 28 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	79
Figura 29 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	82
Figura 30 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	82
Figura 31 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	83
Figura 32 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.	83
Figura 33 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.....	86
Figura 34 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.....	86
Figura 35 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.....	87
Figura 36 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.....	89
Figura 37 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.....	90

Figura 38 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.	90
Figura 39 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.	91
Figura 40 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	94
Figura 41 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	95
Figura 42 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	95
Figura 43 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	98
Figura 44 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	99
Figura 45 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	101
Figura 46 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização anatômica das partículas dos resíduos.	47
Tabela 2 - Densidade aparente dos diferentes tipos de resíduos.....	49
Tabela 3 - Composição química dos diferentes tipos de resíduos.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1	Fibrocimento sem amianto.....	19
2.2	Produção do fibrocimento.....	22
2.3	Partículas lignocelulósicas na matriz de cimento.....	24
2.4	Partículas de resíduos lignocelulósicos.....	27
2.5	Partículas de banana.....	28
2.6	Partículas de palha de arroz.....	30
2.7	Partículas de casca de coco.....	31
2.8	Partículas de casca de café.....	33
2.9	Partículas de eucalipto.....	34
2.10	Propriedades dos compósitos com partículas e comportamento do reforço.....	36
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1	Coleta e preparação do material.....	39
3.2	Caracterização da matéria-prima.....	39
3.3	Produção dos compósitos.....	40
3.4	Ensaio físicos.....	42
3.5	Ensaio mecânicos.....	43
3.6	Análise dos resultados.....	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Caracterização da matéria-prima.....	47
4.2	Propriedades do fibrocimento com diferentes porcentagens de partículas.....	53
4.2.1	Fibrocimento com palha de arroz.....	53
4.2.1.1	Propriedades físicas.....	54
4.2.1.2	Propriedades mecânicas.....	57
4.2.2	Fibrocimento com pseudocaule de bananeira.....	61
4.2.2.1	Propriedades físicas.....	62
4.2.2.2	Propriedades mecânicas.....	65
4.2.3	Fibrocimento com casca de café.....	70
4.2.3.1	Propriedades físicas.....	70
4.2.3.2	Propriedades mecânicas.....	74
4.2.4	Fibrocimento com casca de coco.....	78
4.2.4.1	Propriedades físicas.....	78
4.2.4.2	Propriedades mecânicas.....	81
4.2.5	Fibrocimento com partículas de eucalipto.....	85
4.2.5.1	Propriedades físicas.....	85
4.2.5.2	Propriedades mecânicas.....	89

4.3	Melhores porcentagens para cada tipo de reforço lignocelulósico.....	93
4.3.1	Propriedades físicas	94
4.3.2	Propriedades mecânicas	98
5	CONCLUSÃO	103
	REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

Construção sustentável é um conceito ligado à preocupação crescente em todo o mundo em vista da escassez de recursos naturais e de energia, geração de resíduos sólidos e emissão de gases. Dentro deste conceito, existe atualmente um grande interesse em materiais e técnicas que envolvem construções com terra, plantas e cimento alternativo, para desenvolvimento de novos produtos que tenham um menor impacto ambiental em sua produção (SAVASTANO JÚNIOR, 2002).

O desenvolvimento de novos materiais e tecnologias não convencionais voltadas principalmente para a indústria da construção civil, utilizando recursos naturais renováveis e abundantes, como é o caso dos materiais vegetais, além da questão de reforço da matriz, tem o objetivo de minimizar o custo do produto para que haja contribuição social e econômica para o país (AGUIAR; CAMÕES; FANGUEIRO, 2014).

Um dos materiais alvo de pesquisas é o compósito cimentício chamado de fibrocimento. O emprego deste tipo de compósito em forma de placas, telhas de cobertura e componentes pré-fabricados pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infraestrutura dos países (BILCATI, 2015; SAVASTANO; SANTOS; AGOPYAN, 2009).

Convencionalmente, o material utilizado como reforço do fibrocimento é o amianto, porém o fato de essa fibra poder estar relacionada a problemas de saúde dos trabalhadores do setor fez com que estudos por outras fibras alternativas, sejam elas sintéticas ou vegetais, surgissem ao redor de todo o mundo (AGOPYAN et al., 2005; MARQUEZ, 2014; MENDES, 2001). A produção de fibrocimento livre de amianto no Brasil teve início com a importação de fio de PVA (Poliacetato de vinila) em 2001. Porém, problemas com a demora na importação e alto custo da fibra de PVA fizeram a indústria acelerar o projeto de desenvolvimento de sua própria fibra, e em 2003 começou-

se a produzir fibra de polipropileno (BRUNO, 2007; QUEIROGA et al., 2005; SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000).

Os compósitos reforçados com fibras sintéticas costumam ter bom desempenho, porém, o emprego destas fibras gera alto custo na produção, o que torna sua aplicação mais limitada em que prevalece o critério econômico, como na produção de habitações de baixo custo (AGUIAR; CAMÕES; FANGUEIRO, 2014; DIAS; SAVASTANO JUNIOR; JOHN, 2010).

Sendo assim, o desenvolvimento de materiais vegetais como reforço no cimento ganhou mais atenção no mundo na década de 1960 quando houve o interesse na produção de placas mais baratas, substituindo metade do amianto utilizado como reforço por celulose. Esse material apresentava melhores resultados de conformação e uniformidade que o produto antes comercializado somente reforçado com amianto, sendo até mais fácil para fixar e cortar (COUTTS, 2005).

Nesse contexto, o emprego de materiais vegetais tem ganhado especial atenção em diversos estudos científicos que objetivam a aplicação na produção de materiais construtivos alternativos. Dessa forma, a utilização de resíduos agroindustriais pode permitir não só a obtenção de novos produtos de boa qualidade como também influenciar positivamente a redução do gasto de energia e a preservação ambiental (RASHWAN; HATZINIKOLAS; ZMAVC, 1992).

O uso de material lignocelulósico proveniente de resíduos em cimentos alternativos é tido como boa opção na busca por novas formulações de fibrocimento (SILVA; QUEIROZ, 2002; WINKLER, 2015). Em razão de o Brasil ser um grande produtor agroindustrial, os resíduos agrícolas destacam-se como matéria-prima abundante e sustentável (VALE; DANTAS; ZAMBRZYCKI, 2013). As pesquisas voltadas para o desenvolvimento de fibrocimento com resíduos lignocelulósicos utilizam em sua maioria fibras como reforço, porém o uso de partículas proporcionaria um menor custo de produção,

haja visto a diminuição de equipamentos, energia e tempo gasto no seu processamento. No entanto, a falta de entendimento sobre o comportamento desses compósitos com a adição de partículas de diferentes tipos de materiais de reforço lignocelulósico e a porcentagem ótima de reforço ainda é uma barreira para sua utilização. Sendo assim, esta pesquisa objetivou avaliar as propriedades físico-mecânicas dos compósitos cimentícios com adição de diferentes tipos e porcentagens de materiais lignocelulósicos em formato de partículas.

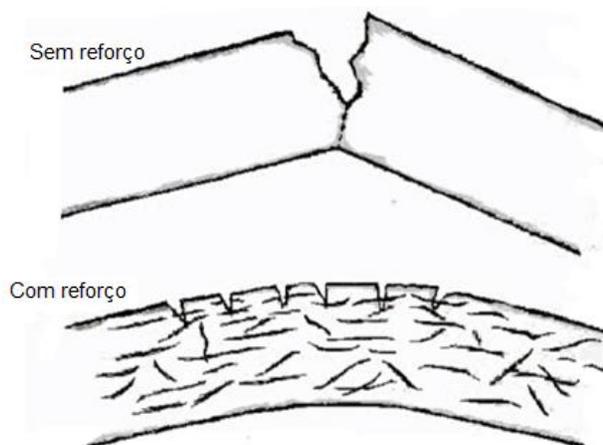
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fibrocimento sem amianto

O setor de fibrocimento brasileiro é o terceiro maior do mundo, com uma produção anual de 290 mil toneladas, representando assim 15% da produção mundial. Dentre os produtos obtidos com fibrocimento estão as telhas, caixas d' água, placas planas para divisórias, revestimento de interiores ou exteriores e tubos para água em baixa e alta pressão (MENDES, 2014).

O fibrocimento surgiu devido ao fato de que os compósitos de matriz cimentícia são considerados quebradiços por apresentarem baixa resistência à tração, o que em alguns casos pode causar rachaduras e inviabilizar sua utilização (COUTTS, 2005). A inserção de fibras na matriz cimentícia promove o aumento da resistência mecânica e melhora a capacidade de absorção de energia com a distribuição de microfissuras ao longo do compósito (FIGURA 1) (COUTTS, 2005). As fraturas dos compósitos reforçados com fibras podem ocorrer a partir de defeitos do material como fibras rompidas, falhas na matriz e deslocamentos na interface da fibra-matriz (PIZZOL, 2013; TONOLI et al., 2009).

Figura 1 - Fibrocimento com reforço.



Fonte: Adaptado de Coutts (2005)

O primeiro material utilizado para ser adicionado à matriz cimentícia foi o amianto. O material apresenta baixo custo e excelentes propriedades físicas e mecânicas, sendo utilizado em materiais compósitos para construção civil, como telhas, placas e tubos (COUTTS, 2005).

O cenário envolvendo os materiais contendo amianto é polêmico, pois ao mesmo tempo em que a literatura médica dá exemplos e indica que a melhor solução seria o banimento, o setor de engenharia e pesquisa de materiais ainda não definiu um material que possa ser padronizado oficialmente como substituto, atendendo todas as características que o amianto possui, agregando menores índices de periculosidade e que possa atender à demanda de produtos dessa natureza (MARQUEZ, 2014).

No Brasil, no ano de 2001, cinco estados sancionaram leis estipulando diversas datas de proibição progressiva ao uso do amianto (MARQUEZ, 2014). No ano de 2003, o Supremo Tribunal Federal (STF) declarou inconstitucionais

as legislações estaduais por invasão da competência exclusiva da União para legislar sobre o assunto. Porém, até os dias atuais não se formulou nenhuma lei federal que complemente a abordagem das leis revogadas (MACEDO, 2014).

Durante as últimas três décadas no Brasil, vários estudos foram desenvolvidos com o intuito de encontrar substitutos para a fibra de amianto em produtos de fibrocimento (CAMPBELL; COUTTS, 1980; ROMA JUNIOR; MARTELLO; SAVASTANO JUNIOR, 2008; TONOLI et al., 2010). Pesquisas indicam que o desempenho mecânico dos compósitos com fibras vegetais como serragem, bagaço de cana, casca e palha de cereais são satisfatórios, porém são necessários ajustes na formulação e nos parâmetros de processo para melhorar a durabilidade dos produtos (MACVICAR; MATUANA; BALATINECZ, 1999).

A indústria brasileira de fibrocimento já possui matérias-primas eficientes para a fabricação e comercialização de telhas e caixas d'água, painéis e outros elementos construtivos sem a utilização do amianto. Trata-se do polivinil acetato (PVA) e do polipropileno (PP), aprovados pelo Ministério da Saúde e utilizados junto à celulose em telhas onduladas, de acordo com a NBR 15.210-1 (2005) (MACEDO, 2014).

No entanto, uma das desvantagens na substituição do amianto por fibras sintéticas na produção de fibrocimento é o maior custo de produção do material substituto. Atualmente no Brasil são utilizadas fibras do tipo polivinil (PVA) ou de polipropileno (PP), que são responsáveis pelo aumento de aproximadamente 40% do custo total (DIAS; SAVASTANO; JOHN, 2010; FARRAPO, 2015).

Nesse contexto, uma das alternativas ao alto custo é o uso de materiais lignocelulósicos como material de reforço do cimento (KHEDARI et al., 2001). No Brasil, a produção de tais matérias de reforço é abundante (MÁRMOL et al., 2013), mais um incentivo para o desenvolvimento destes novos produtos.

Em sua maioria, o uso dos materiais lignocelulósicos na matriz de cimento é em forma de fibras. Contudo, em alguns casos o processo de

desfibramento promove o aumento do custo de produção e a necessidade de novos equipamentos para o setor produtivo (SILVA, 2015). Sendo assim, pesquisas com partículas vegetais foram desenvolvidas com alguns materiais lignocelulósicos, a maioria deles após tratamentos nas partículas. Os reforços utilizados foram as partículas de pseudocaule de bananeira, diferentes tipos de madeira e casca de coco verde (FERRAZ, 2011; LATORRACA, 1999; OKINO et al., 2004; PEREIRA et al., 2013). Para a casca de coco verde e as partículas de madeira os resultados foram satisfatórios e melhoraram as propriedades de isolamento térmico e o módulo de ruptura do cimento.

Contudo, ainda faltam informações relevantes sobre o efeito do tipo de material vegetal em formato de partículas e suas relações com o método de produção sobre as propriedades finais dos fibrocimentos.

2.2 Produção do fibrocimento

Quase 85% dos produtos de fibrocimento comercializados no mundo são produzidos pelo processo Hatschek (IKAI et al., 2010). Nesse processo uma suspensão composta por água, cimento, minerais e fibras é misturada e introduzida em uma cuba que contém cilindros envolvidos por uma tela. Esses cilindros recolhem uma camada primária dos materiais sólidos, enquanto a água fica retida no interior do cilindro. As camadas que são formadas ficam agrupadas em um feltro, que passam ao longo das caixas de vácuo para retirar o excesso de água. As camadas acumuladas seguem para outro cilindro que prensa e uniformiza o produto (NEGRO et al., 2005).

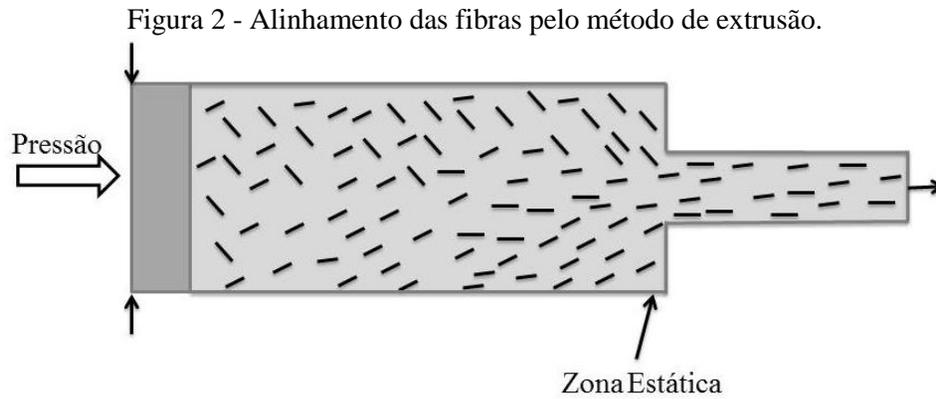
O processo Hatschek apresenta elevado custo de implementação de sua planta industrial, fazendo com que as mesmas fiquem localizadas em polos de alta densidade demográfica (TEIXEIRA, 2010). Uma alternativa é o processo de extrusão, por ser mais econômico e produzir elementos com características físicas e mecânicas iguais ou melhores que o processo Hatschek (SHAO;

MARIKUNTE; SHAH, 1995; TAKASHIMA et al., 2003). Devido ao baixo custo de implantação do método de extrusão, o mesmo poderia se fixar em localidades com baixa densidade demográfica atendendo pequenos mercados. Com o menor investimento de implantação, o mercado seria diversificado e mais competitivo, com maior diversidade de produtos (TEIXEIRA, 2010).

O processo de extrusão é contínuo e permite obter taxas elevadas de produção em vários tipos de geometrias. Este processo já é utilizado na indústria de metais, plásticos e argilas, no entanto, seu uso na indústria de cimento é limitada (ALFANI; GUERRINI, 2005; SHAO; SHAH, 1997). Apesar de que nos últimos anos o interesse neste setor vem aumentando.

A vantagem do processo de extrusão sobre a produção de produtos de cimento é que os materiais são formados sob as forças de cisalhamento e compressão elevadas, que resultam em composições com desempenho melhorado. É um modo econômico e com capacidade de produzir não apenas formas planas, mas também perfis estruturais eocos (ALDEA; MARIKUNTE; SHAH, 1998).

O fibrocimento produzido pelo método de extrusão mostra um aumento significativo na resistência à tração e flexão em comparação ao processo Hatschek, devido principalmente à melhoria da interface da fibra com a matriz cimentícia (PELED; SHAH, 2003; QIAN et al., 2003; SHAO; SHAH, 1997; ZHOU; LI, 2012) pois com as forças de compressão há menor porosidade no compósito, menor relação água/cimento, permitindo assim maior compactação da matriz e diminuindo a movimentação dimensional do material vegetal (TAKASHIMA et al., 2003). Este processo também apresenta um melhor alinhamento e homogeneização do reforço na matriz, melhorando todos os aspectos de resistência do produto (FIGURA 2),



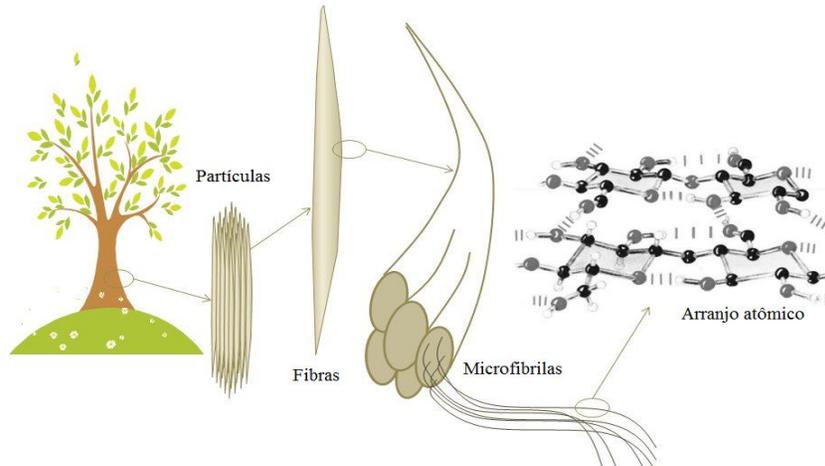
Fonte: Teixeira (2010).

A homogeneização do material de reforço adicionado à matriz cimentícia durante a extrusão permite a utilização de uma grande variedade de materiais como matéria-prima. Materiais lignocelulósicos são uma alternativa interessante devido ao baixo custo e à abundância na natureza (TEIXEIRA et al., 2012). Com a utilização de resíduos lignocelulósicos o processo de produção pode ser otimizado em questão de custos, além da questão de sustentabilidade com a destinação adequada do material e a sua agregação de valor.

2.3 Partículas lignocelulósicas na matriz de cimento

As partículas lignocelulósicas podem ser geradas nas indústrias primárias e secundárias de produtos lignocelulósicos de diversas áreas, comércios e atividades (BRAND et al., 2005).

Figura 3 - Detalhamento de definição de partículas lignocelulósicas.



Fonte: Adaptação de Santos et al. (2012)

As partículas lignocelulósicas são constituídas de várias fibras fortemente ligadas entre si por um material de cimentação, a lignina. Tais fibras possuem uma parede espessa formada por várias microfibrilas de celulose que estão envolvidas por uma matriz de lignina e hemicelulose. A hemicelulose atua na interface entre a microfibrila de celulose e a lignina (FIGURA 3) (NASCIMENTO, 2011).

Uma vantagem no uso de materiais lignocelulósicos como reforço no cimento, o qual apresenta pouca resistência à tração, é a elevada resistência do material lignocelulósico a este tipo de força. A celulose permite que as células das plantas suportem a pressão osmótica e é responsável por excelentes propriedades mecânicas de resistência à tração, cisalhamento e compressão, aliada a uma baixa densidade (WEI; MEYER, 2015). Porém, aspectos relativos à durabilidade em meio alcalino e aos mecanismos envolvidos no processo de degradação do material lignocelulósico ainda devem ser investigados a fim de que essa tecnologia possa ser efetivamente implantada na fabricação de

elementos construtivos de baixo custo e com durabilidade garantida a longo prazo (OLIVEIRA, 2000).

A decomposição deste material ocorre quando seus constituintes, principalmente a lignina e a hemicelulose, são degradados pela ação do elevado pH da água da pasta de cimento (AGOPYAN, 1991). Algumas pesquisas relatam a decomposição da lignina pelos álcalis presentes na água de hidratação da matriz cimentícia. Este processo enfraquece as ligações entre fibra e matriz e diminui a vida útil do compósito (AGOPYAN et al., 2005; BENTUR; AKERS, 1989). Contudo, outros pesquisadores apresentam resultados positivos quanto à alta concentração de lignina nos materiais lignocelulósicos. Segundo Morh, Biernacki e Kurtis (2006) e Nanko, Asano e Ohsawa (1991) a lignina aumenta a estabilidade dimensional e apresenta um caráter higroscópico, melhorando assim a interface fibra/matriz e diminuindo o mecanismo de mineralização das fibras pelo elevado pH do cimento.

Alguns componentes químicos do material lignocelulósico, muitas vezes, podem ser tornar substâncias inibidoras de cura, tais como as hemiceluloses, amidos, açúcares, fenóis, lignina e ácidos carboxílicos hidroxilados, afetando a cristalização do cimento. Tais características químicas devem ser observadas, pois a variação de espécies altera a composição química dos materiais lignocelulósicos (FICHER et al., 1974; LEE; HONG; PHILIPS, 1987) e se mostra de extrema importância para definição da qualidade final do fibrocimento.

Com a interação entre reforço/matriz tendo um bom desempenho devido à composição química do reforço, pode-se também basear nas demais vantagens em se utilizar tais materiais no fibrocimento, como baixa densidade, baixo custo, alta disponibilidade, excelente resistência e elevado módulo específico (XIE et al., 2015).

2.4 Partículas de resíduos lignocelulósicos

Muitas pesquisas são direcionadas para a produção de fibrocimento com matérias lignocelulósicas, porém o foco das pesquisas é a produção de compósitos com fibras, devido à produção do compósito com amianto, que utilizava o formato de fibras. Assim foram utilizados nas pesquisas materiais como juta, sisal, linho, cânhamo, agave, lufa, casca de arroz, bambu, banana, coco, eucalipto, cana de açúcar (ABDULLAH et al., 2011; AGOPYAN; SAVASTANO JUNIOR, 1997; CORREIA et al., 2014; JOHN; THOMAS, 2008; JUÁREZ et al., 2007; MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2002; SILVA, 2015; TEIXEIRA, 2010; TOLEDO FILHO; SANJUÁN, 1999; TONG et al., 2014; TONOLI et al., 2007, 2013a; WEI; MEYER, 2016; XIE et al., 2015).

Entretanto, para a produção destes compósitos, o material de reforço passa por desfibrilação e a alta ação cisalhante do método pode desenvolver danos à estrutura da fibra, desprotegendo assim seu lúmen, fazendo com que o ataque alcalino seja facilitado (SANADI, 2002). As propriedades finais dos compósitos dependem das características iniciais do reforço e da matriz. Em um reforço com consequências da ação da alcalinidade da matriz, a resistência mecânica dos compósitos é afetada e os danos na estrutura deste reforço podem interferir em muitas variáveis, incluindo a ligação entre fibra e matriz, a afetividade do reforço e orientação das fibras no produto final (SAWYER; GRUBB; SIMATUPANG, 1986).

Uma alternativa aos danos causados pela desfibrilação e alto custo de produção de fibras para reforço de cimento é o uso de partículas. Estas não passam pelo processo de desfibrilação e, ainda assim, tem a presença das fibras vegetais em sua estrutura.

Como o Brasil se destaca na produção agrícola, influenciado principalmente pelas condições climáticas favoráveis do mesmo (PESSÔA; SCHUCH; SOUZA, 2009), bilhões de toneladas de resíduos florestais e

agrícolas são gerados no processo de transformação de matérias-primas de diferentes segmentos e a maioria destes materiais não possui aplicação específica (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014). Semelhante aos resíduos agrícolas, os resíduos florestais podem resultar em impactos positivos quando são utilizados para a geração de energia, incorporados ao solo, desenvolvimento de materiais, entre outras aplicações (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA, 2012).

No presente estudo será avaliado o potencial de utilização de partículas de banana, palha de arroz, casca de coco, casca de café e madeira de eucalipto como reforço nos compósitos a base de cimento.

2.5 Partículas de banana

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de banana, com a produção anual de aproximadamente 7,2 milhões de toneladas (IBGE, 2014). Economicamente, a banana destaca-se como a segunda fruta mais importante em área colhida, quantidade produzida, valor da produção e consumo. É cultivada por grandes, médios e pequenos produtores (IPEA, 2012). No Brasil o cultivo da banana distribui-se por todo o território nacional, situando-se entre as principais culturas em área plantada com a extensão de 483.562 hectares (CARVALHO; SUZART; FERREIRA, 2014). O resíduo gerado desta planta é significativo, em média 1,5%, na safra de 2014 foram gerados 105,6 mil toneladas, grande parte deste material é composta pelo pseudocaule (FOLEGATTI; MATSUURA, 2002; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010; SILVA et al., 2009).

O pseudocaule após oferecer o fruto pode proliferar fungos com difícil controle de tratamento, devido à alta umidade incidente nas plantações. Sendo assim, a extração do pseudocaule das bananeiras pode ser uma alternativa de renda interessante para a mão de obra rural e uma opção viável para confecção

de artesanatos, reforço de resinas termoplásticas e em compósitos de maneira geral (MISHRA; NAIK; PATIL, 2000).

Na tendência atual de diminuição dos impactos ambientais, o compósito produzido a partir do resíduo do pseudocaule da bananeira é uma alternativa na área da construção civil, uma vez que possibilita a redução de custo do produto final e contribui para a diminuição do impacto ambiental, com total aproveitamento do pseudocaule. Além de contribuir para o meio ambiente, contribuirá para a economia do país, tendo em vista o reaproveitamento de matérias vegetais descartáveis de boa qualidade e alto potencial de aplicabilidade na construção civil, no que se refere à construção de moradias populares (CARVALHO; SUZART; FERREIRA, 2014).

O pseudocaule da bananeira tem alto potencial como reforço, pois é uma fonte de fibra natural com excelentes propriedades de resistência à tração, aproximadamente 355 MPa e densidade de $0,135 \text{ g.cm}^{-3}$ (BINOJ et al., 2016). A estrutura de sua parede celular consiste em gorduras e ceras (0,2-3%), pectina (0,5-1%), lignina (5-13%), hemicelulose (19-25%) e principalmente de celulose (56-68%), características que podem favorecer o uso em compósitos (RICHTER; STROMANN; MÜSSIGA, 2010).

A importância da fibra natural de banana em compósitos reforçados vem da melhoria substancial da resistência e módulo de elasticidade, que oferece a possibilidade de aplicações práticas em compósitos. Os valores de resistência de compósitos que tiveram como reforço o pseudocaule de banana apresentaram boas propriedades (AGUNG et al., 2011; BLEDZKI et al., 2010; BLEDZKI; FARUK; MAMUN, 2008; BLEDZKI; JASZKIEWICZ; SCHERZER, 2009; GIRONES et al., 2011; HAQUE et al., 2010; RAHMAN et al., 2009; VILASECA et al., 2010).

Todos os estudos encontrados na literatura utilizaram as fibras de pseudocaule de bananeira, não sendo encontrados trabalhos com partículas desse material como reforço em matrizes cimentícias.

2.6 Partículas de palha de arroz

A produção nacional de arroz em 2014 foi de aproximadamente 12,7 milhões de toneladas (IBGE, 2014), com uma área total ocupada com a cultura de 2.9 milhões de hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA, 2011; BRASIL, 2010; IBGE, 2010). A produtividade do arroz varia em função das condições de clima, tratos culturais e adaptabilidade às regiões e solos, chegando a 1,23 t/hectare na região Nordeste até 6,73 t/hectare na região Sul, sendo a média nacional de 4,22 t/hectare (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2014). Em relação aos resíduos agrícolas da produção, o volume de resíduo que permanece no campo é em média 20% da produção, em 2014 foi de 2,54 milhões de toneladas (ABIB, 2011; BRASIL, 2010; IBGE, 2010; TOLMASQUIM, 2014).

Um dos principais resíduos é a casca, conhecida também como palha, que apresenta uma grande vantagem como agregado alternativo, pois sua geração é concentrada em poucos locais, facilitando sua comercialização. Além disso, a granulometria do material é relativamente uniforme, o que influencia de forma positiva quanto à trabalhabilidade com o material. A casca que envolve a semente é obtida no processo de moagem e na maioria das vezes é descartada no meio agrícola pela inexistência de aproveitamento mais adequado (BERALDO; TOJAL, 2002).

A palha de arroz foi objeto de pesquisas com o intuito de melhorar as características físico-mecânicas de argamassas ou de materiais de construção civil baseados em terra crua (AKASAKI; SILVA, 2001).

Um dos componentes da casca de arroz é o dióxido de silício (SiO_2) (NAIR et al., 2008). As características de composição química e propriedades mecânicas deste resíduo são favoráveis à utilização do material em compósitos. A quantidade de celulose está entre 25 e 35 %, de hemicelulose, 18 e 21%, de lignina entre 26 a 31 %, de extrativos entre 2 a 5% e cinzas de 15 a 25%. A densidade aparente é de aproximadamente $0,690 \text{ g.cm}^{-3}$. As propriedades da casca de arroz mostram que há potencial de associação deste material como aglutinante para reforço de matrizes minerais, como o cimento, em construções sustentáveis (CHABANNES et al., 2014).

A casca é utilizada como material pozolânico, com a finalidade de ganho econômico obtido pela substituição de uma parte do cimento Portland por esta pozolana natural; uma segunda vantagem é a melhoria da durabilidade do produto final (HAMZEH et al., 2013). As partículas *in natura* ainda não foram objeto de pesquisa como material de reforço em compósitos de fibrocimento.

2.7 Partículas de casca de coco

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de coco, com produção aproximadamente de 2,8 milhões de toneladas distribuídas em uma área de 287 mil hectares de coqueiros e, sendo responsável por mais de 80% da produção de coco entre os países da América do Sul (MARTINS; JESUS JÚNIOR, 2011). Os cinco principais produtores brasileiros da cultura são: Bahia, Pará, Ceará, Pernambuco e Espírito Santo (PEREIRA, 2012).

A geração de resíduos da produção é de aproximadamente 1,45% do volume da safra (IBGE, 2010; IPEA, 2012). O coco produz fibras abundantes resultantes do descarte de cocos. Porém, apesar de apresentar potencial de uso, o país ainda utiliza muito pouco a fibra de coco para reforço em compósitos (KUCHIBHATLA et al., 2007).

Senhoras (2003) afirma que as boas características de resistência e durabilidade dessa fibra permitem que ela seja utilizada na composição de diferentes tipos de produtos como, por exemplo, os produtos destinados para o isolamento térmico e acústico. As principais características da fibra de coco, que lhe garantem vantagens para sua utilização industrial, são que elas são inodoras, resistentes à umidade e não apodrecem com rapidez (PEREIRA, 2012).

As fibras do coco são muito curtas, por isso não são adequadas para a indústria de produção de papel e celulose, uma alternativa é o uso em compósitos, pois apesar do baixo teor de celulose, a estrutura da fibra é bem fechada, justificando a sua melhor durabilidade em relação a outras fibras vegetais dentro do compósito de matriz cimentícia, pois é menos vulnerável ao ataque alcalino (SAVASTANO; SANTOS; AGOPYAN, 2009).

Outra vantagem da utilização do resíduo da casca de coco é a boa resistência à tração deste material, com MOR (Módulo de Ruptura) entre 95 e 118 MPa (MOTTA, 2005; SAVASTANO; WARDEN; COTTS, 2000) e o baixo módulo de elasticidade dessas fibras que condiciona sua eficiência como reforço a deformações elevadas do compósito cimentício (PEREIRA, 2012) e também sua baixa densidade, de aproximadamente $0,146 \text{ g.cm}^{-3}$ (BINOJ et al., 2016).

Os resíduos de coco são subprodutos da indústria de beneficiamento do coqueiro. Essa indústria gera fibras residuais com comprimento de 1 a 3 cm, ideal para distribuição em matrizes cimentícias (SAVASTANO; SANTOS; AGOPYAN, 2009). A fibra apresenta em média de 32 a 43,8% de celulose, de 0,15 a 20% de hemicelulose e de 40 a 45% de lignina (BINOJ et al., 2016; SILVA; QUEIROZ, 2002).

Pesquisas que avaliam a utilização de fibras de coco em compósitos a base cimento, no formato de partículas, ainda não foram encontradas em literatura.

2.8 Partículas de casca de café

O Brasil é o maior produtor mundial de café. O país chegou a produzir em 2014 a quantidade de aproximadamente 2,7 milhões de toneladas desse produto (IBGE, 2014)

Nos países da América Latina produtores de café, o tipo de beneficiamento utilizado no qual o grão do café é despulpado gera um subproduto, a casca. O despulpamento é feito com a retirada da polpa e casca, dividindo os grãos. O produto final do processo são os grãos envolvidos pelo pergaminho. Após o beneficiamento dos grãos, padronizam-se os lotes conforme o tamanho, forma e aspecto dos grãos, obtendo-se o produto final a ser comercializado (VENTURIM, 2002).

No Brasil, o processo de secagem mais comum é feito ao sol ou em secadores mecânicos e produz um resíduo denominado casca ou palha de café, mas o beneficiamento por via úmida do café tem sido intensificado em alguns países da América Latina nos últimos anos, gerando também a polpa de café (VENTURIM, 2002). Os resíduos gerados estão se transformando em problema, com implicações para a saúde pública e para o meio ambiente, pelo perigo de contaminação por microrganismos que se multiplicam no processo de putrefação (BARCELOS et al., 2013). Segundo Bartholo et al. (1987) e Woiciechowski et al. (2000) no processo de beneficiamento do café, para cada tonelada de café torrado e moído, produz-se uma tonelada de cascas e palha.

A caracterização das fibras da casca do café é de grande importância, porém apenas alguns aspectos da mesma já foram avaliados, como a composição química que é de 24,5% de celulose, 29,7% de hemicelulose, 23,7% de lignina e 6,2% de cinzas, sendo necessárias mais caracterizações para melhor entendimento de sua utilização (BEKALO; REINHARDT, 2010).

Pela grande produção de grãos no país, surge a necessidade de pesquisas que focam no aproveitamento da cadeia produtiva do café, desenvolvimento de

novos produtos a partir da matéria-prima e de outras partes de sua planta. Tais pesquisas são bastante escassas (RODRIGUES, 2011). Dultra (2013) desenvolveu um compósito de massa cerâmica para porcelanato com adição de cinzas de casca de café. O estudo foi realizado com cinzas *in natura* e cinzas tratadas com água destilada para retirada de massa carbonizada. A formulação do compósito foi composta de argila, caulim, quartzo, feldspato e cinzas, sendo que a porcentagem de substituição do compósito foi uma variação de 2 a 14% para as cinzas *in natura* e 5 a 20 % para cinzas tratadas para retirada de feldspato. Concluiu-se que a adição de cinzas de cascas de café *in natura* não é indicada para a produção deste compósito, pois influencia negativamente nas propriedades físico-mecânicas do material. As cinzas tratadas na proporção de 5 a 7% de substituição podem ser aplicadas nos compósitos sem alterações negativas em suas propriedades.

Estudos com partículas de casca de café *in natura* como reforço de fibrocimento são escassos na literatura.

2.9 Partículas de eucalipto

O Brasil manteve-se no quarto lugar no ranking dos países produtores de celulose de todos os tipos e como o primeiro produtor mundial de celulose de eucalipto (INDÚSTRIA BRAISLEIRA DE ÁRVORES, 2015). De acordo com o Ministério da Agricultura (2014), o eucalipto ocupa cerca de 4 milhões de hectares no Brasil. A produtividade média dos plantios de eucalipto nacional, atingiu em 2014, 39m³ há/ano (IBÁ, 2015).

Dentre inúmeras espécies arbóreas existentes, o eucalipto é um material muito utilizado como matéria-prima devido às suas características como rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação. O eucalipto é utilizado em diversos segmentos da economia (IBGE, 2010) como madeira serrada, compensados, painéis de madeira

reconstituída, carvão vegetal, celulose e papel (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO, 2004; VALENÇA; ATTOS, 2001).

Por ter aplicação para diferentes finalidades tem sido extensivamente utilizada em plantios florestais (MORA; GARCIA, 2000). Existem plantios com uso de eucaliptos melhor adaptados a condições de clima e temperatura, que atingem rendimentos entre 30 e 60 m³/ha/ano dependendo muito do solo (MOTTA; SILVA; DINIZ, 2010).

O aproveitamento de resíduos da industrialização da madeira de eucalipto pode contribuir para a racionalização dos recursos florestais, bem como para gerar uma nova alternativa econômica para as empresas, aumentando a geração de emprego e renda, beneficiando desde indústrias de processamento primário até fábricas de móveis (AGUIAR; CAMÕES; FANGUEIRO, 2014).

A utilização dos resíduos de eucalipto gerados pela indústria é incentivada, pois as fibras curtas do eucalipto apresentam características favoráveis como reforço de componentes construtivos de pequena espessura. O pequeno comprimento das fibras é uma vantagem para a dispersão e distribuição dos elementos de reforço na matriz cimentícia (PIZZOL, 2013). Estas fibras presentes nas partículas do eucalipto apresentam características anatômicas de comprimento de 0,92 mm e diâmetro da fibra de 19,97 µm (ROCHA; FLORSHEIM; COUTO, 2004) e a composição química deste material apresenta 27, 2% lignina, 51,70% de celulose, 20,50% de hemicelulose (MORI et al., 2003).

A maioria das pesquisas que utilizam o resíduo da indústria de beneficiamento do eucalipto usa como reforço a polpa celulósica, porém alguns autores já iniciaram pesquisas que focam na inserção de fibras ou partículas *in natura* ou tratadas com variadas técnicas. Silva (2015) produziu um compósito de cimento por extrusão com adição de fibras de eucalipto tratadas termicamente nas temperaturas de 140°, 170°, 200° e 230 °C. A formulação de produção dos

compósitos recebeu como reforço as fibras de eucalipto na quantidade de 0, 1, 2, 3, 4 e 5%. Todos os compósitos atingiram resultados satisfatórios, os compósitos com adição de fibras tratadas termicamente foram classificados de acordo com a NBR 15.498 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) como classe 2 (MOR entre 2 e 7 MPa). O autor indica a aplicação de 5% de fibras, sob tratamento térmico de 230° C por uma hora, para produção de fibrocimento.

2.10 Propriedades dos compósitos com partículas e comportamento do reforço

As propriedades físico-mecânicas devem ser avaliadas em todos os tipos de compósitos. Quando se analisa tais propriedades, tem-se o comportamento do material, permitindo melhor trabalhabilidade e aplicação do mesmo, e seu direcionamento para funções adequadas em um projeto (TEIXEIRA, 2010).

Para as propriedades mecânicas, a norma nacional que regulamenta os parâmetros para produção de fibrocimentos sem adição de amianto é a NBR 15498 (ABNT, 2007), a qual determina valores de MOR à flexão, para compósitos ensaiados em estado saturado, de no mínimo 4 MPa para categoria 2, de no mínimo 7 MPa para a categoria 3 e acima de 13 MPa para a categoria 4.

Quanto às propriedades físicas, analisa-se seu comportamento de acordo com a Absorção de água (AA). A norma NBR 12800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993) estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo de 37 %.

Estudos apontam que os compósitos cimentícios reforçados com reforços naturais melhoram o isolamento térmico (KHEDARI, WATSANASATHAPORN; HIRUNLABH, 2005), diminuem a densidade, apresentam bons valores de resistência à tração e ao impacto, além de obter um

maior controle da fissuração e comportamento dúctil na ruptura (IKAI et al., 2010; TEIXEIRA, 2010; TONOLI., 2009b, 2013a).

Apesar de as pesquisas apontarem o potencial uso de material lignocelulósico como reforço em compósitos cimentícios, existem algumas ressalvas quanto à baixa durabilidade dos compósitos e os mecanismos de degradação do reforço na matriz. Muitas tentativas de produção de argamassas ou pastas de cimento Portland comum reforçadas com material lignocelulósico não obtiveram êxito devido aos compósitos apresentarem vida útil entre 2 a 4 anos (AGOPYAN, 1991).

As propriedades físico-mecânicas dos compósitos a base de cimento sofrem influência direta do material lignocelulósico e da matriz cimentícia. A interação dos diferentes tipos de matéria-prima causa alteração nas propriedades físico-mecânicas, quando comparada ao material sem adição de reforço, devido às características anatômicas, químicas e físicas dos materiais de reforço (SILVA; JOHN, 2003).

As características anatômicas do reforço têm como principal relação de análise a medida do comprimento, pois a partir dela classifica-se o material em partículas curtas ou longas. De acordo com Azzini et al. (1988), um material de reforço com anatomia curta tem comprimento de até 1,0 mm, e longas apresentam em média 3,5 mm. Grandes dimensões do reforço geram possível dificuldade na separação das partículas quando adicionas ao processo de extrusão e conseqüentemente na dispersão deste reforço na matriz, fazendo com que haja possíveis aglomerações de reforço na massa do compósito com o aumento da quantidade adicionada de reforço, fator que diminui o desempenho do material (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000).

O desempenho do compósito também pode ser afetado quando a densidade do material de reforço apresenta características específicas. Como cita Nacif et al. (2013) a densidade do material de reforço influencia diretamente as

propriedades dos compósitos a base de cimento, pois uma baixa densidade pode vir a facilitar a dispersão e contribuir para a redução da densidade aparente dos compósitos, melhorando assim a aplicabilidade do mesmo.

A composição química é uma das propriedades com maior influência na interação entre reforço lignocelulósico e matriz cimentícia, é de grande importância a análise da composição química de matérias-primas de origem vegetal, pois a mesma é responsável pela ligação com a reforço/matriz e da degradação de materiais naturais como reforço em compósitos (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

Na composição química, um dos componentes que mais afeta as propriedades é a concentração de extrativos. As quantidades e tipos de extrativos presentes nos materiais lignocelulósicos podem interferir no tempo de pega e hidratação do cimento, prejudicando a resistência mecânica dos compósitos (CHAFEI et al., 2014; SELLAMI; MERZOUUD; AMZIANE, 2013), pois ao inibir a cura da matriz ao redor das partículas, promove aumento dos poros e perda de aderência das fases do compósito (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparação do material

Para a realização do trabalho foram utilizadas partículas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), pseudocaule de bananeira (*Musa sp.*), casca de café (*Coffea arabica*), casca de coco (*Cocos nucifera*) e palha de arroz (*Oryza sativa*) como componente de reforço dos fibrocimentos.

A madeira de eucalipto com 28 anos de idade e o pseudocaule de bananeira foram provenientes do campus da Universidade Federal de Lavras. A casca de café foi obtida em uma propriedade rural na cidade de Três Corações – MG. A casca de coco verde foi adquirida de uma floricultura na cidade de Lavras-MG, onde é usada para manter a umidade do solo. A palha de arroz foi fornecida por uma empresa de beneficiamento da cidade de Lavras – MG.

As toras de eucalipto foram cozidas em um tanque com água na temperatura de 60° C durante período de 24 horas, como parte do processo de laminação, para melhor trabalhabilidade da tora no torno. Após essa etapa foram laminadas em torno laminador, obtendo assim lâminas com espessura nominal de 2 mm. Em seguida, as lâminas foram rasgadas manualmente e posteriormente trituradas em moinho martelo, com uma peneira de abertura de 6,1 mm.

O pseudocaule de bananeira, a casca de café, a casca de coco e a palha de arroz foram processados no mesmo moinho martelo descrito para a geração de partículas de eucalipto

As partículas foram posteriormente separadas em peneiras de 35 e 40 mesh, utilizando a porção que ficou retida na peneira de 40 mesh para a caracterização anatômica e produção dos compósitos.

3.2 Caracterização da matéria-prima

As características anatômicas das partículas, como comprimento e diâmetro médio, foram determinadas por microscopia óptica. Para cada tipo de

material lignocelulósico foram realizadas 30 medições. A análise foi realizada no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras.

Para a determinação da densidade básica das partículas, foi utilizada a norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a) adaptada, em que as amostras foram colocadas em imersão em água até a saturação total das partículas. Em seguida, foi calculado o volume deslocado quando a amostra foi imersa em uma proveta graduada e com água e então levados para uma estufa de circulação forçada de ar na temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, até que atingissem massa constante, obtendo assim a massa seca.

Para a análise dos constituintes químicos dos diferentes tipos de matéria-prima vegetal foi utilizado o material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh, como normatizado. O material foi acondicionado na temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$ até a obtenção de massa constante. Foram determinados os teores de lignina (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010a), extrativos totais (NBR 14853, 2010), cinzas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b) e holocelulose obtida pela fórmula (BROWNING, 1963):

$$H (\%) = 100 - \% \text{ Lignina} - \% \text{ Extrativos totais} - \% \text{ Cinzas}$$

Em que:

H = Holocelulose

3.3 Produção dos compósitos

Os compósitos foram produzidos em escala laboratorial por procedimento de extrusão. A matriz cimentícia utilizada foi composta por cimento Portland CPV-ARI (NBR 5733) devido à sua elevada resistência inicial e “*filler*” carbonático (calcário agrícola moído).

A formulação empregada na produção dos compósitos foi baseada em estudos anteriores (MENDES, 2014; TEIXEIRA, 2010; TONOLI et al., 2010) A

formulação consistiu de: 0, 1, 2, 3, 4 e 5% de material lignocelulósico, 30% de calcário agrícola moído, 1% de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) e 1% de aditivo poliéter carboxílico (ADVA) e o restante do material, para completar 100% da formulação, foi composto de cimento Portland (CPV-ARI).

O ADVA foi utilizado para diminuir o atrito entre a massa obtida e a extrusora, melhorado assim a trabalhabilidade do material, enquanto o HPMC foi utilizado para garantir o comportamento pseudoplástico da mistura, viabilizando o processo de extrusão. Esses tipos de modificadores são citados na literatura como aqueles que têm apresentado maior eficiência na produção de fibrocimento por extrusão (SHEN, 2003).

As matérias-primas utilizadas nas formulações foram pesadas e separadas (FIGURA 4a). Todos os materiais foram misturados em uma bateadeira planetária (FIGURA 4b). Primeiramente o cimento, o calcário e o HPMC foram misturados em uma rotação de 140 rpm por um período de 5 minutos e, posteriormente, foram adicionados o material lignocelulósico, o ADVA e a água, que permaneceram em rotação de 285 rpm por mais 5 minutos a fim de promover a distribuição homogênea das partículas na mistura formada.

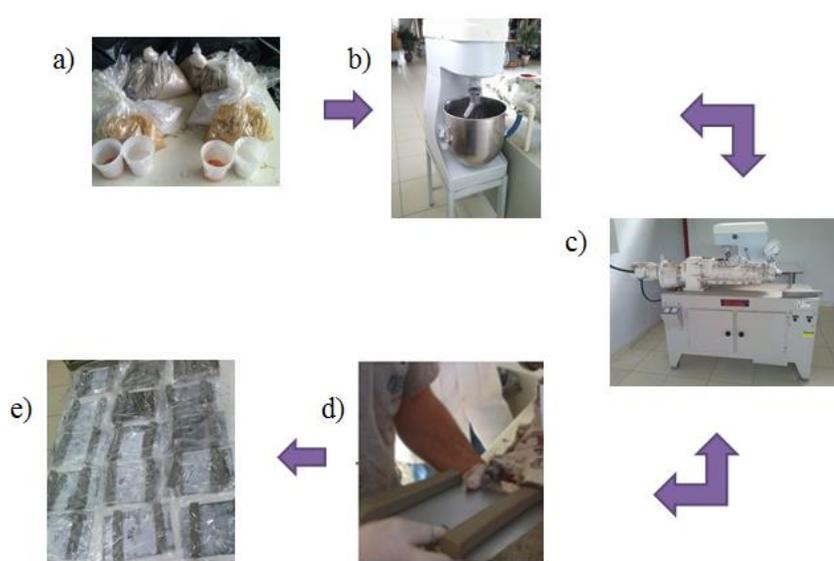
A pasta cimentícia formada foi processada em uma extrusora helicoidal da marca VERDÉS mod. 051, com controlador da velocidade de rosca e com vácuo (FIGURA 4c). Foram preparados, para cada tratamento, corpos-de-prova com dimensões aproximadas de 210 mm x 30 mm x 20 mm (comprimento, largura e espessura), os quais posteriormente foram cortados para os ensaios.

Os corpos-de-prova produzidos (FIGURA 4d) foram armazenados em sacos plásticos e selados para cura inicial por dois dias (FIGURA 4e). Em seguida foram mantidos em ambiente saturado de água por período de 26 dias.

Após a cura, os compósitos foram cortados nas dimensões aproximadas de 180 x 30 x 20 mm. Esses corpos-de-prova foram utilizados para a

caracterização das propriedades físicas e mecânicas. Para cada ensaio físico e mecânico foram avaliadas 7 amostras de cada tratamento.

Figura 4 - Processo de produção dos compósitos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Fonte: Dados da autora (2016)

3.4 Ensaios físicos

Os ensaios físicos foram realizados de acordo com as prescrições da norma ASTM C 948 – 81 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1981), sendo analisada a porosidade aparente (PA), densidade aparente (DA) e a absorção de água (AA).

Para o cálculo das propriedades físicas foram determinadas a massa imersa em água; a massa úmida, a partir da saturação do material após imersão em água por período de 24h e a massa seca, obtida após secagem dos corpos de prova em estufa, com circulação forçada de ar, na temperatura de 70°C e por período de 24 horas.

As propriedades foram analisadas com a utilização das seguintes fórmulas:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{Mu - Ms}{Ms} * 100$$

$$\text{Porosidade aparente (\%)} = \frac{Mu - Ms}{Mu - Mi} * 100$$

$$\text{Densidade aparente (\%)} = \frac{Ms}{Mu - Mi} * \rho_w$$

Em que:

Mu: Massa úmida.

Ms: Massa seca.

Mi: Massa imersa.

ρ_w : Densidade do líquido no qual as amostras foram imersas.

3.5 Ensaios mecânicos

Para caracterização mecânica do fibrocimento foi utilizado o ensaio de flexão estática, o qual foi realizado na Unidade Experimental de Painéis de Madeira da Universidade Federal de Lavras, em uma máquina universal de ensaios da marca AROTEC com vão de 15 cm, célula de carga de 20 kN e velocidade de 2 mm.min⁻¹.

Os resultados do ensaio de flexão permitiram a análise do módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade. A seguir são destacadas as fórmulas utilizadas para determinar as propriedades mecânicas dos compósitos.

$$\text{Módulo de elasticidade (MPa)} = \frac{v\tilde{a}o^3 * (C2 - C1)}{4 * (D2 - D1) * b * d^3}$$

$$\text{Módulo de ruptura (MPa)} = \frac{3 * C_{m\acute{a}x} * v\tilde{a}o}{2 * b * d^2}$$

$$\text{Limite de proporcionalidade (MPa)} = \frac{3 \cdot C_{lop} \cdot v_{\text{vão}}}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

$$\text{Tenacidade } \left(\frac{kJ}{m^2} \right) = \frac{\text{Energia absorvida}}{a}$$

Em que:

C1 = Carga obtida dentro do regime elástico e menor que a C2, em Newton.

C2 = Carga obtida dentro do regime elástico e maior que a C1, em Newton.

D2 = Deformação obtida dentro do regime elástico e maior que a D1, em milímetros.

D1 = Deformação obtida dentro do regime elástico e menor que a D2, em milímetros.

b = Largura do corpo de prova em milímetros.

d = Espessura do corpo de prova em milímetros.

C_{máx} = Carga máxima aplicada em Newton.

C_{lop} = Carga máxima aplicada antes da curva carga – deformação, em Newton.

Energia absorvida = Energia na área sob a curva do gráfico, carga x deformação em Newton x milímetro.

a = área da seção transversal do corpo-de-prova em milímetro ao quadrado.

3.6 Análise dos resultados

A análise dos resultados foi feita por um delineamento inteiramente casualizado. Para analisar os resultados da caracterização da matéria-prima foi utilizada a análise de variância e teste de média Scott-Knott, ambos a 5 % de significância. Para a análise do efeito da porcentagem de reforço dentro de cada tipo de material lignocelulósico sobre as propriedades físicas e mecânicas dos

compósitos a base de cimento foi utilizada análise de variância e de regressão, ambas a 1% de significância. Para comparação do efeito do tipo de matéria-prima, após determinada a melhor porcentagem de reforço para cada tipo de material de reforço, sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos a base de cimento, foi utilizada a análise de variância e teste de média Scott-Knott, ambos a 5 % de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da matéria-prima

Na Tabela 1 estão descritos os valores médios, com seus respectivos desvios padrão, para as propriedades anatômicas das partículas lignocelulósicas utilizadas como reforço no fibrocimento.

Tabela 1 - Caracterização anatômica das partículas dos resíduos.

Material lignocelulósico	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)
Palha de Arroz	0,640 ± 0,015 C	2,874 ± 0,008 A
Pseudocaule Banana	0,042 ± 0,002 E	2,535 ± 0,031 B
Casca de Café	1,146 ± 0,019 A	2,881 ± 0,028 A
Casca de Coco	0,664 ± 0,005 B	1,258 ± 0,028 C
Eucalipto	0,365 ± 0,004 D	1,749 ± 0,015 C

Fonte: Dados da autora (2016)

Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Na análise do diâmetro das partículas observou-se que houve diferença estatística entre todos os materiais lignocelulósicos avaliados, sendo o maior valor obtido pela casca de café e o menor obtido pelo pseudocaule de bananeira. Quanto ao comprimento, houve igualdade estatística entre a palha de arroz e a casca de café e entre a casca de coco e a madeira de eucalipto. Os maiores valores de comprimento das partículas foram obtidos pela casca de café e de arroz, enquanto que os menores valores foram obtidos pela casca de coco e eucalipto.

De acordo com Azzini et al. (1988), um material de reforço é classificado como curto quando apresenta 1,0 mm de comprimento e classificado como material de reforço longo quando apresenta comprimento de aproximadamente 3,5 mm. Quando comparados à literatura os resultados desta pesquisa têm partículas em posição intermediária de comprimento, uma boa

condição pois pode aliar a boa dispersão do reforço na matriz e a interação entre as fases do compósito.

Referências na literatura apresentam valores de comprimento de 2,09 mm para o pseudocaule de bananeira (SAVASTANO; WARDEN; COUTTS, 2000), para a palha de arroz de 1,80 mm (XIE et al., 2015) e partículas de eucalipto de 3,5 mm (AZZINI et al., 1988). Os resultados desta pesquisa apresentam valores distintos aos de literatura, superiores na palha de arroz e pseudocaule de bananeira e inferiores para a madeira de eucalipto. Fator possivelmente influenciado pelo processamento da matéria-prima, pois os materiais foram triturados e peneirados para seleção de uma anatomia padronizada e intermediária, que apresentasse boa interação com o cimento.

Estudos com partículas de cascas de café e coco em compósitos a base de cimento nas condições descritas nesta pesquisa são escassos. Porém, em comparação com outros materiais de reforços utilizados em compósitos, temos valores de comprimento próximos aos de demais autores. Como *Bambusa vulgaris*, que apresenta, em média, comprimento de 2,29 mm (GUIMARÃES JÚNIOR; NOVACK; BOTARO, 2010); do bagaço de cana, que apresenta comprimento variando de 4,90 – 1,30 mm (BARRICHELO et al., 1977) e da malva de 1,12 mm (CRONIS, 1985); polpa *kraft* de sisal 1,65 mm (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000). Demonstrando portanto que os resultados das características anatômicas dos materiais de reforço se encontram dentro dos valores já utilizados na literatura para produção de compósitos a base de cimento.

A variação dos valores de densidade aparente das partículas lignocelulósicas e seus respectivos desvios padrão estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Densidade aparente dos diferentes tipos de resíduos.

Material Lignocelulósico	Densidade aparente (g.cm⁻³)
Palha de Arroz	0,216 ± 0,098 A
Pseudocaule Banana	0,086 ± 0,006 D
Casca de Café	0,163 ± 0,012 B
Casca de Coco	0,122 ± 0,024 C
Eucalipto	0,234 ± 0,008 A

Fonte: Dados da autora (2016)

Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Houve diferenciação estatística entre os valores de densidade aparente dos diferentes tipos de resíduos lignocelulósicos. As partículas de palha de arroz e madeira de eucalipto obtiveram igualdade estatística e diferenciaram-se dos demais materiais, obtendo os maiores valores médios de densidade. Não houve igualdade estatística entre os demais materiais, sendo o menor valor obtido para o pseudocaule de bananeira.

Na literatura, foram encontrados os valores médios de densidade aparente de 0,133 g.cm⁻³ para a casca de café (SILVA, 2012), de 0,46 g.cm⁻³ para a madeira maciça de eucalipto (SILVA et al., 2004); de 0,970 g.cm⁻³ para a casca de coco (FERRAZ, 2011); entre 1,03 a 1,31 g.cm⁻³ para o pseudocaule de bananeira (AGOPYAN; SAVASTANO JÚNIOR, 1997; GUIMARÃES et al., 2014; NOLASCO; SOFFNER; NOLASCO, 1998; TOLÊDO FILHO et al., 2000) e de 0,580 g.cm⁻³ para a palha de arroz (RHEE et al., 2015). Quando comparamos os resultados relatados em literatura aos da presente pesquisa, apenas a casca de café tem uma densidade aproximada. Os demais materiais apresentam densidade inferior ao da literatura, possivelmente pelas condições de cultivo do material de reforço e pela caracterização prévia do material para análise de densidade.

A densidade do material de reforço influencia diretamente as propriedades dos compósitos a base de cimento, pois uma baixa densidade pode vir a facilitar a dispersão e contribuir para a redução da densidade aparente dos compósitos (NACIF et. al., 2013), Pelos baixos valores relativos da densidade dos materiais lignocelulósicos, a densidade do compósito pode apresentar queda, resultando em um material mais leve e melhorando assim a aplicabilidade do mesmo para estruturas com menor peso.

A variação dos componentes químicos presentes nos materiais lignocelulósicos de reforço e seus respectivos desvios padrão estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química dos diferentes tipos de resíduos.

Materiais lignocelulósicos	Extrativos (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)	Holocelulose (%)
Palha de Arroz	3,98 ± 0,44 D	34,05 ± 2,56 B	9,34 ± 0,15 B	52,62 ± 2,82 B
Pseudocaule Banana	18,6 ± 0,31 A	15,7 ± 2,24 D	13,8 ± 0,11 A	51,9 ± 3,68 B
Casca de Café	11,47 ± 0,82 B	50,70 ± 0,39 A	5,89 ± 0,28 D	31,93 ± 0,53 D
Casca de Coco	2,94 ± 0,25 E	49,13 ± 4,16 A	8,39 ± 0,18 C	39,53 ± 4,03 C
Eucalipto	9,36 ± 1,27 C	22,74 ± 1,87 C	0,52 ± 0,09 E	67,68 ± 1,76 A

Fonte: Dados da autora (2016).

Valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância.

Houve diferenciação estatística entre todos os tipos de materiais lignocelulósicos quando avaliada a quantidade de extrativos e cinzas. O pseudocaule de bananeira apresentou os maiores valores médios de extrativos e cinzas. A casca de coco apresentou o menor valor médio de extrativos e o eucalipto apresentou o menor valor médio de cinzas.

Na concentração de extrativos, a literatura apresenta valores semelhantes aos obtidos nesta pesquisa, 18,6% para o pseudocaule de bananeira

(GUIMARÃES et al., 2014), 10,42% para madeira de eucalipto (SILVA, 2015) e 3,1 % para a casca de palha de arroz (MOURA, 2014). A casca de coco e de café apresentam valores distintos aos descritos em literatura, como Moura (2014) que obteve valores de 8,6% para casca de coco e Marozzi (2012) que obteve 42,8 % de extrativos para a casca de café. Tais valores distintos podem ser relacionados às condições de cultivo da matéria-prima e às espécies das culturas analisadas. As quantidades de extrativos presentes nos materiais lignocelulósicos podem interferir no tempo de pega e hidratação do cimento, prejudicando a resistência mecânica dos compósitos (CHAFEI et al., 2014; SELLAMI; MERZOUD; AMZIANE, 2013). Esse tipo de discussão será realizada no decorrer dos resultados das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos.

A análise das concentrações de cinzas presentes nos materiais foi distinta quando comparada com a literatura. No entanto, não há relatos de grande interferência nos compósitos a base de cimento em relação à concentração de cinzas do material de reforço. Na literatura, o valor para o pseudocaule de banana é de 13,79% (GUIMARÃES, 2012), para a palha de arroz de 17% e para casca de coco de 1,3 % (BUENO, 2015), a madeira de eucalipto apresenta 0,47% de cinzas em sua composição (SILVA, 2015) e a casca de café 21,60% (MAROZZI, 2012). Os valores mais próximos aos de literatura foram para o pseudocaule de bananeira e madeira de eucalipto.

Para a quantidade de lignina também foi observada diferença estatística entre os tratamentos. A casca de coco e a casca de café obtiveram igualdade estatística e diferenciaram dos demais tipos de materiais lignocelulósicos, obtendo os maiores valores médios. O menor valor médio de lignina foi obtido pelo pseudocaule de bananeira.

Conceitos sobre a interação da lignina com o cimento são amplamente discutidos e tem diferentes conclusões. Algumas pesquisas revelam que a lignina

pode ser degradada e assim enfraquecer as ligações entre fibra ou partícula/matriz e diminuir a vida útil dos compósitos (AGOPYAN et. al., 2005; BENTUR; AKERS, 1989). Outros autores defendem que a lignina aumenta a estabilidade dimensional e diminui o caráter higroscópico do material lignocelulósico, melhorando assim seu desempenho na matriz (MORH; BIERNACKI; KURTIS, 2006; NANKO; ASANO; OHSAWA, 1991).

Os resultados de lignina obtidos nesse estudo para a casca de café e casca de coco se mostraram elevados, obtendo valores superiores aos descritos em literatura, sendo de 24,35 % para a casca de café (SILVA, 2015) e 41% para a casca de coco (MOURA, 2014), fator que pode interferir na resistência do produto final e causar os danos descritos anteriormente. Para os demais materiais lignocelulósicos, os valores foram próximos aos desta pesquisa. Para o pseudocaulo de bananeira a concentração obtida por Guimarães (2014) foi de 15,70%, 29% para palha de arroz (MOURA, 2014) e 20,52% para a madeira de eucalipto (SILVA, 2015).

Na concentração de holocelulose, que é a junção das quantidades de hemicelulose e celulose do material vegetal, também foi observada diferença estatística entre os diferentes tipos de materiais de reforço. O maior valor foi obtido para a madeira de eucalipto e a menor concentração foi obtida para a casca de café.

A holocelulose tem grande influência nas propriedades do compósito, devido à concentração de hemicelulose que segundo Gram (1983) é dissolvida pela alcalinidade da água de hidratação do cimento, que apresenta alcalinidade elevada, o que pode causar danos à resistência do compósito, pois a hemicelulose é um dos elementos responsáveis pela aderência entre fibrilas do material vegetal e assim por seu arranjo anatômico dentro da matriz cimentícia. Por sua vez, a celulose presente nesta análise também influencia no desempenho do compósito, pois a mesma apresenta cristalinidade e conseqüentemente é a

responsável pela resistência à tração do mesmo, esforço imposto pelo compósito ao reforço quando exposto à fratura (GOODRICH et al., 2010; SILVA, 2015).

Para as concentrações de holocelulose, temos valores semelhantes aos obtidos em literatura para alguns materiais de reforço e distintos para outros. Os valores semelhantes foram para a madeira de eucalipto com 69,59% (SILVA, 2015), pseudocaule de bananeira com 51,9 (GUIMARÃES, 2014) e casca de café com 43,46 % (BARCELOS et al., 2013). As concentrações distintas à desta pesquisa foram para a palha de arroz e casca de coco, onde foram verificados valores médios de 16,2 e 19,7%, respectivamente (MOURA, 2014).

A análise da composição química de matérias-primas de origem vegetal tem influência diretamente na qualidade dos compósitos a base de cimento, sendo responsáveis pela ligação com a matriz de cimento e com a degradação de materiais naturais como reforço em compósitos (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

4.2 Propriedades do fibrocimento com diferentes porcentagens de partículas

Os compósitos produzidos com diferentes porcentagens de substituição de cimento por partículas de materiais lignocelulósicos, tiveram diferentes comportamentos de acordo com as características das matérias primas de reforço e sua anatomia, densidade e composição química.

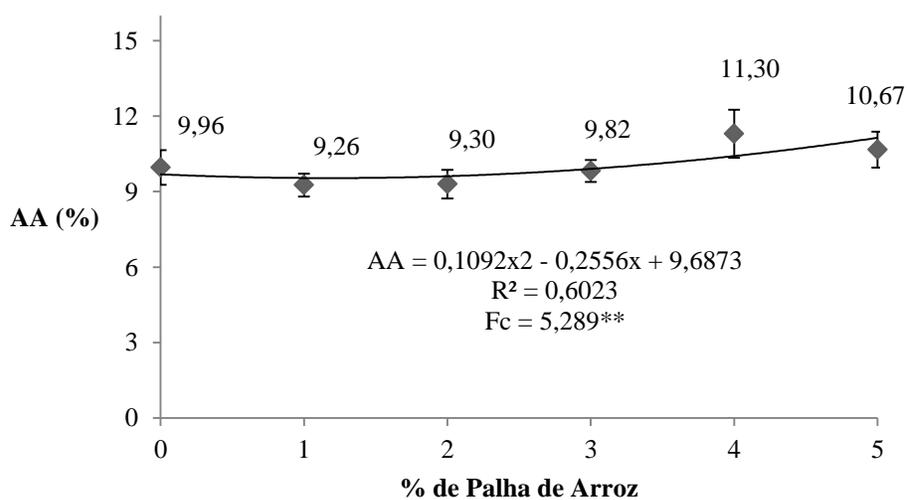
4.2.1 Fibrocimento com palha de arroz

Os fibrocimentos produzidos com partículas de palha de arroz, apresentaram boa interação entre reforço e matriz. A maior quantidade de reforço adicionado à formulação interferiu no desempenho do material.

4.2.1.1 Propriedades físicas

Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

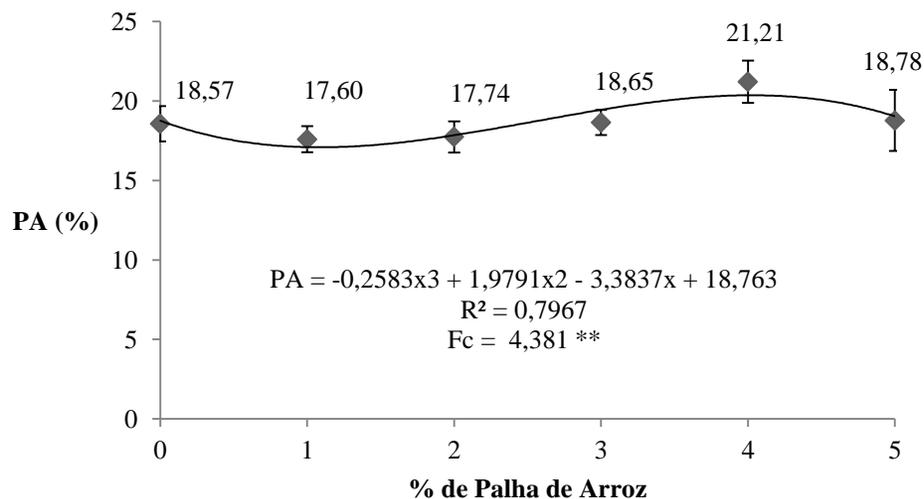
Figura 5 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016).

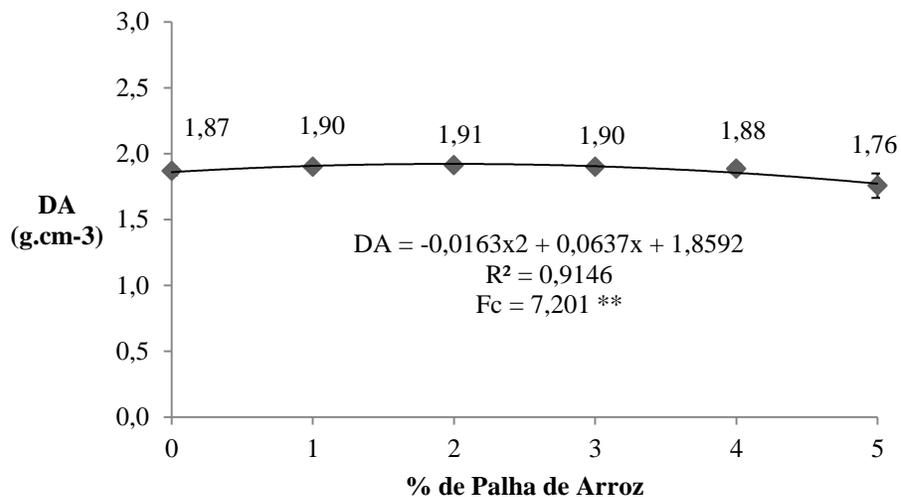
Figura 6 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016).

Figura 7 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

As análises de regressão para as propriedades físicas absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) apresentaram resultados significativos. Em relação à AA e PA os resultados apresentaram tendências semelhantes, sendo observados valores estáveis até a utilização de 3% de partículas de palha de arroz, seguido do aumento dos valores médios com a adição de 4 e 5% de partículas de palha de arroz.

O aumento da absorção de água no compósito de acordo com a porcentagem de reforço tem como motivo a higroscopicidade do material vegetal e a geração de espaços vazios na matriz de cimento, o que se deve ao entrelaçamento e distribuição das partículas com o processo de extrusão. Rezende (2003) e Rezende, Saglietti e Guerrini (1995) afirmam que os materiais vegetais apresentam comportamento de variações dimensionais o que pode influenciar diretamente em sua utilização industrial, haja visto a perda ou diminuição da interface do reforço com a matriz. Tais variações se dão pela absorção de água, o que está relacionado com a sua composição química, especificamente aos grupos hidroxilas, associados às macromoléculas da parede celular (KALAPRASAD et al., 2004; PAUL et al., 2010).

Os valores de AA de todos os tratamentos se apresentam dentro dos padrões descritos pela norma NBR 12800 (ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo para AA de água de 37%.

A densidade aparente do compósito se manteve relativamente estável até 3% de reforço, sendo observada com as porcentagens de 4 a 5% de adição de palha de arroz a queda do valor médio. Esse fato está associado com o aumento da porosidade do compósito, conforme descrito na Figura 5 e com a baixa densidade do material de reforço (TABELA 2) em relação à matriz de cimento.

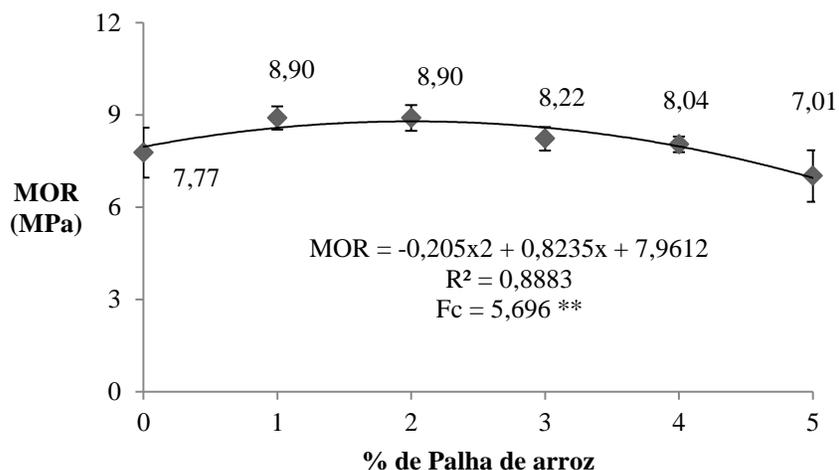
Silva (2015) ao avaliar o efeito da porcentagem de fibra de eucalipto sobre as propriedades de fibrocimento obtido por extrusão, também verificou diminuição significativa dos valores de densidade. O autor justificou a redução

em função da menor densidade do material de reforço e no atraso da pega e hidratação do cimento, devido à incompatibilidade da matriz com o material vegetal, principalmente pelo aumento proporcional de extrativos e hemiceluloses adicionados com o aumento da porcentagem de fibra avaliada. O maior efeito foi obtido nas porcentagens de 4 e 5%, o que resultou no aumento de porosidade e absorção de água dos compósitos, assim como o observado nesse estudo.

4.2.1.2 Propriedades mecânicas

Os resultados médios das propriedades de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade (EE) à flexão estática estão apresentados nas Figuras 8, 9, 10 e 11, respectivamente.

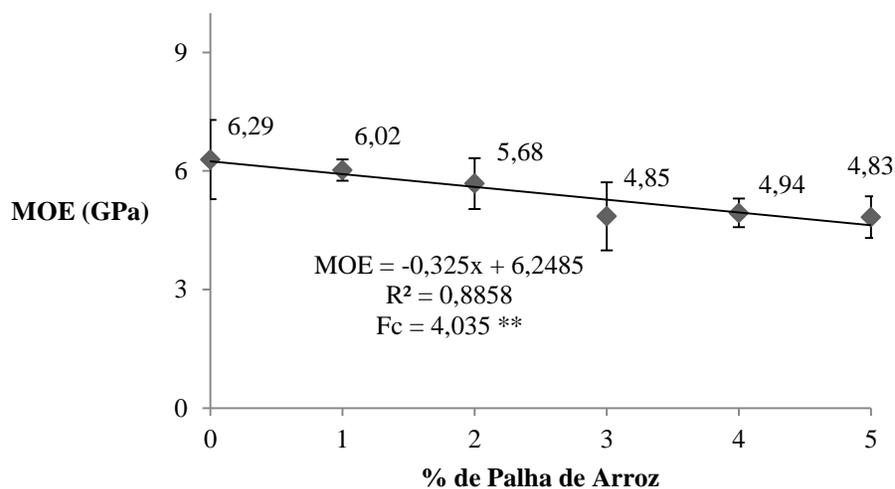
Figura 8 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

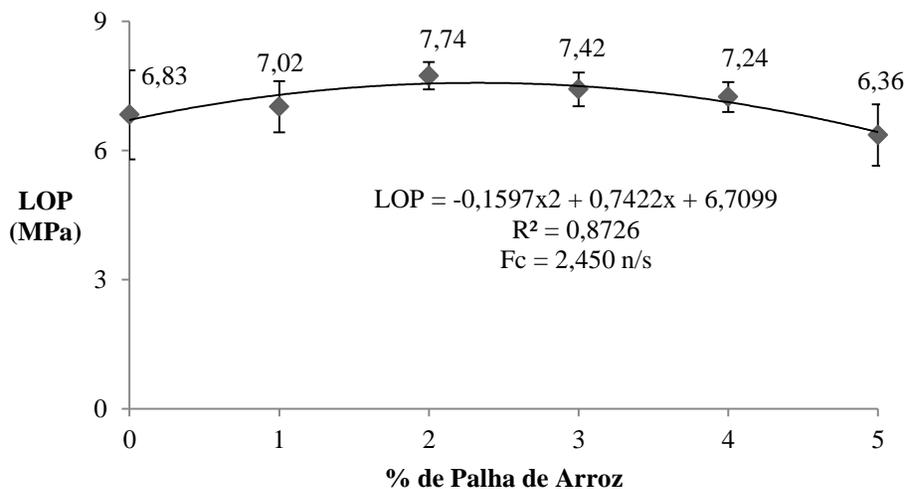
Figura 9 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

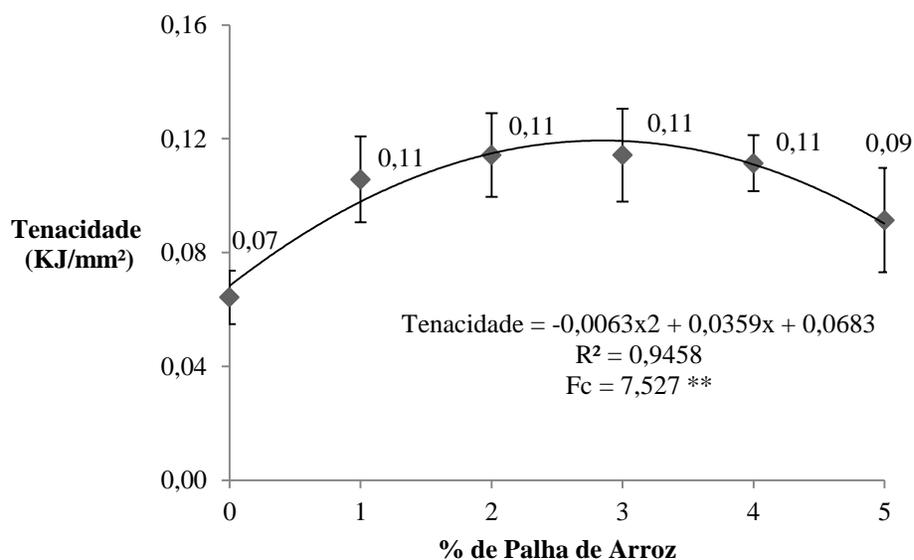
Figura 10 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



n/s: Análise de regressão significativa não significativa.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 11 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de palha de arroz.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

A análise de regressão para as propriedades mecânicas de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tenacidade tiveram tendências significativas. Para o limite de proporcionalidade (LOP) a análise de regressão não foi significativa.

O MOR e o LOP apresentaram a mesma tendência, onde se verificou o aumento dos valores até a adição de 2% de partículas de palha de arroz, seguido da queda dos valores. Apenas a adição de 5% de partícula de palha de arroz se mostrou prejudicial ao compósito, resultando em valores médios inferiores ao obtido para os compósitos sem adição de partículas.

Essa relação pode estar associada à redução da densidade dos compósitos, uma vez que apenas os compósitos produzidos com 5% de partículas obtiveram redução destacada da densidade em relação aos compósitos

sem partículas. Fato que pode ter ocorrido em função do entrelaçamento das partículas durante o processo de extrusão, o que acarreta em aumento dos poros e diminuição do recobrimento dessas partículas pelo cimento, promovendo redução da interface partícula/matriz.

Ardanuy, Claramunt e Toledo Filho (2015) ao avaliarem compósitos de cimento reforçados por polpas kraft observaram que porcentagens menores que 2% não proporcionam a melhoria da resistência quanto ao MOR, uma vez que iniciada a fissura a força do rompimento da matriz é suficiente para quebrar as fibras e não promover a sua interceptação. Por outro lado, valores superiores a 4% promoveram a redução do MOR, o que os autores justificaram em função da perda de ligação fibra-matriz devido à interferência da proximidade das fibras e o mecanismo de fratura por arrancamento.

Os valores de MOE tiveram relação direta e negativa com o aumento da adição de palha de arroz. Esse comportamento é justificado pelo aumento da porosidade do compósito devido à adição do material de reforço e pelo fato de as próprias partículas apresentarem módulo de elasticidade inferior ao da matriz sem reforço (ZHU et al., 1994), uma vez que o módulo de elasticidade está diretamente relacionado ao teor e à elasticidade das partículas adicionadas.

Silva (2015) ao avaliar o efeito da adição de diferentes porcentagens de fibras de eucalipto e Claramunt et al. (2011) ao avaliarem compósitos de cimento reforçados por polpas kraft, também observaram redução linear do MOE dos fibrocimentos à medida que aumentou a porcentagem de fibra utilizada.

Para a tenacidade, com a adição do reforço, a mesma se manteve superior à formulação sem adição de partículas de palha de arroz, mostrando a efetividade do reforço em absorver energia durante a aplicação de cargas sobre o compósito. A adição de 5% de palha de arroz promoveu reduções dos valores de tenacidade quando comparados aos compósitos produzidos com a adição de 1 a

4%. Fato que pode estar associado à interferência da proximidade das partículas e no momento da fratura ocorre mais arrancamento de fibras do que o seu deslizamento da matriz.

Estudos com adição de palha de arroz *in natura* são escassos na literatura. Em sua maioria, os estudos são direcionados para as cinzas das palhas como material pozolânico. Xie et al. (2015) desenvolveram compósito cimentício com adição de cinzas de bambu e cinzas de palha de arroz em variações de 0 a 16% de substituição ao cimento na matriz cimentícia. Os autores obtiveram valores para os compósitos com cinzas de palha de arroz entre 11 e 9 MPa para o MOR e entre 0,01 a 0,21 kJ/mm² para a tenacidade. Os valores obtidos são superiores aos desta pesquisa, porém a forma de aplicação é diferenciada e, portanto, a interação com o cimento promove mudanças sobre as propriedades dos compósitos.

De acordo com a norma para fibrocimento sem amianto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), todas as formulações avaliadas nesse estudo se enquadraram na Categoria 3. De forma geral, entre as formulações analisadas o melhor desempenho foi obtido com a adição de 2 % de partículas de palha de arroz, obtendo compósitos com menor absorção de água e maiores valores de MOR e LOP, além de atender aos requisitos da norma de comercialização.

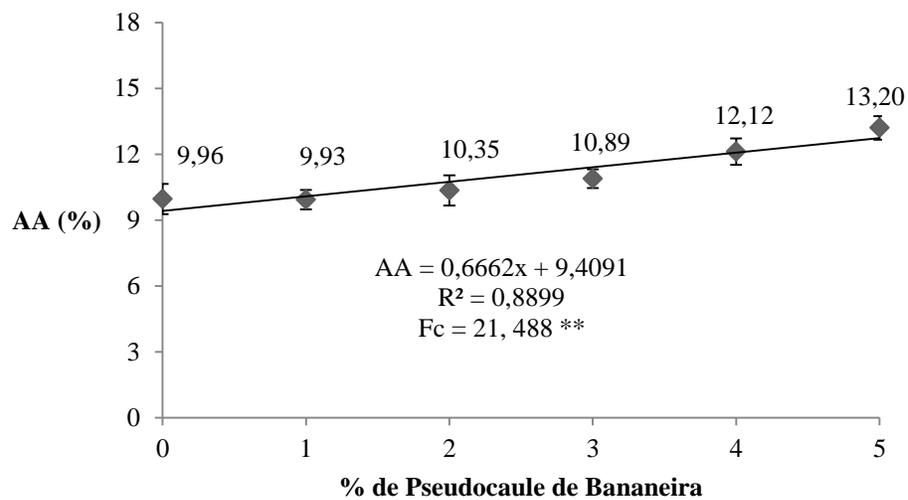
4.2.2 Fibrocimento com pseudocaule de bananeira

Os fibrocimentos produzidos com partículas de pseudocaule de bananeira apresentaram boa interação quando pequenas porcentagens de substituição foram incorporadas a formulação. As características do material de reforço interferiram na resistência do compósito.

4.2.2.1 Propriedades físicas

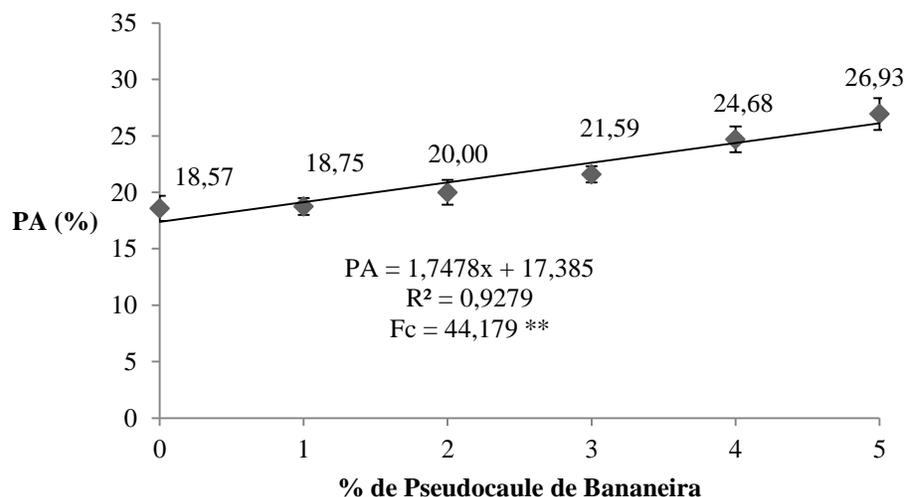
Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) estão apresentados nas Figuras 12, 13 e 14, respectivamente.

Figura 12 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
Fonte: Dados da autora (2016)

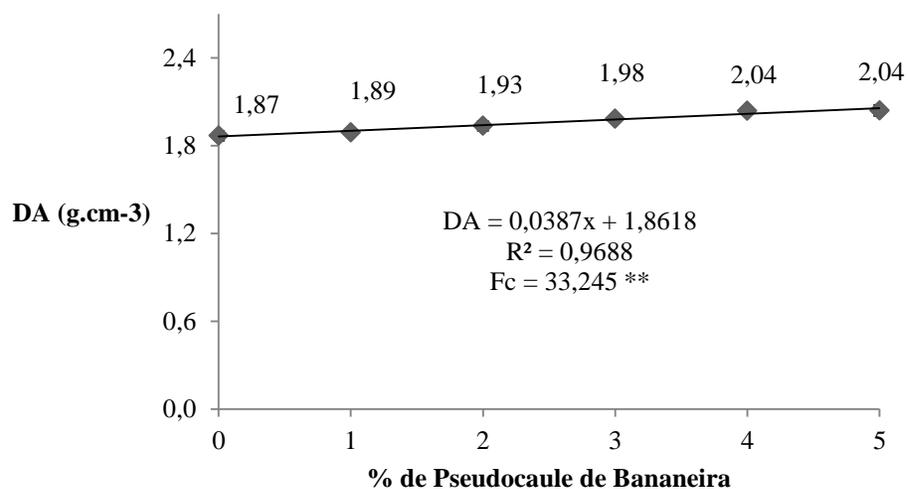
Figura 13 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 14 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Houve relação significativa entre a porcentagem de pseudocaule de bananeira e as propriedades de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) dos compósitos de fibrocimento avaliados. Os resultados mostraram tendência de aumento linear da AA, PA e DA com o aumento da adição de pseudocaule de bananeira.

A tendência de aumento nos valores de AA e PA é relatada por diversos autores na literatura em estudos com material lignocelulósicos como reforço em compósitos de matriz cimentícia, como por exemplo no uso em fibrocimento reforçado com fibras de pinus (COUTTS; MICHELL, 1983), como fibras de bananeira tratadas quimicamente e *in natura* (ZHU et al., 1994), com casca de coco tratadas e não tratadas quimicamente (ABDULLAH et al., 2011) e com partículas de madeira de reuso (ASHORI; TABARSA; AMOSI, 2012).

Esse aumento pode ser justificado pelo comportamento natural do material lignocelulósico utilizado como reforço, o qual apresenta grande incidência de poros permeáveis oriundos das lacunas e lumens encontrados nas partículas (SAVASTANO JÚNIOR, 1987), o que está aliado à baixa densidade do material de reforço (TABELA 2) e conseqüentemente a sua maior porosidade que é transmitida às propriedades dos compósitos (ASASUTJARIT et al., 2007). Aliado a esse fato, o alto valor de extrativos do pseudocaule de bananeira (TABELA 3) promove a inibição da cura do cimento ao redor das partículas, promovendo aumento dos poros na matriz de cimento (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). Contudo, houve aumento da DA à medida que se aumentou a porcentagem de reforço com as partículas lignocelulósicas. De acordo com Ashori, Tabarsa e Amosi (2012) esse fato ocorre provavelmente pelas mudanças na estrutura das partículas, tornando-as mais duras pela criação de ligações cimento-cimento e cimento-reforço, ou seja, devido à parede porosa, o cimento pode ter penetrado e aumentado a densidade do material após a cura.

Zhu et al. (1994) avaliaram o desempenho de fibrocimentos produzidos com porcentagens de 0 a 16% de fibras branqueadas de pseudocaule de bananeira, as quais foram obtidas por diferentes tipos de processos químicos de polpação. Os autores, assim como nesse estudo, observaram aumento dos valores de AA com o aumento da porcentagem de fibras utilizadas como reforço, sendo observados valores entre 14,5 a 27,7%. Savastano, Warden e Coutts (2000) ao avaliarem o reforço de fibrocimento com polpa kraft de pseudocaule de bananeira nas porcentagens de 4, 8 e 12% e seu tratamento com cal, obtiveram aumento dos valores de AA e PA à medida que se aumentou a quantidade de reforço utilizada, sendo que os valores médios obtidos variaram entre 16,5 % a 21,4% para AA e entre 28,02% a 32% para a PA.

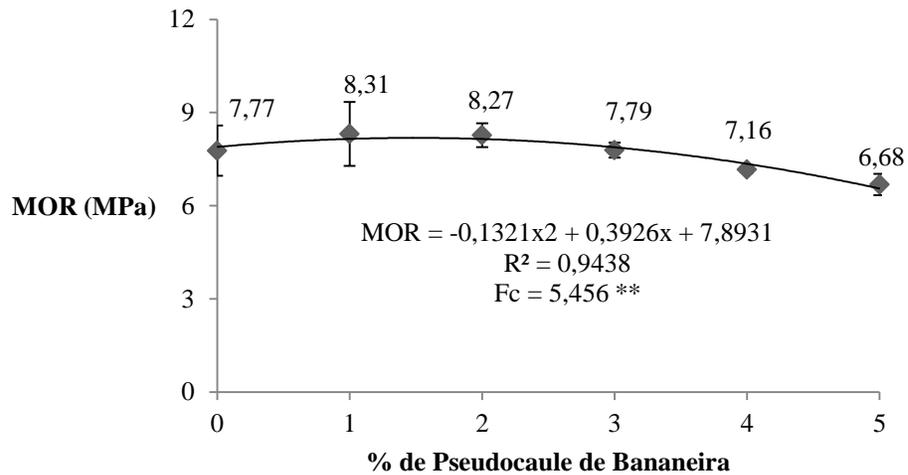
Apesar das especificidades de cada estudo, principalmente quanto à composição química do material de reforço, quando comparado com os valores obtidos no presente estudo com fibrocimento reforçado com partículas de pseudocaule de bananeira, observa-se que os valores médios de AA e PA se mostraram inferiores aos obtidos em literatura para os fibrocimentos reforçados com fibras de pseudocaule de bananeira, demonstrando o potencial do uso de partículas como reforço.

Todas as formulações dos compósitos produzidos com partículas de pseudocaule de bananeira se apresentam dentro dos padrões descritos pela norma NBR 12800 (ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo para AA de água de 37%.

4.2.2.2 Propriedades mecânicas

Os resultados médios para as propriedades de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade (EE) à flexão estática estão apresentados nas Figuras 15, 16, 17 e 18, respectivamente.

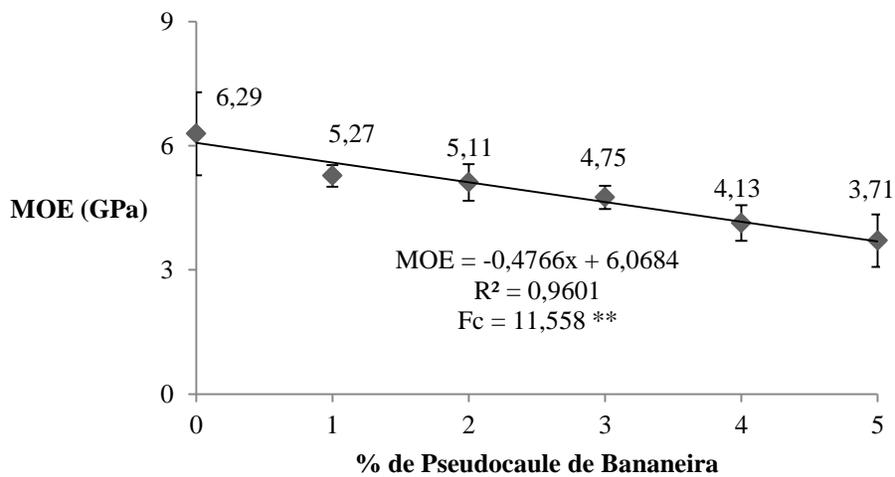
Figura 15 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

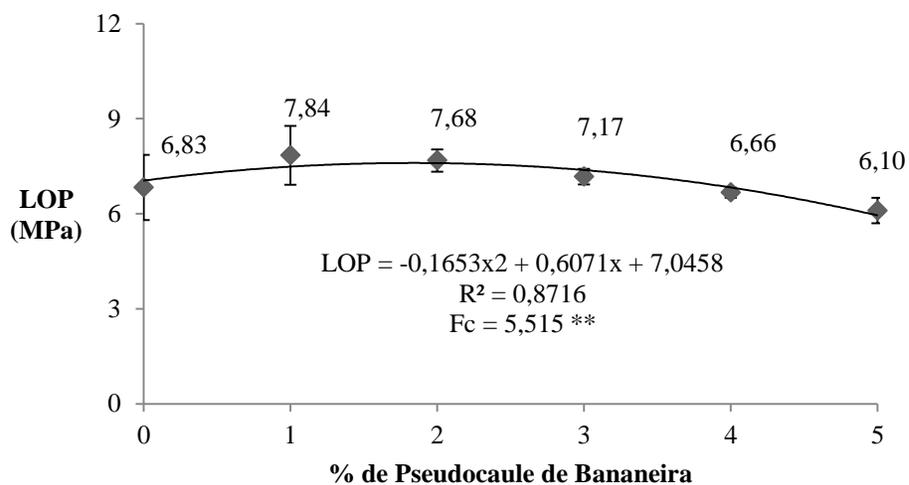
Figura 16 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

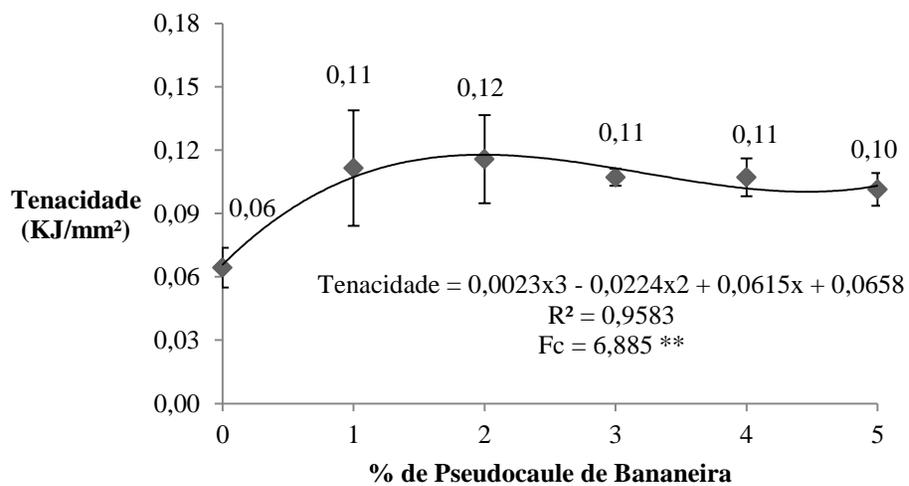
Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 17 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 18 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de pseudocaule de bananeira.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de reforço com pseudocaule de bananeira sobre as propriedades mecânicas de módulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidade (LOP), módulo de elasticidade (MOE) e tenacidade dos fibrocimentos avaliados.

O MOR e LOP apresentaram a mesma tendência, onde se verificou o aumento dos valores até a adição de 1% de partículas de pseudocaule de bananeira, seguido da queda dos valores. Apenas as adições de 4% e 5% de partícula de reforço se mostraram prejudicial ao compósito, resultando em valores médios inferiores ao obtido para os compósitos sem adição de partículas.

O pseudocaule de bananeira apresenta pequeno valor de diâmetro e um grande valor de comprimento das partículas (TABELA 1), gerando assim possível dificuldade na separação das partículas quando adicionas ao processo de extrusão e conseqüentemente na dispersão deste reforço na matriz, fazendo com que haja possíveis aglomerações de reforço na massa do compósito com o aumento da quantidade adicionada de reforço, fator que diminui o desempenho do material (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000) devido ao aumento da porosidade do material (FIGURA 17) e perda de aderência com a matriz.

A adição de partículas de bananeira como reforço promoveram melhoras significativas dos valores de tenacidade do fibrocimento. De forma geral, não foi verificado efeito das porcentagens de reforço para a propriedade tenacidade. Mesmo com o aumento da porosidade e certa diminuição da aderência das partículas de bananeira com a matriz de cimento, ocorre o deslizamento da partícula na matriz, fato que permite estabilidade dos valores de tenacidade mesmo com o uso de maiores porcentagens de reforço com material vegetal, e está associado ao maior comprimento das partículas desse material de reforço (TABELA 1).

Os valores de MOE tiveram relação direta e negativa com o aumento da utilização do pseudocaule de bananeira. Esse comportamento é justificado pelo aumento da porosidade do compósito devido à adição do material de reforço e pelo fato de as próprias partículas apresentarem módulo de elasticidade inferior ao da matriz sem reforço (ZHU et al., 1994).

Zhu et al. (1994) avaliaram o desempenho de fibrocimentos produzidos com porcentagens de 0 a 16% de fibras branqueadas de pseudocaule de bananeira, as quais foram obtidas por diferentes tipos de processos químicos de polpação. Os autores relatam valores de MOR entre 14,17 a 24,32 MPa, tenacidade entre 0,02 a 0,18 KJ/mm² e MOE entre 15,73 a 5,66 GPa. Sendo verificado aumento dos valores de MOR e tenacidade e diminuição de MOE à medida que se aumentou a quantidade de fibras de pseudocaule de bananeira utilizada como reforço. Segundo os autores, a redução do MOE se deve ao módulo mais baixo do material lignocelulósico em comparação com o da matriz. Savastano Júnior, Warden e Coutts (2000) ao avaliarem o reforço de fibrocimento com polpa kraft de pseudocaule de bananeira nas porcentagens de 4, 8 e 12% e seu tratamento com cal, observaram aumento dos valores de MOR, MOE e tenacidade à medida que se aumentou a quantidade de fibras adicionadas à matriz de cimento. Os valores de MOR obtidos foram de 15,5 a 22,8 MPa, de MOE entre 4,3 a 10,0 GPa e de tenacidade de 2,4 a 17,4 KJ/mm².

Os valores obtidos na literatura se mostraram superiores aos da presente pesquisa. Tal comportamento pode estar relacionado à geometria dos materiais de reforço e à composição química dos materiais de reforço das diferentes pesquisas. No entanto, de forma geral, essa comparação demonstra que a utilização de partículas ao invés de fibras de pseudocaule de bananeira resulta em diferentes tipos de comportamento do fibrocimento, sendo nessa primeira avaliação mais interessante a utilização de fibras, uma vez que o aumento da

porcentagem de reforço promoveu aumento das propriedades MOR e tenacidade.

De acordo com a norma para fibrocimento sem amianto (ABNT, 2007), apenas os fibrocimentos produzidos com 5% de pseudocaule de bananeira se enquadraram na categoria 2, os demais tratamentos atenderam a categoria 3 da norma de comercialização.

De forma geral, entre as formulações analisadas o melhor desempenho foi obtido com a adição de 1% de partículas de pseudocaule de bananeira, obtendo compósitos com menor absorção de água e maiores valores de MOR e LOP, além de atender aos requisitos da norma de comercialização. Porém, até a porcentagem de 4% de reforço, os compósitos atendem à mesma categoria da norma de comercialização, podendo ser aplicadas na construção civil como materiais de construção.

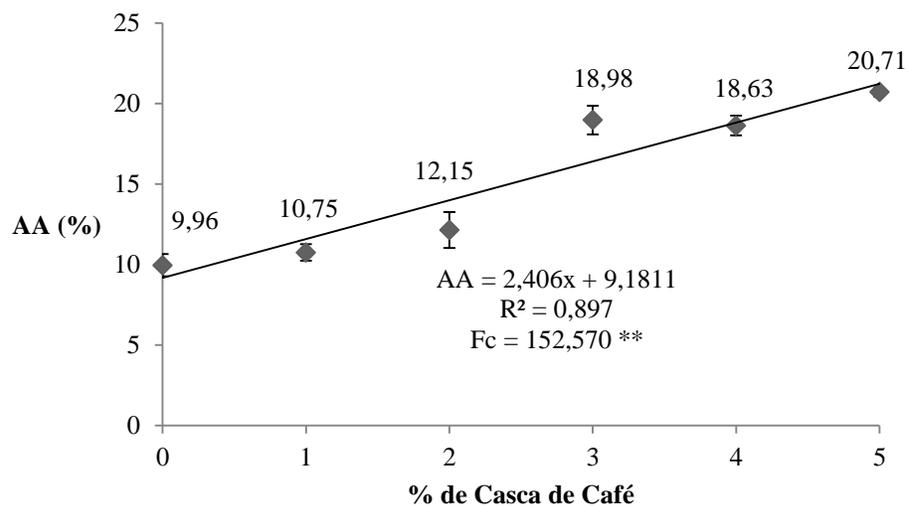
4.2.3 Fibrocimento com casca de café

Os fibrocimentos produzidos com partículas de casca de café apresentaram uma tendência a incompatibilidade do reforço com a matriz. Apenas com pequenas porcentagens de substituição as propriedades físico-mecânicas do compósito foram melhoradas ou mantidas em relação a formulação sem adição de reforço.

4.2.3.1 Propriedades físicas

Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) estão apresentadas nas Figuras 19, 20 e 21, respectivamente.

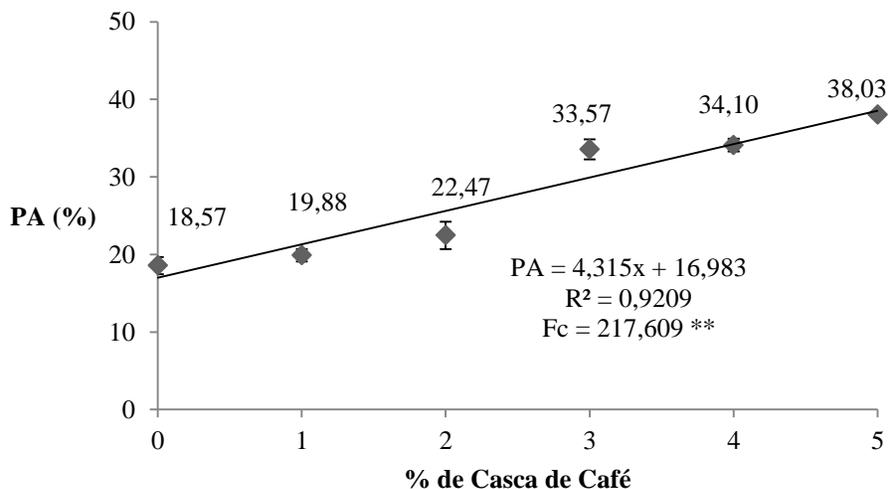
Figura 19 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

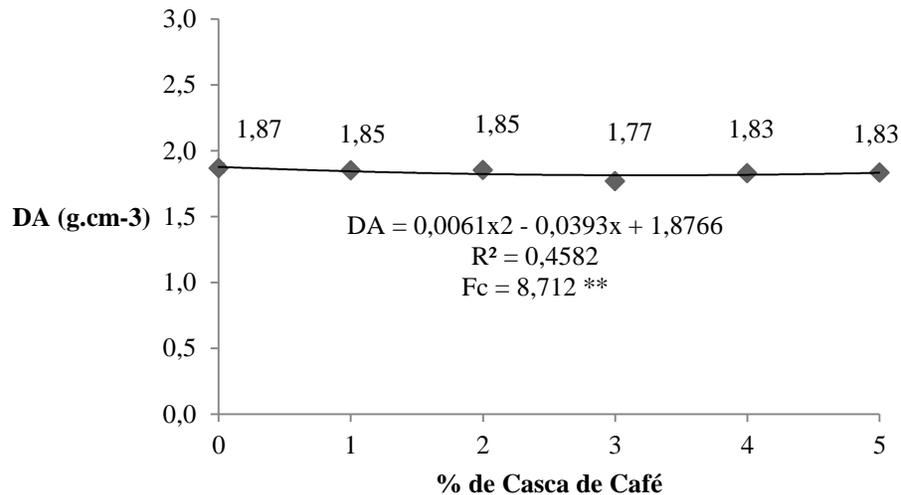
Figura 20 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 21 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de casca de café sobre as propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) dos fibrocimentos avaliados. Com o aumento da porcentagem de casca de café houve o aumento linear da absorção de água e porosidade aparente do compósito, ao mesmo tempo em que houve redução significativa da densidade dos compósitos, com o menor valor obtido para o compósito com 3% de reforço.

O aumento da AA e PA e a redução da densidade dos compósitos também foi verificado em outros estudos que avaliaram o aumento da quantidade de fibras vegetais como reforço em compósitos a base de cimento (CORREIA et al., 2014; COUTTS; MICHELL, 1983; XIE et al., 2015; ZHU; COUTTS, 1994). De acordo com Coutts e Ni (1995), o empacotamento do material de reforço na matriz torna-se menos eficiente quando o teor é aumentado, o que aumenta o volume de vazios e a absorção de água enquanto

diminui concomitantemente a densidade. Aliado a esse fato, o alto valor de extrativos da casca de café (TABELA 3) promove a inibição da cura do cimento ao redor das partículas, promovendo aumento dos poros na matriz de cimento (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016).

O comportamento das partículas de café avaliadas como reforço nesse estudo é semelhante ao de outros materiais vegetais já analisados na produção de fibrocimentos. Pereira et al. (2013) avaliaram as propriedades físicas de compósitos de matriz cimentícia com adição de fibra de coco, polpa celulósica e cinzas de palha de arroz em diferentes porcentagens e obtiveram valores de AA para formulações com 0% e 5% de fibras de coco como reforço entre 5,9% e 21,2% e valores de PA entre 11,8% e 36,9%. Sendo observado que à medida que o material lignocelulósico é incorporado à matriz, há uma maior absorção de água, porosidade aparente e menor densidade aparente, comportamento que segundo os autores pode ser justificado também pela presença de ar na matriz, entre as fibras do coco, no período de cura.

Rahman et al. (2009) avaliaram o desempenho de compósitos produzidos com diferentes porcentagens de fibras de abacá tratadas quimicamente e *in natura*. Os resultados para as formulações com abacá *in natura* demonstram que a adição de fibras promove aumento considerável da AA dos compósitos. Para adição de 25% de fibras o aumento foi de 48% na AA em comparação com o compósito produzido sem adição de fibras. Os autores afirmam que a explicação se deve ao fato de que os materiais lignocelulósicos têm uma elevada natureza hidrofílica, resultando em uma elevada taxa de absorção de água. Outra razão possível pode ser atribuída à baixa densidade do reforço que causa maior espaço vazio no compósito (TORKAMAN; ASHORI; MOMTAZI, 2014).

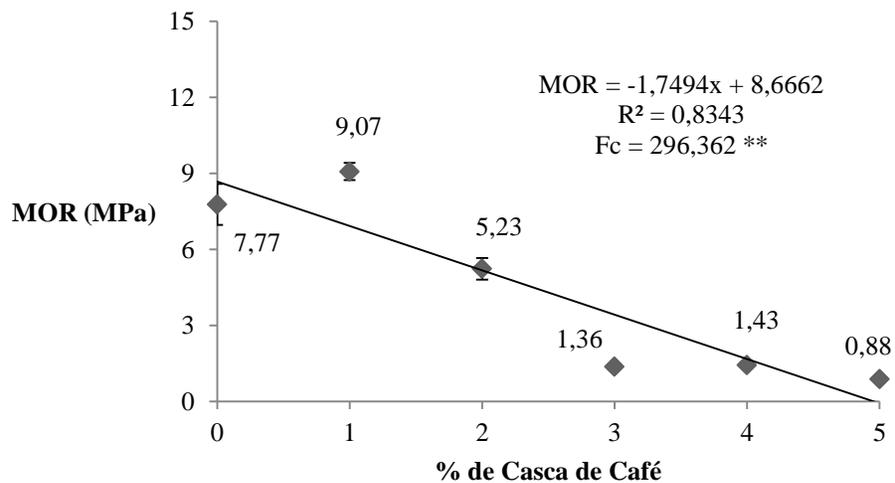
Apesar do aumento da absorção de água dos fibrocimentos com o aumento do nível de reforço com casca de arroz, todas as formulações

atenderam à norma NBR 12800 (ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo para AA de água de 37%.

4.2.3.2 Propriedades mecânicas

Os resultados médios das propriedades de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), limite de proporcionalidade (LP) e tenacidade (EE) à flexão estática, estão apresentados nas Figuras 22, 23, 24 e 25, respectivamente.

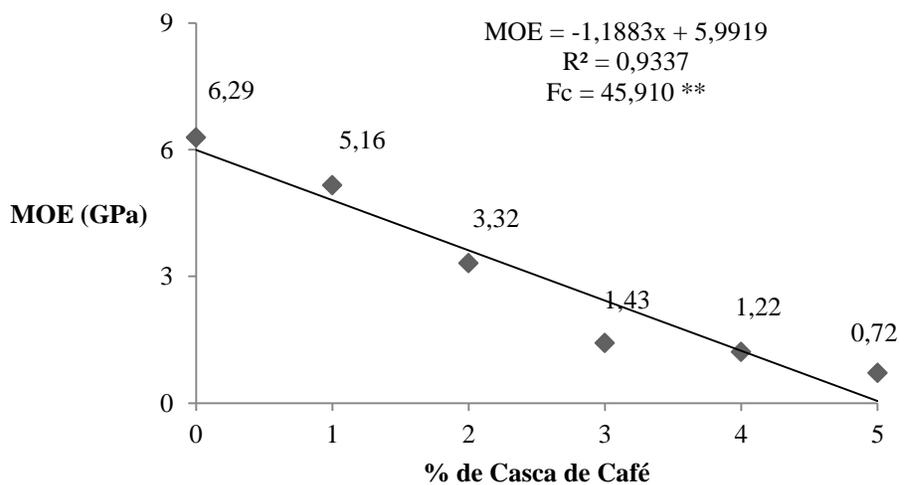
Figura 22 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

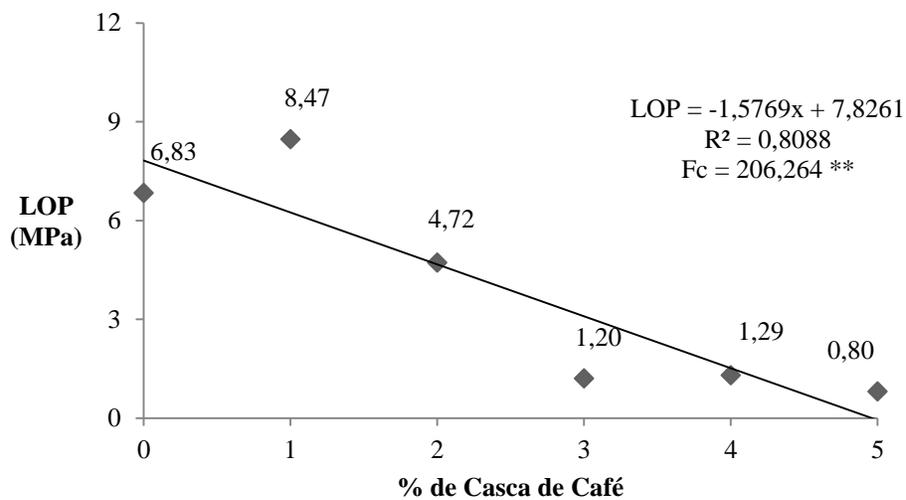
Figura 23 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

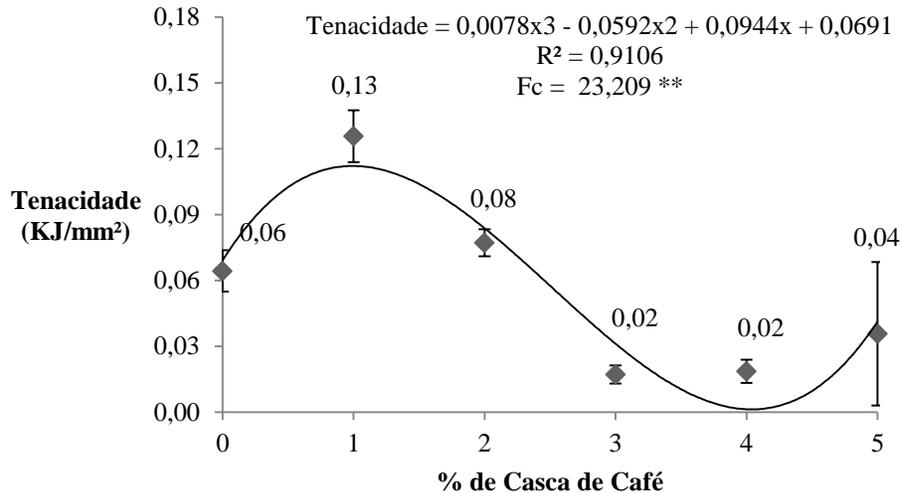
Figura 24 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 25 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de café.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de reforço com casca de café sobre as propriedades mecânicas de módulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidade (LOP), módulo de elasticidade (MOE) e tenacidade dos fibrocimentos avaliados. Para as propriedades MOR e LOP houve aumento do valor médio apenas com a adição de 1% de reforço, seguido de queda abrupta dos resultados com as demais porcentagens.

O motivo do aumento dos valores médios de MOR, LOP e tenacidade com a adição de 1% de reforço é que a matriz de cimento pura apresenta características quebradiças (COUTTS, 2005) passando a ter aumento da região após o regime elástico do material com o material de reforço, uma vez que as partículas interceptam as trincas. No entanto, com o aumento do nível de reforço, aumenta a geração da porosidade do material (FIGURA 24) devido ao entrelaçamento das partículas e aumento da inibição da cura do cimento.

Os valores de MOE tiveram relação direta e negativa com o aumento da utilização da casca de café. Assim como observado nos compósitos produzidos com partículas de palha de arroz e pseudocaule de bananeira as características do reforço influenciaram diretamente esta tendência, uma vez que o módulo de elasticidade está diretamente relacionado ao teor e à elasticidade das partículas adicionadas. Além ainda da inibição da cura do cimento ao redor das partículas, em função da alta quantidade de extrativos do material de reforço, o que resulta em baixa interação entre matriz e material de reforço.

Não foram encontrados exemplos de fibrocimento produzido com reforço de casca de café na literatura. No entanto, comportamentos semelhantes aos do reforço de casca de café em fibrocimentos já foram observados, com a pesquisa de Pereira et al. (2013) que observaram a queda dos valores de MOR quando adicionados 5% de fibras de coco, os valores variaram entre 12,5 e 11 MPa quando comparados à formulação sem adição de fibras. Correia et al. (2014) ao avaliarem fibrocimento produzido com fibras branqueadas de bambu nas porcentagens de reforço de 6 e 12% obtiveram valores de MOR entre 6,4 a 5,8 MPa, de MOE entre 10,6 a 4,5 GPa, de LOP entre 3,8 a 2,3 MPa e de tenacidade entre 0,8 a 2,1KJ/mm². Sendo observada, assim como nesse estudo, a diminuição dos valores das propriedades mecânicas com o aumento da quantidade de material de reforço utilizado.

De acordo com a norma para fibrocimento sem amianto (ABNT, 2007), os tratamentos sem adição de reforço e com a adição de 1% de reforço de casca de café foram classificados na classe 3 da norma de comercialização. O tratamento com 2% de reforço de casca de café foi classificado na classe 2 e os demais tratamentos ficaram na classe 1.

Em uma análise geral, apenas os compósitos produzidos com 1% de reforço de casca de café demonstraram resultados satisfatórios para produção de fibrocimentos.

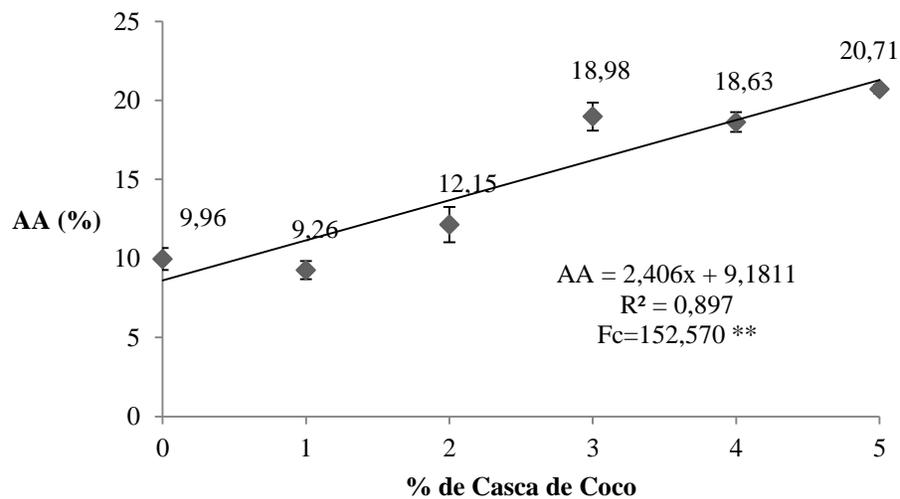
4.2.4 Fibrocimento com casca de coco

Os fibrocimentos produzidos com partículas de casca de coco apresentaram boa interação com a matriz cimentícia. As propriedades físico-mecânicas do compósito foram satisfatórias quanto aos parâmetros de análise.

4.2.4.1 Propriedades físicas

Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) estão apresentados nas Figuras 26, 27 e 28, respectivamente.

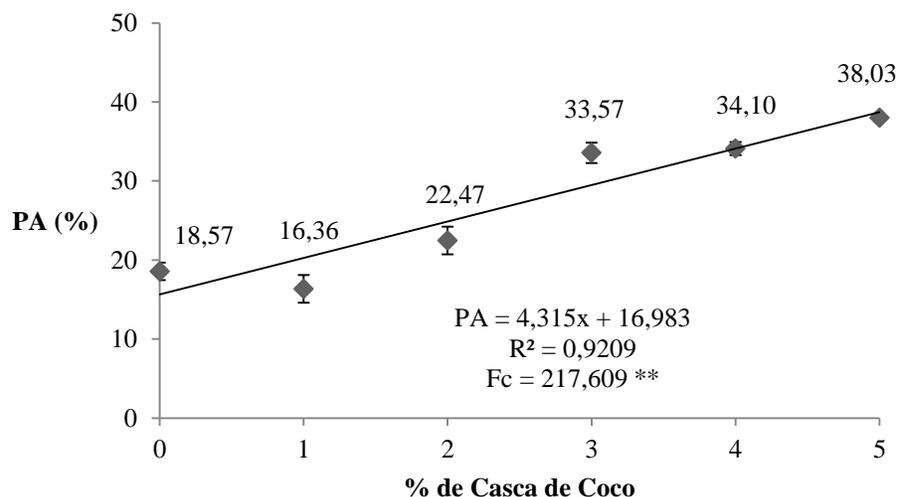
Figura 26 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

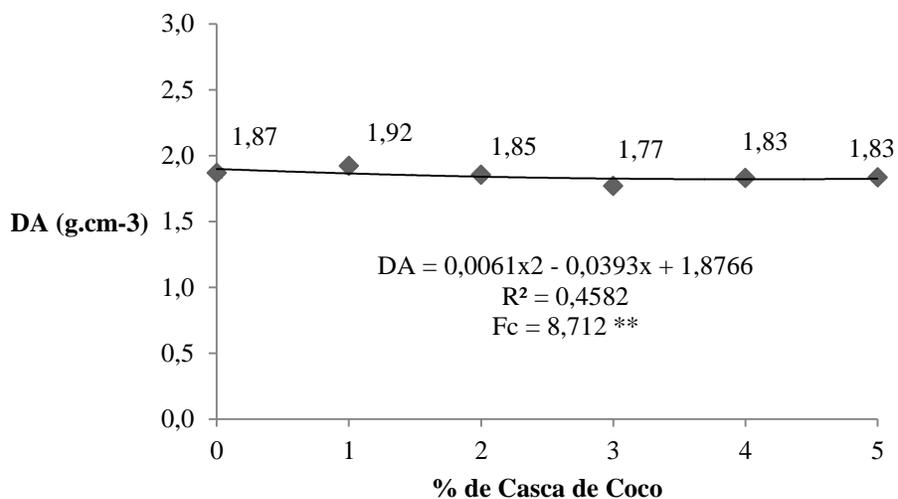
Figura 27 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 28 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

As análises de regressão para as propriedades físicas absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA), em função da porcentagem de reforço com casca de coco, apresentaram resultados significativos. Em relação à AA e PA os resultados apresentaram tendências semelhantes, sendo observados queda nos valores de 0% a 1%, e posteriormente aumento destes valores quando adicionadas quantidades maiores de reforço.

A densidade aparente apresenta certo aumento com 1% de partículas e queda nas demais formulações, fator que também apresenta vantagem quanto ao uso deste reforço, pois ocasiona em um compósito mais leve o que facilita o manuseio e transporte do material, porém a densidade mais baixa pode ocasionar uma maior absorção de água e porosidade aparente, fatores que em excesso podem diminuir a durabilidade do compósito (EUSEBIO et al, 1998).

A alta incidência de poros capilares é muitas vezes ligada à variação dimensional, rachaduras e durabilidade reduzida de produtos a base de cimento (MOHR; NANKO; KURTIS, 2005). Os poros capilares formam um resultado da concentração e distribuição do material de reforço, do processo de cura e do processo de secagem, entre outros fatores nas idades precoces do compósito. De acordo com Coutts e Ni (1995), o empacotamento do material de reforço na matriz torna-se menos eficiente quando o teor é aumentado, o que aumenta o volume de vazios e a absorção de água enquanto diminui concomitantemente a densidade.

As partículas de casca de coco já foram utilizadas anteriormente como reforço em matriz cimentícia, como analisa a pesquisa de Brasileiro, Vieira e Barreto (2013) que avaliaram as propriedades físicas de fibrocimentos produzidos com 10 % de partículas de coco e variações de diferentes agregados da matriz, os autores obtiveram para as propriedades físicas, valores de AA entre 12 a 37 %, de PA entre 23 a 37 % e de DA entre 0,99 a 2,00 g.cm⁻³ para as diferentes formulações.

Lertwattanakul e Suntijitto (2015) produziram fibrocimentos com fibras de casca de coco e fibras de palma, variando as porcentagens de 5, 10 e 15%. Os resultados dos testes com casca de coco mostraram que a porcentagem de 5% promoveu redução dos valores de AA e PA, seguido do aumento dos valores com as porcentagens de 10 e 15%. Os autores obtiveram valores de AA variando entre 4,67 a 9,66 e de PA variando entre 9,67 a 16,47%.

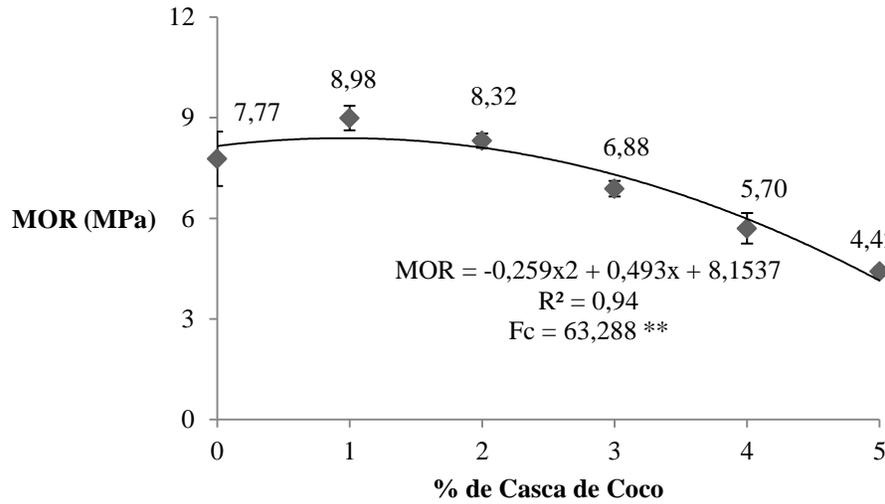
Valores esses inferiores aos obtidos com partículas de coco nesse estudo, fato que está associado com a geometria do material de reforço, que influencia na dispersão do mesmo e a composição química superficial, uma vez que partículas apresentam rompimentos fora da lamela média, o que resulta em uma maior exposição de grupos químicos de hidroxilas, principalmente com as hemiceluloses.

Todas as formulações obtiveram bons resultados, pois os valores das propriedades físicas dos compósitos com partículas de casca de coco atendem aos padrões descritos pela norma NBR 12800 (ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo para AA de água de 37%.

4.2.4.2 Propriedades mecânicas

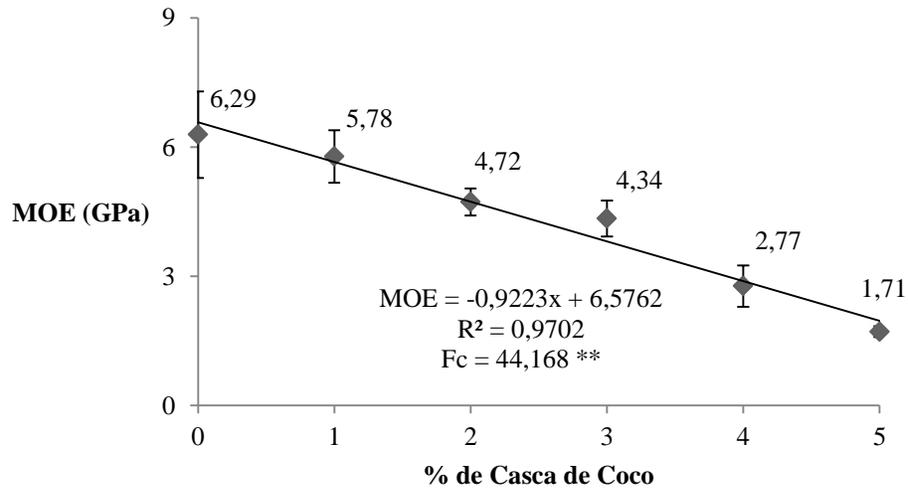
Os resultados médios das propriedades de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade (EE) à flexão estática estão apresentados nas Figuras 29, 30, 31 e 32, respectivamente.

Figura 29 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



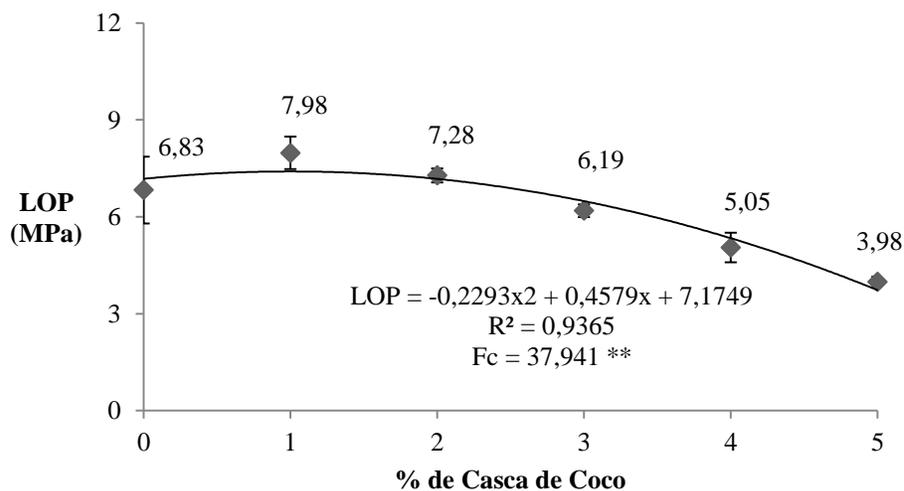
**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 30 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



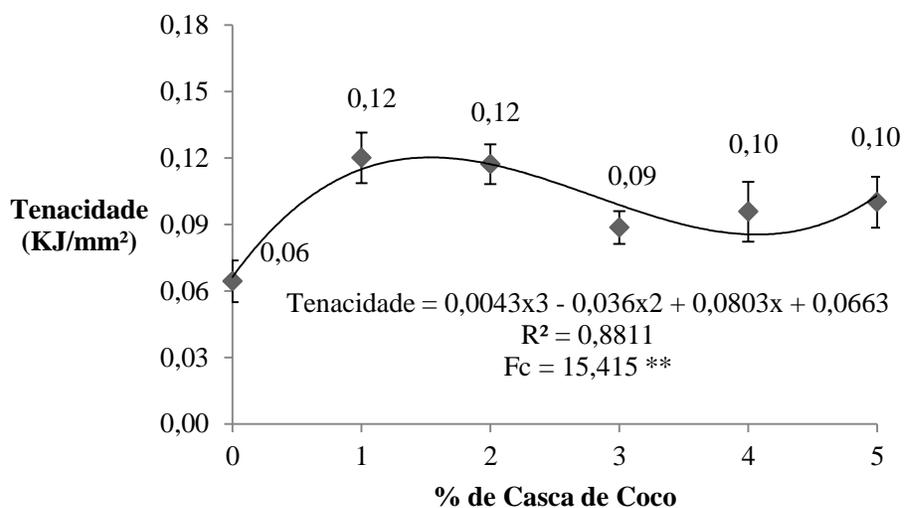
**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 31 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 32 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de casca de coco.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de reforço com casca de coco sobre todas as propriedades mecânicas avaliadas dos fibrocimentos. Para as propriedades MOR, LOP e tenacidade a utilização de 1 e 2% de partículas de casca de coco promoveu melhoras significativas dos valores de resistência, seguido posteriormente da diminuição dos valores.

Assim como nas propriedades físicas destes compósitos, as propriedades mecânicas obtidas colocam a casca de coco como um bom material de reforço, porém em quantidades menores, como relatado por Coutts e Warden (1985), pois maiores quantidades de reforço na matriz cimentícia podem ocasionar uma distribuição heterogênea do material e posteriormente grandes quantidades de espaços vazios ou acúmulo de material de reforço, diminuindo assim a estabilidade e as propriedades mecânicas.

De acordo com Agopyan, (1991) e Savastano, Warden e Coutts (2000) as pesquisas que utilizam a casca de coco como matéria-prima para compósitos na construção civil se baseiam em suas boas propriedades físicas e mecânicas e em sua interação com o cimento. Este material vegetal apresenta boa resistência à tração e um baixo módulo de elasticidade que proporciona eficiência como reforço, devido à deformação que suporta dentro da matriz cimentícia.

Os valores de MOE tiveram relação direta e negativa com o aumento da utilização da casca de coco, assim como os demais materiais de reforço analisados, a causa provável é o elevado teor de substituição e a própria elasticidade do material de reforço.

Brasileiro, Vieira e Barreto (2013) produziram compósitos reforçados com 10% de partículas de casca de coco e diferentes agregados nas formulações, onde foram obtidos valores de MOR de 2,5 MPa, MOE de 1,3 GPa e EE de 0,12 KJ/mm². Em comparação com a literatura, os valores da presente pesquisa são superiores para MOR e MOE e semelhantes para EE.

Lertwattanaruk e Suntijitto (2015) ao avaliarem fibrocimentos com fibras de casca de coco e fibras de palma, variando as porcentagens de 5, 10 e 15%, observaram diminuição linear dos valores de MOR à medida que se aumentou a porcentagem de reforço. As reduções observadas variaram entre 3,71 a 21,89% em relação aos fibrocimentos sem reforço. Os autores afirmam que porcentagens inferiores de casca de coco devem ser utilizadas para obtenção de um produto de melhor qualidade.

De acordo com a norma para fibrocimento sem amianto (ABNT, 2007), os fibrocimentos sem adição de reforço e com utilização de 1 e 2% são classificados na categoria 3, enquanto os demais tratamentos são classificados na categoria 2.

Em uma análise geral, os compósitos com partículas de casca de coco apresentaram um bom desempenho quando utilizado 1 e 2 % de reforço, com valores das propriedades físico-mecânicas satisfatórias em comparação com a norma de comercialização. Apresentando certo destaque para a formulação com 1 % de reforço, que obteve melhor desempenho em comparação geral.

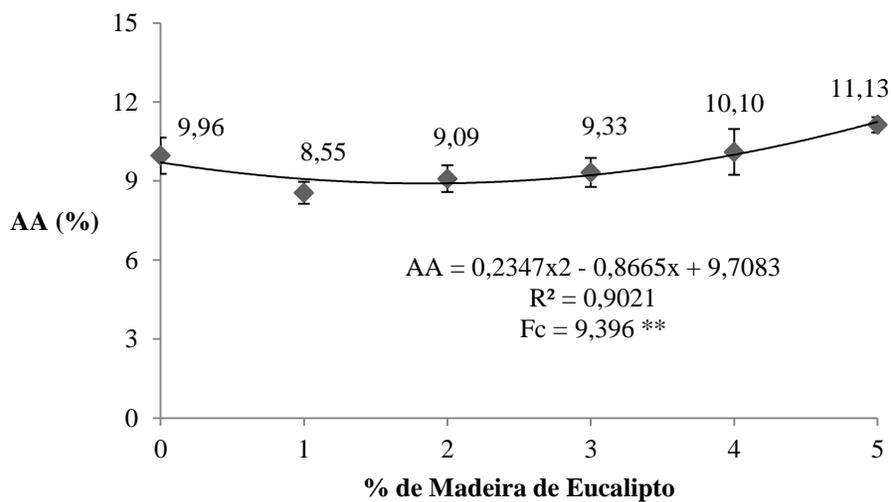
4.2.5 Fibrocimento com partículas de eucalipto

Os fibrocimentos produzidos com partículas de madeira de eucalipto apresentaram uma boa interação do reforço com a matriz. Mesmo com maiores quantidades de substituição da porcentagem de cimento por partículas as propriedades físico-mecânicas do compósito foram melhoradas ou mantidas em relação a formulação sem adição de reforço.

4.2.5.1 Propriedades físicas

Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA) estão apresentados nas Figuras 33, 34 e 35, respectivamente.

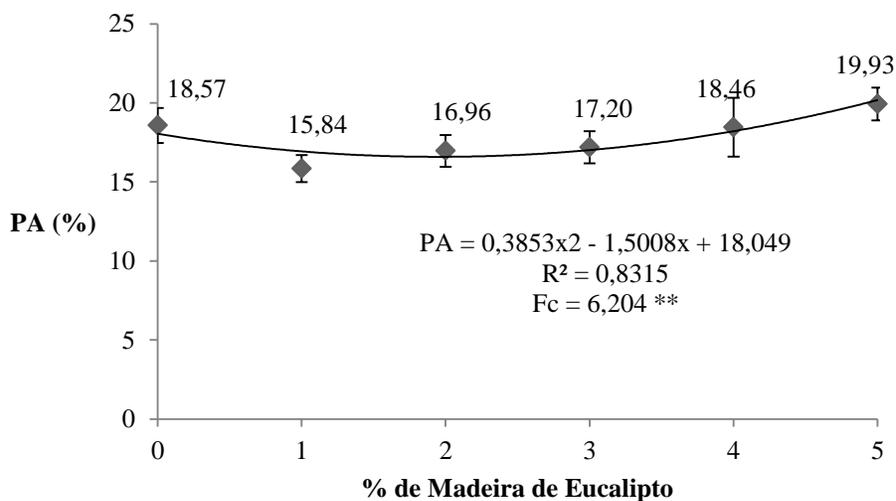
Figura 33 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

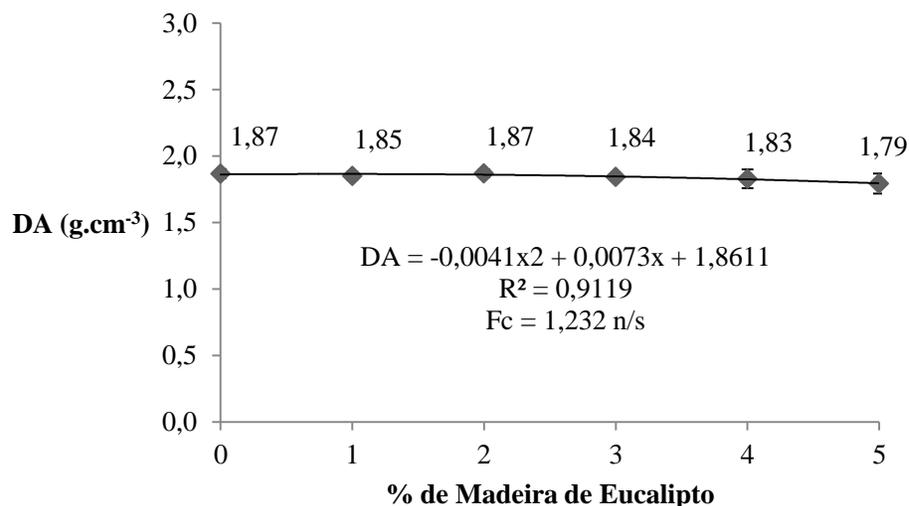
Figura 34 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 35 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



n/s: Análise de regressão não significativa.

Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de reforço com partículas de eucalipto para as propriedades de absorção de água (AA) e porosidade aparente (PA) dos fibrocimentos avaliados. A tendência observada foi de redução dos valores médios de AA e PA até a porcentagem de 1%, seguido do aumento dos valores. Apenas as porcentagens de 4 e 5% obtiveram valores médios superiores aos encontrados para os fibrocimentos produzidos sem reforço.

Diferentemente do observado para os resíduos agrícolas avaliados nesse estudo, não houve efeito significativo da porcentagem de reforço sobre a propriedade de densidade aparente (DA), provavelmente pelo fato de o material de reforço obter uns dos maiores valores médios de densidade aparente (TABELA 2), uns dos menores comprimentos (TABELA 1) o que favorece a distribuição do material na matriz de cimento e o seu empacotamento.

O fato de as partículas de eucalipto apresentarem menores dimensões anatômicas facilita a dispersão e diminui a quantidade de espaços vazios no compósito (NACIF et al., 2013), diminuindo até certo ponto a PA e conseqüentemente a AA dos compósitos. No caso do presente estudo, até 3% de utilização de partículas de eucalipto ocorre um equilíbrio granulométrico e um bom empacotamento das partículas na matriz de cimento, enquanto que nas porcentagens de 4 e 5% ocorre uma dispersão ineficiente, associada à junção das partículas no momento da extrusão (TEIXEIRA et al., 2012), assim como efeito da maior quantidade relativa adicionada à matriz, o que promove inibição da matriz do cimento ao redor das partículas (QUIROGA; MARZOCCHI; RINTOUL, 2015).

O eucalipto é citado na literatura como um bom reforço para fibrocimento, porém seu uso é direcionado na maioria das vezes, como polpa celulósica (PIZZOL, 2013; SANTOS et al., 2015; TONOLI et al., 2009), porém há falta de conhecimento quanto ao uso de fibras e partículas da madeira de eucalipto como reforço em fibrocimentos (SILVA, 2015).

Em estudo desenvolvido por Silva (2015), que utilizou fibras de eucalipto *in natura* e tratadas termicamente, como reforço de fibrocimento em porcentagens de 0 a 5 %, foram obtidos para os compósitos com reforço *in natura* valores de AA entre 11,0 e 23,2, de PA entre 20,0 e 40,7 e DA entre 1,78 e 1,83 g.cm⁻³. Os valores analisados pelo autor são superiores aos da presente pesquisa para PA e AA, para DA os valores se mostram semelhantes.

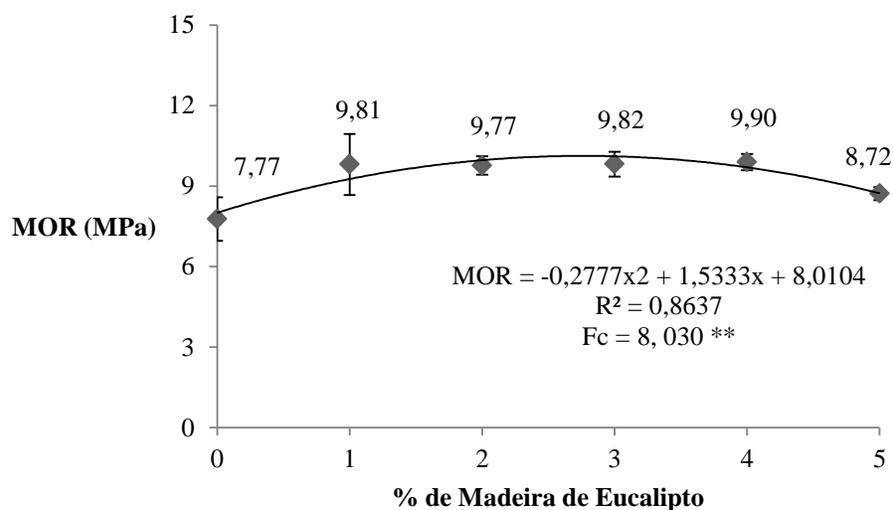
De certa forma, o presente trabalho quando comparado com a literatura demonstra o potencial de utilização de partículas de eucalipto ao invés de fibras de eucalipto, o que promove redução da etapa de desfibramento, diminuição nos custos de montagem de fábricas de produção, devido à necessidade de equipamentos mais simples e, portanto, promove a diminuição dos custos finais do produto.

Todas as formulações obtiveram bons resultados, pois os valores das propriedades físicas dos compósitos com partículas de casca de coco atendem aos padrões descritos pela norma NBR 12800 (ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo para AA de água de 37%.

4.2.5.2 Propriedades mecânicas

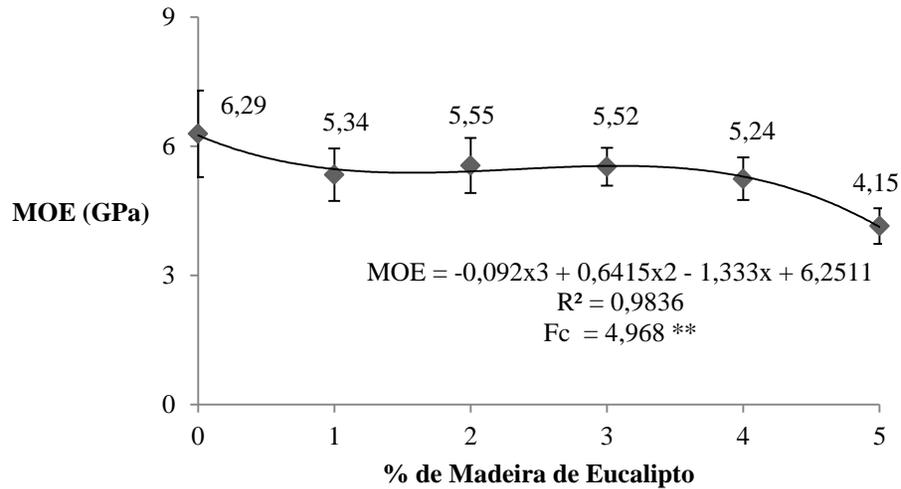
Os resultados médios das propriedades de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE), limite de proporcionalidade (LOP) e tenacidade (EE), estão apresentados nas Figuras 36, 37, 38 e 39, respectivamente.

Figura 36 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



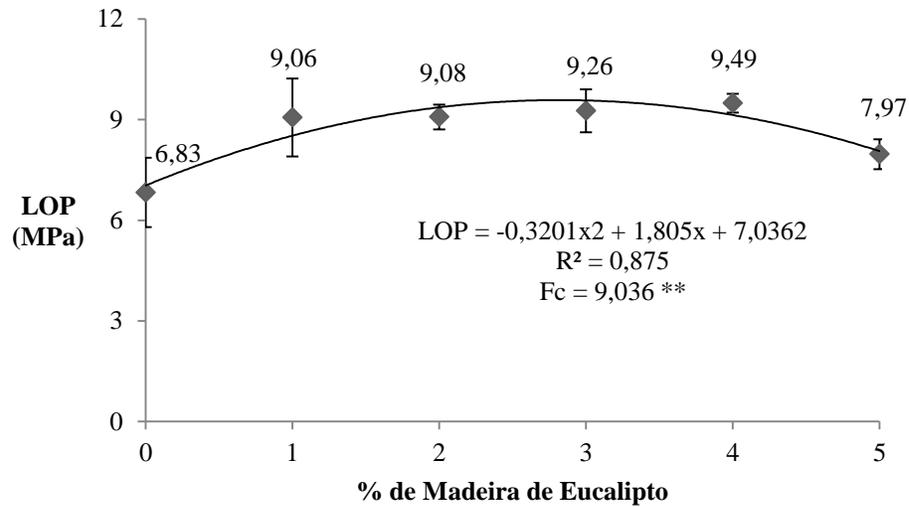
**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 37 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



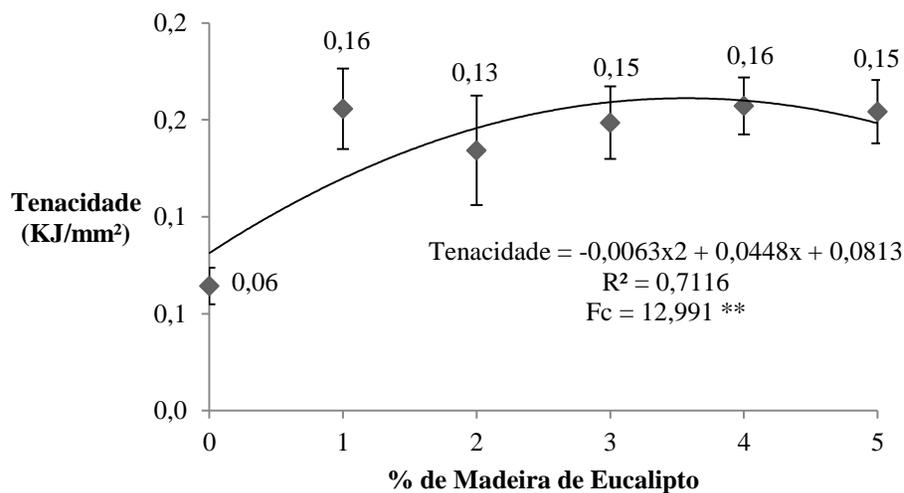
**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 38- Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.
 Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 39 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes níveis de reforço com partículas de eucalipto.



**Análise de regressão significativa ao nível de 1%.

Fonte: Dados da autora (2016)

Houve efeito significativo da porcentagem de reforço com casca de coco sobre as propriedades mecânicas de módulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidade (LOP), módulo de elasticidade (MOE) e tenacidade dos fibrocimentos avaliados. Para as propriedades MOR, LOP e tenacidade os compósitos com utilização de reforço, independentemente da sua porcentagem, obtiveram valores médios superiores ao compósito sem reforço.

Nas propriedades MOR e LOP as porcentagens de 1 a 4% se mostraram estáveis, seguidas de uma queda para a utilização de 5% de partícula de eucalipto. O início da redução do MOR e LOP com a utilização de 5% de partículas de eucalipto está associado à interferência da proximidade das partículas o que promove maior número de espaços vazios, conforme verificado no ensaio de PA (FIGURA 41), e resulta em perda de aderência da partícula com a matriz.

Não foi verificado efeito das porcentagens de reforço para a propriedade tenacidade. Mesmo com o aumento da porosidade e certa diminuição da aderência das partículas de eucalipto com a matriz de cimento, ocorre o deslizamento da partícula na matriz, fato que permite estabilidade dos valores de tenacidade mesmo com o uso de maiores porcentagens de reforço com material vegetal.

Os valores de MOE diminuíram com a utilização de reforço com partículas de eucalipto em relação ao compósito sem reforço. Houve certa estabilidade dos valores de MOE com a utilização das porcentagens entre 1 a 3%, seguido dos valores médios, sendo essa mais acentuada para a porcentagem de 5%. Esse comportamento é justificado pelo aumento da porosidade do compósito devido à adição do material de reforço e pelo fato de as próprias partículas apresentarem módulo de elasticidade inferior ao da matriz sem reforço (ZHU et al., 1994), já que o módulo de elasticidade está diretamente relacionado ao teor e à elasticidade das partículas adicionadas.

Tonoli et al. (2010) ao avaliarem o efeito do reforço com fibras de pinus e de eucalipto sobre as propriedades de fibrocimento obtiveram valores para os fibrocimentos produzidos com 10% de fibras de eucalipto de 0,23 KJ/mm² para a tenacidade e de 7,2 MPa para o MOR.

Silva (2015) ao analisar as propriedades mecânicas de fibrocimento utilizando fibras de eucalipto nas porcentagens de 0 a 5% obteve valores de 11,13 a 4,47 MPa para o MOR, de 9,65 a 3,81 MPa para o LOP, de 6,37 a 0,93 GPa para o MOE e de 0,16 a 0,34 KJ/mm² para a tenacidade, sendo observada queda dos valores de MOR, LOP e MOE e aumento dos valores de tenacidade à medida que se adicionou maior porcentagem de fibra.

Observa-se, em relação aos trabalhos encontrados em literatura, que as partículas de eucalipto promovem efeito diferente sobre a qualidade dos fibrocimentos quando comparados com os fibrocimentos produzidos com fibras

de eucalipto. Os fibrocimentos produzidos com partículas apresentam tendência de melhoria das propriedades com o aumento da utilização da porcentagem de reforço, enquanto os fibrocimentos produzidos com fibras de eucalipto apresentam tendência de redução. Fato esse que pode estar associado à área superficial e sua interação com o cimento mediante a interface entre material de reforço e matriz cimentícia. De forma geral, os fibrocimentos produzidos com partículas de eucalipto obtiveram resultados superiores aos encontrados em literatura dos fibrocimentos com fibras de eucalipto.

De acordo com a norma para fibrocimento sem amianto (ABNT, 2007), todos os tratamentos foram classificados na categoria 3 da norma de comercialização.

Todas as formulações desenvolvidas com partículas de eucalipto mostraram resultados satisfatórios para produção de um fibrocimento resistente e livre de aminato. No entanto, observa-se que em termos de qualidade, a utilização de 5% de partículas de eucalipto já apresenta destacada perda de qualidade em relação aos demais níveis de reforço avaliados. Sendo assim, esse estudo sugere a utilização de 4% de partículas de eucalipto para reforço dos fibrocimentos.

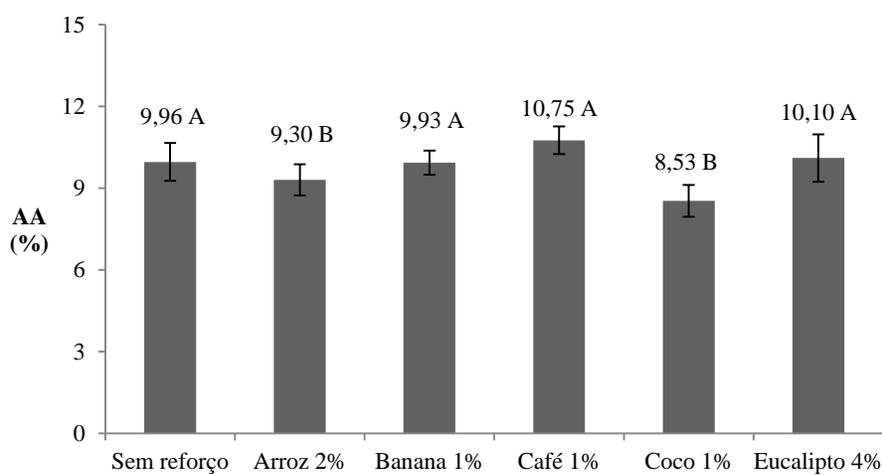
4.3 Melhores porcentagens para cada tipo de reforço lignocelulósico

Após a análise isolada do desempenho de cada um dos materiais de reforço na matriz cimentícia, foram obtidas as melhores porcentagens de reforço para cada tipo de material lignocelulósico, as quais foram comparadas visando avaliar o efeito do material lignocelulósico sobre a qualidade do fibrocimento. Os melhores resultados obtidos foram nas porcentagens de 2% para palha de arroz, 1% para pseudocaule de bananeira, 1% para casca de café e casca de coco e 4 % para partículas de eucalipto.

4.3.1 Propriedades físicas

Os resultados médios das propriedades físicas de absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente estão apresentados nas Figuras 40, 41 e 42, respectivamente.

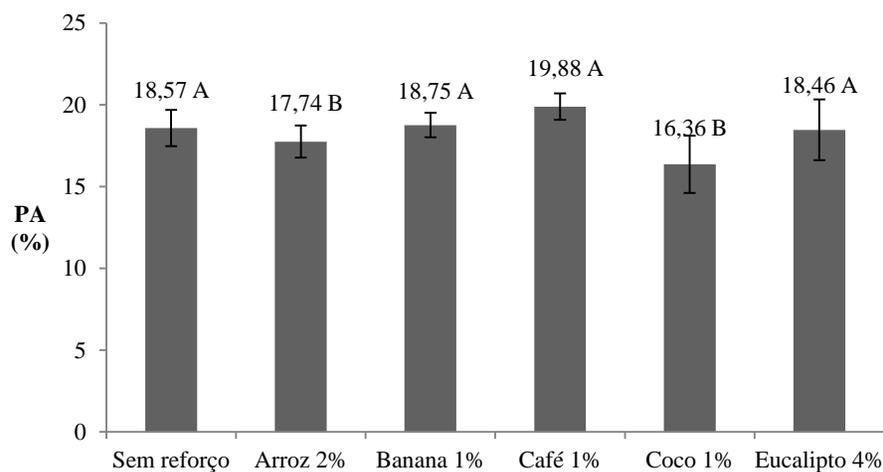
Figura 40 - Absorção de água dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

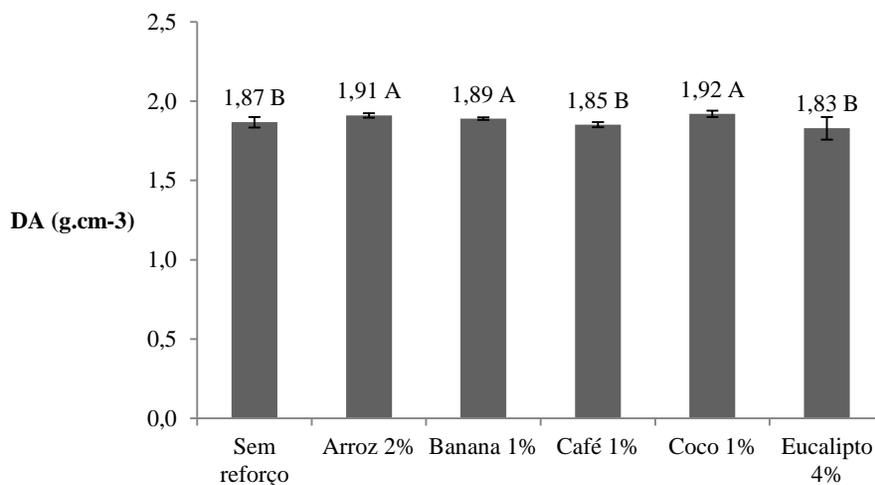
Figura 41 - Porosidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 42 - Densidade aparente dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

Os compósitos produzidos com 2% de palha de arroz e 1% de casca de coco obtiveram os menores valores médios de absorção de água e porosidade aparente, diferenciando-se estatisticamente das demais formulações. Não houve diferença significativa entre os demais tratamentos avaliados para ambas as propriedades.

Para a propriedade densidade aparente, os fibrocimentos produzidos sem reforço, com 1% de casca de café e 4% de eucalipto obtiveram igualdade estatística e diferenciaram-se estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo os menores valores de densidade aparente. Não houve diferenciação estatística entre os demais tratamentos. Observa-se que, com exceção do reforço com pseudocaule de bananeira, os compósitos com maior porosidade e absorção de água obtiveram também os menores valores de densidade aparente dos compósitos. Choi et al. (2016) e Xie et al. (2015) também observaram diminuição dos valores de PA e AA com o aumento da densidade aparente dos compósitos. No caso da bananeira o efeito é perdido pois o material apresenta grande incidência de poros permeáveis oriundos das lacunas e lumens encontrados nas partículas (SAVASTANO JÚNIOR, 1987), o que está aliado à baixa densidade do material de reforço (TABELA 2) e conseqüentemente a sua maior porosidade que é transmitida às propriedades dos compósitos (ASASUTJARIT et al., 2007).

A apresentação de baixos valores de porosidade e conseqüentemente da absorção de água dos compósitos está associada diretamente com a quantidade de extrativos presentes nos materiais lignocelulósicos, onde se observa que a casca de arroz e a casca de coco obtiveram os menores valores médios de extrativos (TABELA 3), assim como o pseudocaule de bananeira e casca de café obtiveram os maiores médios de extrativos e os maiores valores de porosidade. De acordo com Chabannes et al. (2014) e Savastano Júnior e Agopyan (1999), a quantidade de extrativos afeta de forma direta a cura do cimento, pois este

componente químico em contato com a matriz cimentícia inibe a cristalização das partículas de cimento, gerando maior quantidade de poros e consequentemente maior AA e PA.

Outro fator que proporcionou menores valores de AA e PA dos compósitos com casca de coco está relacionado à alta quantidade de lignina (TABELA 3), componente químico hidrofóbico da parede celular, o que aumenta a estabilidade dimensional e diminui o caráter higroscópico dos materiais lignocelulósicos, acarretando em melhora na interface reforço/matriz e diminuição da porosidade do compósito (MORH; BIERNACKI; KURTIS, 2006; NANKO; ASANO; OHSAWA, 1991). Apesar de que a quantidade de lignina se mostra de forma secundária sobre o efeito das propriedades físicas dos compósitos a base de cimento, uma vez que a casca de café também apresentou elevado teor de lignina, no entanto, em função da alta porcentagem de extrativos obteve maiores valores de porosidade.

No caso da palha de arroz a diminuição da absorção de água pode estar associada ao fato de que a casca é composta de quatro camadas, sendo a epiderme externa composta por células silificadas e atuam como proteção à entrada de água (RAMBO, 2009).

Quanto às características anatômicas, os dois materiais foram os que apresentaram diâmetro médio intermediário (TABELA 1), o que possivelmente proporcionou boa distribuição na matriz, ao mesmo tempo em que não proporcionou aglomeração, o que dificulta a interação entre reforço/matriz, ocasionando uma maior porosidade (CHUNG; BAKALINSKY; PENNER, 2005).

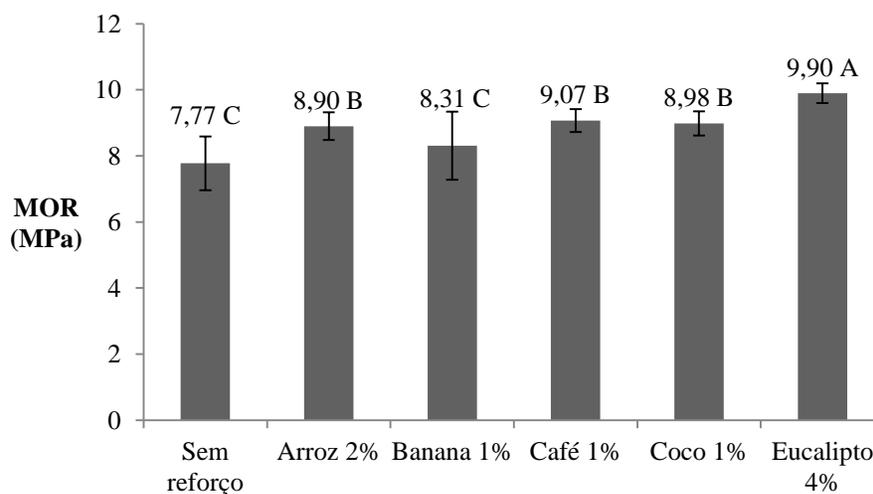
Mesmo com as análises que apresentam melhores interações para as partículas de palha de arroz e casca de coco, todos os compósitos analisados apresentam bom comportamento quanto às propriedades físicas, onde os resultados se mostram bastante inferiores aos normatizados pela NBR 12800

(ABNT, 1993) que estabelece, para fibrocimentos livres de amianto, um valor máximo de 37 % de AA.

4.3.2 Propriedades mecânicas

Os resultados médios das propriedades mecânicas de Módulo de Ruptura (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE), Limite de Proporcionalidade (LOP) e Tenacidade (EE) à flexão estática, estão apresentados nas Figuras 43, 44, 45 e 46, respectivamente.

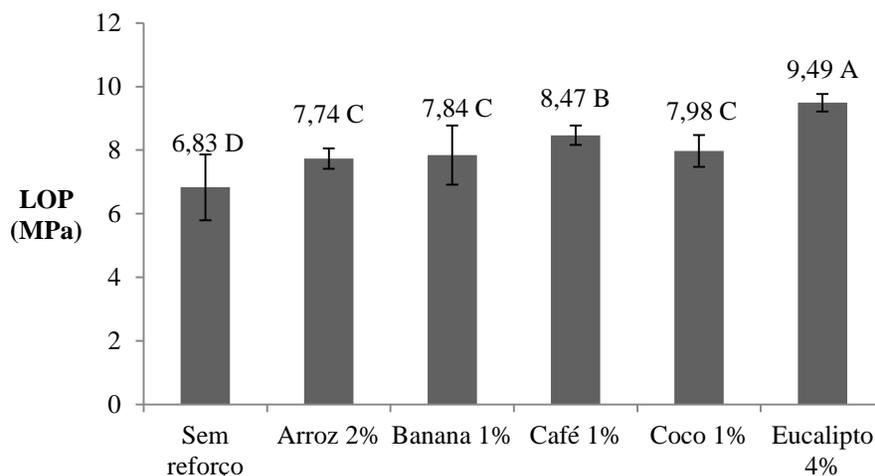
Figura 43 - Módulo de ruptura dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

Figura 44 - Limite de proporcionalidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

Apenas os compósitos que utilizaram partículas de pseudocaule de bananeira não apresentaram diferença estatística para MOR, em relação aos compósitos sem reforço. Provavelmente em função da alta quantidade de extrativos do material de reforço (TABELA 3) e seu efeito sobre a cura do cimento e conseqüentemente na interface matriz-partícula. Os fibrocimentos reforçados com 4% de partículas de eucalipto obtiveram o maior valor médio de MOR, diferenciando-se estatisticamente dos demais tratamentos. Não houve diferença estatística entre os fibrocimentos produzidos com 2% de casca de arroz, 1% de casca de café e 1% de casca de coco.

Houve aumento significativo dos valores de limite de proporcionalidade (LOP) independentemente do tipo de material lignocelulósico utilizado como reforço quando comparado com o cimento sem reforço, ou seja, o compósito reforçado com partículas tem maior capacidade de trabalho após o início da

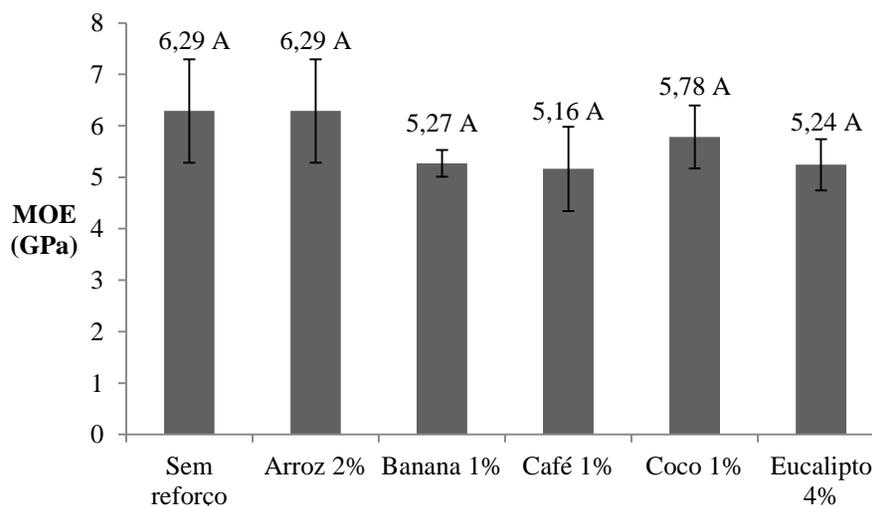
fissuração do material (CORREIA et al., 2014). O mesmo comportamento de LOP foi observado por Fonseca et al. (2016). Com adição de nanofibras de eucalipto os autores obtiveram maiores valores de LOP, indicando a eficiência do reforço.

O maior valor médio de LOP foi obtido para o reforço com 4% de eucalipto, o qual se diferenciou estatisticamente das demais formulações. Não houve diferença estatística do LOP com os compósitos reforçados com 2% de casca de arroz, 1% de pseudocaule de banana e 1% de casca de coco. Os fibrocimentos produzidos com 1% de casca de café apresentaram valores intermediários entre os fibrocimentos com reforço, diferenciando-se estatisticamente de todos os tratamentos.

O motivo do melhor desempenho dos fibrocimentos produzidos com as partículas de eucalipto está associado à maior quantidade de holocelulose (Celulose + hemiceluloses), principalmente da celulose, a qual apresenta bom comportamento de resistência à tração, permitindo benefícios de maior alongamento à ruptura e por consequência a deformação dos compósitos (BLEDZKI; GASSAN, 1999; ROY et al., 2012; WEI; MEYER, 2015). Esse desempenho elevado da tração deve estar associado à boa aderência partícula-matriz, a qual é possível por valores não tão elevados de extrativos no caso das partículas de eucalipto.

Não foi observado efeito significativo da adição das melhores porcentagens dos diferentes tipos de materiais lignocelulósicos sobre a propriedade de MOE dos fibrocimentos (FIGURA 45). Apesar de se notar certa tendência de redução, em função do menor MOE do material de reforço em relação à própria matriz de cimento. Isso indica que mesmo com a adição dos melhores níveis de reforço, a matriz ainda apresenta comportamento semelhante à deformação inicial do compósito sem reforço (PARDINI; LEVY NETO, 2006).

Figura 45 - Módulo de elasticidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.

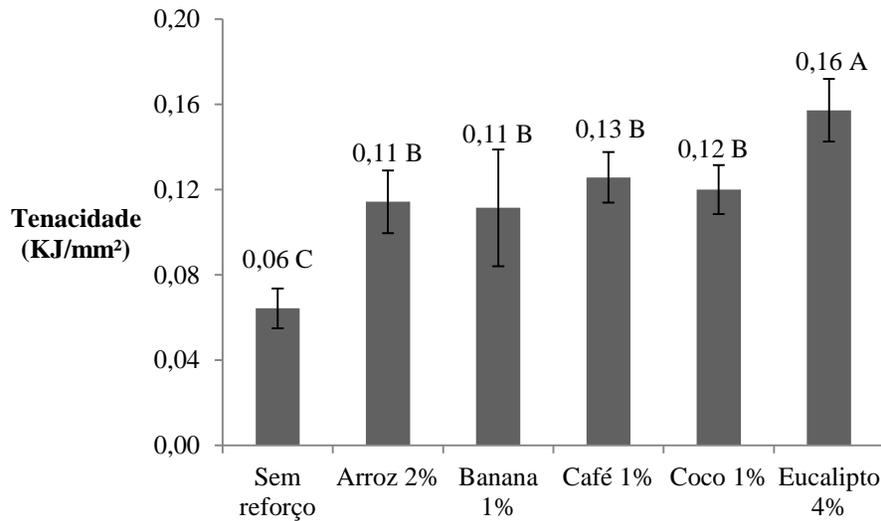


Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

Para a propriedade tenacidade dos compósitos (FIGURA 46) houve diferença significativa entre os tratamentos. Todas as formulações analisadas apresentaram desempenho superior à matriz sem adição de reforço, demonstrando a efetividade da adição de partículas como material de reforço. Teixeira (2010) observam comportamento semelhante com adição de fibras de cana-de-açúcar em fibrocimento. Os fibrocimentos produzidos com partículas de eucalipto obtiveram o maior valor médio de tenacidade, diferenciando-se estatisticamente dos fibrocimentos produzidos com os demais materiais de reforço. Não houve diferenciação estatística entre os demais materiais de reforço avaliados. O melhor desempenho dos fibrocimentos produzidos com partículas de eucalipto se deve a uma maior porcentagem de celulose (TABELA 3), conforme discutido para as propriedades MOR e LOP.

Figura 46 - Tenacidade dos fibrocimentos produzidos com diferentes materiais lignocelulósicos como reforço.



Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Dados da autora (2016)

De acordo com a norma para fibrocimentos sem amianto (ABNT, 2007) todos os tratamentos das melhores porcentagens de substituição foram classificados na categoria 3 da norma de comercialização.

Todos os materiais lignocelulósicos avaliados como reforço no formato de partículas nessa pesquisa, dentro de suas melhores porcentagens de adição, podem ser utilizados em diversas finalidades na construção civil, tais como telhas, placas, forros, divisórias, entre outros (EL-ASHKAR et al., 2002; MOHR; BIERNACKI; KURTIS, 2006), apresentando a princípio viabilidade técnica para utilização em escala industrial. No entanto, observa-se certo destaque para a utilização das partículas de eucalipto para produção de fibrocimento pelo processo de extrusão.

5 CONCLUSÃO

O uso de partículas lignocelulósicas como reforço em matriz cimentícia apresenta comportamento satisfatório quando avaliadas as propriedades físico-mecânicas dos fibrocimentos produzidos por extrusão. Apenas as formulações com 3%, 4% e 5% de adição de partículas de casca de café não atendem às normas de resistência de fibrocimentos, demonstrando a eficiência do processo de extrusão na produção de compósitos com melhor alinhamento de reforço e o bom desempenho de materiais lignocelulósicos *in natura* e formato de partículas como material de reforço.

As melhores porcentagens de substituição de cimento por partículas lignocelulósicas foram de 1% para casca de café, pseudocaule de banana e casca de coco e de 2% para palha de arroz e 4% para o eucalipto.

A quantidade de extrativos demonstrou efeito negativo mais pronunciado sobre as propriedades físicas dos fibrocimentos, enquanto que a quantidade de holocelulose teve efeito direto e positivo sobre as propriedades mecânicas dos fibrocimentos.

De modo geral, é indicado o uso de partículas lignocelulósicas na produção de fibrocimentos por extrusão. Porém, análises quanto à durabilidade destes compósitos ainda devem ser realizadas.

Todas as matérias-primas avaliadas nesse estudo podem ser utilizadas como reforço em fibrocimento produzido por extrusão, com destaque para as partículas de eucalipto.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. et al. Assessment of physical and mechanical properties of cement panel influenced by treated and untreated coconut fiber addition. **Physics Procedia**, Amsterdam, v. 22, p. 263–269, 2011.
- AGOPYAN, V. et al. Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 27, n. 5, p. 527–536, May 2005.
- AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para construção civil nos países em desenvolvimento: uso de fibras vegetais**. 1991. 204 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. Uso de materiais alternativos à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: SEMINÁRIO IBEROAMERICANO DE MATERIALES FIBRORREFORZADOS, 1., 1997, Cali.; REUNIÓN PROYECTO PIP VIII.5 CYTED, 3., 1997, Cali. **Proceedings...** Cali: Universidad del Valle, 1997. p. 23-40.
- AGUIAR, J.; CAMÕES, A.; FANGUEIRO, R. Materiais de construção sustentáveis. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014, Minho. **Anais...** Minho: Universidade do Minho, 2014. p. 263-296.
- AGUNG, E. H. et al. Optimization of the mechanical properties of abaca fibre reinforced high impact polystyrene (hips) composites using box-behnken design of experiments. **Polymers & Polymer Composites**, Amsterdam, v. 19, n. 8, p. 697–709, 2011.
- AKASAKI, J. L.; SILVA, A. P. Estudo de composições do solo estabilizado com cal e resíduos agroindustriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. CD ROM.
- ALDEA, C.; MARIKUNTE, S.; SHAH, S. Extruded fibre reinforced cement pressure pipe. **Advanced Cement Based Materials**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 47–55, Sept. 1998.

ALFANI, R.; GUERRINI, G. L. Rheological test methods for the characterization of extrudable cement-based materials: a review. **Materials and Structures**, London, v. 38, n. 2, p. 239–247, Mar. 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 948-81**: test method for dry and wet bulk density, water absorption, and apparent porosity of thin sections of glass-fiber reinforced concrete. West Conshohocken: ASTM International, 1981. 2 p.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 79, p. 115–128, Mar. 2015.

ARROZ: leilão de vendas do governo pressiona cotação de casca. **Guará Notícias**, Guarapuava, set. 2013. Disponível em: <<http://www.guara-noticias.com.br/noticias/ler/id/16540/arroz-leilao-de-venda-do-governo-pressiona-cotacoes-do-casca>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

ASASUTJARIT, C. et al. Development of coconut coirbased lightweight cement board. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 21, n. 2, p. 277-288, Feb. 2007.

ASHORI, A.; TABARSA, T.; AMOSI, F. Evaluation of using waste timber railway sleepers in wood–cement composite materials. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 27, n. 1, p. 126-129, Feb. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO - ABIMÓVEL. **Panorama do setor moveleiro no Brasil**. São Paulo: Abimóvel, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS E DISTRIBUIDORES DE PRODUTOS DE FIBROCIMENTO – ABIFIBRO. **Produção nacional de fibrocimento amianto**. São Paulo: Abifibro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DA BIOMASSA – ABIB. **Inventário Residual Brasil**. São Paulo: ABIB, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a. 6 p.

_____. **NBR 12800**: telhas de Fibrocimento, tipo pequenas ondas. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 12 p.

_____. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b. 4 p.

_____. **NBR 14853**: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b. 3 p.

_____. **NBR 15498**: placa plana cimentícia sem amianto: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 26 p.

_____. **NBR 5733**: cimento Portland de alta resistência inicial, especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 5 p.

_____. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a. 6 p.

AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de bambusa tuldoides munro. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 2, p. 239-246, 1988.

BALDUINO T. **Apostila de química da madeira**. Santa Catarina: UDESC, 2015. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfG1QAD/apostila-qu-mica-madeira?part=10>> Acesso em: 15 maio 2015.

BARCELOS, A. F. et al. Características fermentativas de silagens de polpa de café com diferentes proporções de casca de café. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 70, n. 3, p. 206–214, 2013.

BARRICHELO, L. E. G. et al. Estudos de procedências de pinus taeda visando aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 1-14, 1977.

BARTHOLO, G. F. et al. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, p. 33-44, 1987.

BEKALO, S. A.; REINHARDT, H. W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures**, London, v. 43, n. 8, p. 1049–60, Oct. 2010.

BENTUR, A.; AKERS, S. A. S. The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment. **International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, Essex, v. 11, n. 2, p. 99-109, May 1989.

BERALDO, A. L.; TOJAL, J. H. V. Termorregulação de equinos em uma cocheira feita com blocos vazados de argamassa de cimento, areia e casca de arroz. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 13, n. 1, p. 21-30, 2002.

BILCAT, G. K. **Produção de painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá (Ananas Erectifolius)**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Guarapuava, 2015.

BINOJ, J. S. et al. Morphological, Physical, mechanical, chemical and thermal characterization of sustainable indian areca fruit husk fibers (areca catechu l.) as potential alternate for hazardous synthetic fibers. **Journal of Bionic Engineering**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 156–165, Jan. 2016.

BLEDZKI, A. K. et al. Polypropylene composites with enzyme modified abaca fibre. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 70, n. 5, p. 854–860, May 2010.

BLEDZKI, A. K.; FARUK, O.; MAMUN, A. A. Influence of compounding processes and fibre length on the mechanical properties of abaca fibre–polypropylene composites. **Polimery**, Kassel, v. 53, n. 2, p. 35–40, Jan. 2008.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Elmsford, v. 24, n. 2, p. 221-274, May 1999.

BLEDZKI, A. K.; JASZKIEWICZ, A.; SCHERZER, D. Mechanical properties of PLA composites with man-made cellulose and abaca fibres. **Composites. Part A. Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 40, n. 4, p. 404–412, Apr. 2009.

BLEDZKI, A. K.; MAMUN, A.; FARUK, O. Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites. **eXPRESS Polymer Letters**, Germany, v. 1, n. 11, p. 755–762, 2007.

BRAND, M. A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Floresta**, Cascavel, v. 32, n. 2, p. 247-259, 2005.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional dos resíduos sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998-2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASILEIRO, G. A. M.; VIEIRA, J. A. R.; BARRETO, L. S. Use of coir pith particles in composites with Potland cement. **Journal of Environmental Management**, London, v. 131, p. 228-238, Dec. 2013.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: Interscience, 1963. 498 p.

BRUNO, T. Saúde do trabalhador no SUS – Amianto. **Núcleo da Saúde do Trabalhador da Coordenadoria de Controle de Doenças**, São Paulo, v. 3, n. 7, p. 4-35, abr. 2007.

BUENO, B. S. **Chapas de partículas multicamadas com resíduos lignocelulósicos e resina PU de mamona**. 2015. 91 p. Dissertação (Mestre em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

CAMPBELL, M. D.; COUTTS, R. S. P. Wood fibre-reinforced cement composites. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 15, n. 8, p. 1962-1970, Aug. 1980.

CARVALHO, W. P.; SUZART, V. P.; FERREIRA, N. Tendências tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes. **Cadernos de Prospecção**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 36-44, 2014.

CHABANNES, M. et al. Use of raw rice husk as natural aggregate in a lightweight insulating concrete: An innovative application. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 70, p. 428–438, Nov. 2014.

CHAFEI, S. et al. Optimizing the formulation of flax fiber-reinforced cement composites. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 54, p. 59-64, Mar. 2014.

CHOI, J.-I. et al. Composite properties of high-strength polyethylene fiber-reinforced cement and cementless composites. **Composite Structures**, Oxford, v. 138, p. 116–121, Mar. 2016.

CHUNG, Y.-C.; BAKALINSKY, A.; PENNER, M. H. Enzymatic saccharification and fermentation of xylose-optimized dilute acid-treated lignocellulosics. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Clifton, v. 121-124, p. 947-961, 2005.

CLARAMUNT, J. et al. The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. **Cement Concrete Composites**, Barking, v. 33, n. 5, p. 586-595, May 2011.

CORREIA, V. C. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber-cement materials. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 72, p. 65–71, Dec. 2014.

COUTTS, R. S. P. A review of Australian research into natural fibre cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 27, n. 5, p. 518-526, May 2005.

COUTTS, R. S. P.; MICHELL, M. A. J. Wood pulp fiber–cement composites. **The Journal of Applied Polymer Science**, Malden, v. 37, n. 9, p. 829–844, May 1983.

COUTTS, R. S. P.; NI, Y. Autoclaved bamboo pulp fiber reinforced cement. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 17, n. 2, p. 99-106, Jan. 1995.

COUTTS, R. S. P.; WARDEN, P. G. Air cured wood pulp fiber cement composites. **Journal of Materials Science**, New York, v. 4, n. 10, p. 117-119, July 1985.

CRONIS, M. D. C. Caracterização de alguns materiais não lenhosos visando a avaliação do seu potencial como matéria-prima na fabricação de pasta celulósica. **O papel**, São Paulo, v. 46, n. 4, p. 29-36, 1985.

DIAS, C. M. R.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; JOHN, V. M. Exploring the potential of functionally graded materials concept for the development of fiber cement. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 24, n. 2, p.140–146, Feb. 2010.

DULTRA, E. J. V. **Adição de subprodutos da cinza da casca de café (*coffea canephora*) em massa cerâmica para porcelanato.** 2013. 135 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

EL-ASHKAR, N. H. et al. Durability of pulp fiber–cement composites to wet/dry cycling. In: ANSON, M.; KO, J. M.; LAM, E. S. S. (Ed.). **Advances in building technology**; proceedings of the international conference on advances in building technology. Oxford: Elsevier, 2002. p. 233–237.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Treinamento aborda fitossanidade da bananeira.** Brasília: Embrapa, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Geração de resíduo de casca de arroz.** Rio de Janeiro: EPE, 2014.

EUSEBIO, D. A. et al. The manufacture of wood fiber reinforced cement composites from eucalyptus pellita and acacia mangium chemithermomechanical pulp. In: PACIFIC RIM BIO-BASED COMPOSITES SYMPOSIUM, 4., 1998. **Proceedings...** Bogor: Bogor Agricultural University, 1998. p. 428-436.

FARRAPO, C. L. **Durabilidade de fibrocimento reforçado com polpa de sisal após 10 anos de envelhecimento natural.** 2015. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FERRAZ, J. M. **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*cocos nucifera* L.) em mistura com cimento Portland.** 2011. 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

FERREIRA, A. A.; SILVEIRA, A. A.; DAL MOLIN, D. C. C. A cinza da casca de arroz: possibilidades de utilização como insumo na produção de materiais de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. p.293-298.

FICHER, V. F. et al. The water-soluble carbohydrates of wood and their influence on the production of lightweight wood–wools boards. **Holztechnologie**, Leipzig, v. 15, n. 1, p. 12–9, 1974.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Banana: pós-colheita**. Brasília: Embrapa-SCT, 2002. 71 p.

FONSECA, C. S. et al. Micro/nanofibrilas celulósicas de *eucalyptus* em fibrocimentos extrudados. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 1, p. 59–68, jan./mar. 2016.

GIRONES, J. et al. Biocomposites from *Musa textilis* and polypropylene: evaluation of flexural properties and impact strength. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 71, n. 2, p. 122–128, Jan. 2011.

GIVI, A. N. et al. Assessment of the effects of rice husk ash particle size on strength, water permeability and workability of binary blended concrete. **Construction & Building Materials**, Guildford, v. 24, n. 11, p. 2145-2150, Nov. 2010.

GOODRICH, T. et al. High-temperature mechanical properties and thermal recovery of balsa Wood. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 56, n. 6, p. 437–443, Dec. 2010.

GRAM, H. E. **Durability of natural fiber in concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1983. 225 p.

GUIMARÃES JÚNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, Ouro Preto, v. 11, n. 7, p. 442-456, dez. 2010.

GUIMARÃES, B. M. R. et al. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 43–49, jan./fev. 2014.

GUIMARÃES, B. M. R. **Tratamento químico de partículas de pseudocaule da bananeira visando à produção de painéis aglomerados**. 2012. 93 p. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

HAMZEH, Y. et al. Study on the effects of white rice husk ash and fibrous materials additions on some properties of fiber–cement composites. **Journal of Environmental Management**, London, v. 117, p. 263–267, Mar. 2013.

HAQUE, M. M. et al. Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with chemically treated coir and abaca fiber. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, Essex, v. 29, p. 2253–2261, Oct. 2010.

IKAI, S. et al. Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene (PP) fibers in air-cured Hatschek process. **Construction & Building Materials**, Guildford, v. 24, n. 2, p. 171-180, Feb. 2010.

INDÚSTRIA BRAISLEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Setor brasileiro de árvores plantadas**. São Paulo: IBÁ, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produto Interno Bruto Nacional**. São Paulo: IBGE, 2010.

_____. **Levantamento sistemático da produção agrícola brasileira**. São Paulo: IBGE, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas**. São Paulo: IPEA, 2012. 134 p.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Cultivar de arroz**. Uruguaiana; IRGA, 2005.

JOHN, M. J.; THOMAS, S. Biofibres and biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 71, n. 3, p. 343–364, Feb. 2008.

JOHN, M. V. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: **WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EP-USP, 1997. p. 21-30.

JOSÉ NETO. Plantar eucalipto dá dinheiro? **Montar um Negócio**, [s.n.], maio 2014 Disponível em: <<https://www.montarumnegocio.com/plantacao-de-eucalipto-da-dinheiro/>>. Acesso em: 14 jun. 2015.

JUÁREZ, C. et al. Performance of Agave lecheguilla natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 3, p. 1151-1157, Mar. 2007.

KALAPRASAD, G. et al. Effect of fibre length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fibre reinforced low density polyethylene composites. **Polymer International**, London, v. 53, n. 11, p. 1624-1638, Nov. 2004.

KHEDARI, J. et al. New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 23, n. 1, p. 65-70, Feb. 2001.

KHEDARI, J.; WATSANASATHAPORN, P.; HIRUNLABH, J. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 27, n. 1, p. 111-116, Jan. 2005.

KUCHIBHATLA, S. V. N. T. et al. One dimensional nanostructured materials. **Progress in Materials Science**, Orlando, v. 52, n. 5, p. 699-913, July 2007.

LATORRACA, J. V. F. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 75-82, jan./dez. 1999.

LEE, Z.; HONG, D. R.; PHILIPS, C. Y. H. Efeito de cimento/rácios de madeira e as condições de armazenamento de madeira na temperatura de hidratação, tempo de hidratação e resistência à compressão de misturas de cimento-madeira. **Fibra de Madeira**, São Paulo, v. 19, p. 262-268, 1987.

LERTWATTANARUK, P.; SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction & Building Materials**, Guildford, v. 94, p. 664-669, Sept. 2015.

MACEDO, T. Minas Gerais proíbe comercialização de produtos com amianto. **Jornal da Manhã**, Uberaba, 2014.

MACVICAR, R.; MATUANA, L. M.; BALATINECZ, J. J. Aging mechanism in cellulose fiber reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 21, n. 3, p. 189-196, 1999.

MARMOL, G. et al. Mechanical and physical performance of low alkalinity cementitious composites reinforced with recycled cellulosic fibres pulp from cement kraft bags. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 49, p. 422-427, Aug. 2013.

MAROZZI, C. R. B. **Caracterização dos resíduos agroindustriais e florestais visando a briquetagem**. 2012. 28 p. Monografia (Título de Engenheiro Florestal Madeireiro) –Universidade Florestal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

MARQUEZ, M. D. **Telhas de fibrocimento: resíduos e novos materiais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011. 28 p.

MAZZOLI, A.; MONOSI, S.; PLESCIA, E. S. Evaluation of the early-age-shrinkage of fiber reinforced concrete (FRC) using image analysis methods. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 101, n. 1, p. 596-601, Dec. 2015.

MENDES, R. Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da política brasileira sobre a questão. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 17-29, jan./fev. 2001.

MENDES, R. F. **Desempenho de fibrocimentos extrudados produzidos com poupas celulósicas modificadas com silanos**. 2014. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Panorama do mercado de Eucalipto. **Florestas Certificadas**, São Paulo, maio 2014. Disponível em: <<http://www.florestascertificadas.org.br/noticias/panorama-do-mercado-do-eucalipto-para-o-produtor-florestal>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

MISHRA, S.; NAIK, J.; PATIL, Y. The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant-fiber-reinforced novolac composites. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 60, n. 9, p. 1729–1735, July 2000.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. **Journal of Polymers and the Environment**, Amsterdam, v. 10, n. 1, p. 19-26, Apr. 2002.

MOHR, B. J.; BIERNACKI, J. J.; KURTIS, K. E. Microstructural and chemical effects of wet/dry cycling on pulp fiber–cement composites. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 36, n. 7, p. 1240-1251, July 2006.

MOHR, B. J.; NANKO, H.; KURTIS, K. E. Durability of kraft pulp fibercement composites to wet/dry cycling. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 27, n. 4, p. 435-448, Apr. 2005.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 114 p.

MORI, F. A. et al. Utilização de eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 342-350, set./dez. 2003.

MOTTA, D.; SILVA, W. F.; DINIZ, E. N. Análise da viabilidade sustentável e econômica numa plantação de eucalipto. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 7., 2010, Resende. **Anais...** Resende: Seget, 2010. p. 1-14.

MOTTA, L. A. C. **Melhoria do desempenho de fibras de coco e sisal para reforço de matrizes cimentícias através de tratamento termomecânico e impregnação de resinas**. 2005. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MOURA A. S. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas e térmicas entre os compósitos de phb (polihidroxibutirato) reforçados com casca de arroz ou fibras de coco**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Materiais da Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

NACIF, G. L. et al. Investigations on cementitious composites based on rubber particle waste additions. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 259-268, mar./abr. 2013.

NAIR, D. G. et al. A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 38, n. 6, p. 861-869, June 2008.

NANKO, H.; ASANO, S.; OHSAWA, J. Shrinkage behavior of pulp fibers during drying. In: TAPPI INTERNATIONAL PAPER PHYSICS CONFERENCE, 1., 1991, Kona. **Proceedings...** Kona: [s. n.], 1991. p. 365-374.

NASCIMENTO, C. M. **Estudo da fibra de coco como reforço em tijolo de solocimento**. 2011. 87 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

NEHER, C. Novo fungo ameaça plantação de bananeira. **Tribuna do Norte**, Natal, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/novo-fungo-ameaca-as-plantacoes-de-banana/279651>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

NEGRO, C. et al. Influence of flocculant molecular weight and anionic charge on flocculation behaviour and on the manufacture of fibre cement composites by the Hatschek process. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 35, n. 11 p. 2095-2103, Nov. 2005.

NOLASCO, A. M.; SOFFNER, M. L. A. P.; NOLASCO, A. C. Physical-mechanical characterization of banana fiber – *Musa cavendishii*, cultivar nanição. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 2., São Carlos, 1998. **Proceedings...** Brasília: Embrapa/SPI, 1998. p. 191-194.

OKINO, E. Y. A. et al. Chapa aglomerada de cimento-madeira de hevea brasiliensis müll. Arg. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 451-457, maio/jun. 2004.

OLIVEIRA, C. T. A. **Água do poro de pastas de cimento de escória**. 2000. 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Plant-based natural fibre reinforced cement composites: a review. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 68, p. 96–108, Apr. 2016.

PARDINI, L. C.; LEVY NETO, F. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 336 p.

PAUL, S. A. et al. Influence of polarity parameters on the mechanical properties of composites from polypropylene fibre and short banana fibre. **Composites. Part A. Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 41, n. 10, p. 1380-1387, Oct. 2010.

PELED, A.; SHAH, S. P. Processing effects in cementitious composites: extrusion and casting. **Journal of Materials in Civil Engineering**, Reston, v. 15, n. 2, p. 192-199, Apr. 2003.

PEREIRA, C. L. et al. Use of highly reactive rice husk ash in the production of cement matrix reinforced with green coconut fiber. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 49, p. 88–96, Aug. 2013.

PEREIRA, C. L. **Use of green coconut residue for composites production for rural construction**. 2012. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PERERIRA, S. P. O que fazer com tanta casca de café? **Peabirus**, [s.n.], 2010. Disponível em: <http://www.redepeabirus.com.br/redes/form/post?topico_id=27182>. Acesso em: 12 maio 2015.

PESSÔA, C. C.; SCHUCH, I.; SOUZA, M. **Agricultura urbana como estratégia de alívio da pobreza e de segurança alimentar e nutricional das famílias: estudo no município de Santa Maria – RS**. Santa Maria: UFRS, 2009. 19 p. Trabalho Apresentado.

PIZZOL, V. D. **Carbonatação acelerada: nova tecnologia de cura para fibrocimento sem amianto**. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PRATTI, R. L. **Formação de povoamentos florestais com utilização de mudas clonais**. 2010. 34 p. Monografia (Pós-Graduação em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

QIAN, X. et al. Fibre alignment and property direction dependency of FRC extrudate. **Cement and Concrete Research**, Amsterdam, v. 33, n. 10, p. 1575-1581, Oct. 2003.

QUEIROGA, N. C. M. et al. Amianto. In: LUZ, A. B. da; LINS, F. F. **Rochas e minerais industriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. p. 85-106.

QUIROGA, A.; MARZOCCHI, V.; RINTOUL, I. Influence of wood treatments on mechanical properties of wood-cement composites and of Populus Euroamericana wood fibers. **Composites Part B: engineering**, Surrey, v. 84, p. 25–32, Jan. 2015.

RAHMAN, M. R. et al. Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with chemically treated abaca. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, Kidlington, v. 40, n. 4, p. 511–517, Apr. 2009.

RAMBO, M. K. D. **Aproveitamento da casca de arroz para produção de xilitol e sílica xerogel**. 2009. 117 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

RASHWAN, M. S.; HATZINIKOLAS, M.; ZMAVC, R. Development of a lightweight, low-cost concrete block using wood residue. **Forest Products Journal**, Amsterdam, v. 42, n. 5, p. 57-64, 1992.

REZENDE, M. A. de. Retratibilidade da madeira de pinus caribaea var. hondurensis e eucalyptus saligna e suas relações com a umidade e a densidade. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 120-127, dez. 2003.

REZENDE, M. A. de.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do pinus caribaea var. hondurensis aos 8 anos de idade. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p.133-141, jun./dez. 1995.

RHEE, I. et al. Compressive strength sensitivity of cement mortar using rice husk-derived graphene with a high specific surface area. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 96, p. 189–197, Oct. 2015.

RICHTER, S.; STROMANN, K.; MÜSSIG, J. Abacá (*Musa Textilis*) grades and their properties, a study of reproducible fibre characterization and a critical evaluation of existing grading systems. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 42, p. 601–612, Mar. 2013.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, jun. 2004.

RODRIGUES, L. R. **Secagem por atomização e caracterização química de extratos de folhas de café**. 2011. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ROMA JUNIOR, L. C.; MARTELLO, L. S.; SAVASTANO JUNIOR, H. Evaluation of mechanical, physical and thermal performance of cement-based tiles reinforced with vegetable fibres. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 22, n. 4, p. 668-674, Apr. 2008.

ROY, A. et al. Improvement in mechanical properties of jute fibres through mild alkali treatment as demonstrated by utilization of the Weibull distribution model. **Bioresource Technology**, Essex, n. 107, p. 222-228, Mar. 2012.

SAENGER, M. et al. Combustion of coffee husks. **Renewable Energy**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 103-121, May 2001.

SANADI, A. R. "Natural fiber-thermoplastic composites: a review". In: In: LEÃO, A. L.; CARVALHO, F. X.; FROLLINI, E. (Ed.). **Natural polymers and composites IV**. São Carlos: [s.n.], 2002. p. 409-415.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, S. F. et al. Supercritical carbonation treatment on extruded fibre-cement reinforced with vegetable fibres. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 56, p. 84-94, Feb. 2015.

SATO, Y. J. M. et al. Prospective study on vegetable wastes as reinforcement in extruded fibre-cement. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES: ECOLOGICAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTIONS, 2007, Maceió. **Proceedings...** Maceió: IAC, 2007.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Transition zone studies of vegetable fibre-cement paste composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 21, n. 1, p. 49-57, 1999.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Sistemas de cobertura para construções de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais. In: ROCHA, J. C.; JOHN, V. M. **Utilização de resíduos na construção habitacional**. São Paulo: Coletânea Habitar ANTAC, 2002. p. 94-123.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Fibras de coco em argamassas de cimento Portland para produção de componentes de construção civil**. 1987. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibres as reinforcement for cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 22, n. 5, p. 379–384, Oct. 2000.

SAVASTANO, H.; SANTOS, S. F.; AGOPYAN, V. **Sustainability of construction materials**. Amsterdam: Elsevier, 2009. 742 p.

SAWYER, L. C.; GRUBB, D. T.; SIMATUPANG, M. H. Abbaureaktionen von, celobiose holz und unter dem einfluss von portlandzementmörtel. **Holzforschung**, Berlin, v. 40, n. 3, p. 149-155, Jan. 1986.

SAWSEN, C. et al. Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 79, p. 229-235, Mar. 2015.

SELLAMI, A.; MERZOU, M.; AMZIANE, S. Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 47, n. 11, p. 17-24, Oct. 2013.

SENHORAS, E. M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco**: transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-eficientes. 2003. 48 p. Monografia (Graduação em Economia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SHAO, Y.; MARIKUNTE, S.; SHAH, S. P. Extruded fiber-reinforced composites. **Concrete International: design and construction**, Detroit, v. 17, n. 4, p. 48-52, 1995.

SHAO, Y.; SHAH, S. P. Mechanical properties of PVA fibre reinforced cement composites fabricated by extrusion processing. **ACI Materials Journal**, Detroit, v. 94, n. 6, p. 555-564, Jan. 1997.

SHEN, B. **Experimental approaches for determining rheological properties of cement-based extrudates**. 2003. 125 p. Thesis (Degree of Master Philosophy) - Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 2003.

SILVA, A. C.; JOHN, W. M. **Compósitos reforçados com fibras de celulose (CRFC): aspectos relativos à durabilidade.** São Paulo: EPUSP, 2003. 14 p.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** 3. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2002. 235 p.

SILVA, D. W. **Propriedades físico-mecânicas de fibrocimento reforçado com fibras de eucalipto tratadas termicamente.** 2015. 66 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SILVA, J. de C. et al. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de eucalyptus grandis Hill ex. Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

SILVA, J. P. **Caracterização da casca de café (coffea arábica, L) in natura, e de seus produtos obtidos pelo processo de pirólise em reator mecanicamente agitado.** 2012. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SILVA, R. et al. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 661-671, 2009.

TAKASHIMA, H. et al. A design approach for the mechanical properties of polypropylene discontinuous fibre reinforced cementitious composites by extrusion molding. **Engineering Fracture Mechanics**, Ithaca, v. 70, n. 7/8, p. 853-870, May 2003.

TEIXEIRA, R. S. et al. Extruded cement based composites reinforced with sugar cane bagasse fibres. **Engineering Materials**, London, v. 517, p. 450-457, June 2012.

TEIXEIRA, R. S. **Utilização de resíduos sucro-alcóoleiro na fabricação de fibrocimento pelo processo de extrusão.** 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TOLÊDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 22, n. 2, p. 127-143, Apr. 2000.

TOLÊDO FILHO, R. D.; SANJUÁN, M. A. Effect of low modulus sisal and polypropylene fibres on the free and restrained shrinkage of mortars at early age. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 29, n. 10, p. 1597-1604, Oct. 1999.

TOLMASQUIM, M. T. **Inventário energético de resíduos rurais**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2014. 46 p.

TONG, Y. et al. Improving cracking and drying shrinkage properties of cement mortar by adding chemically treated luffa fibres. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 71, p. 327-333, Nov. 2014.

TONOLI, G. H. D. et al. Cellulose modified fibers in cement based composites. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, Kidlington, v. 40, n. 12, p. 2046-2053, 2009.

_____. Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with lignocellulosic fibre. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 24, n. 2, p. 193-201, Feb. 2010.

_____. Performance and durability of cement based composites reinforced with refined sisal pulp. **Materials and Manufacturing Processes**, Berlin, v. 22, n. 2, p. 149-156, Feb. 2007.

_____. Isocyanate-treated cellulose pulp and its effect on the alkali resistance and performance of fiber cement composites. **Holzforschung**, Berlin, v. 67, n. 8, p. 853-861, Dec. 2013a.

_____. Processing and dimensional changes of cement based composites reinforced with surface-treated cellulose fibres. **Cement Concrete and Composites**, Barking, v. 37, p. 68-75, Mar. 2013b.

TONOLI, G. H. D. **Fibras curtas de Eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. 2009. 148 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

TORKAMAN, J.; ASHORI, A.; MOMTAZI, A. S. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 50, p. 432-436, 2014.

VALE, A. T. do; DANTAS, V. F. de S.; ZAMBRZYCKI, G. C. Potencial energético dos resíduos da cultura do milho (*Zea mays*). **Evidência**, Joaçaba, v. 13, n. 2, p. 153-164, jul./dez. 2013.

VALENÇA, A. C.; ATTOS, R. L. G. **A década de 90**: mercado de celulose. Rio de Janeiro: BNDES, 2001.

VENTURIM, J. B. **Gestão de resíduos orgânicos produzidos no meio rural: o caso do beneficiamento do café**. 2002. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

VILASECA, F. et al. Biocomposites from abaca strands and polypropylene. Part I: evaluation of the tensile properties. **Bioresource Technology**, Barking, v. 10, n. 1, p. 387–395, Jan. 2010.

WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 73, p. 1–16, July 2015.

WEI, J.; MEYER, C. Utilization of rice husk ash in green natural fiber-reinforced cement composites: mitigating degradation of sisal fiber. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 81, p. 94–111, Mar. 2016.

WINKLER, J. High levels of dioxin-like PCBs found in organic-farmed eggs caused by coating materials of asbestos-cement fiber plates: a case study. **Environment International**, Oxford, v. 80, n. 3, p. 72-78, July 2015.

WOICIECHOWSKI, A. L. et al. Produção de goma xantana a partir de resíduos da agroindústria do café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa Café, 2000. p. 677-680.

XIE, X. et al. Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. **Composites Part B: engineering**, Surrey, v. 78, p. 153-161, Sept. 2015.

ZHOU, X.; LI, Z. Light-weight wood magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion. **Construction and Building Materials**, Guilford, v. 27, n. 1, p. 382-389, Feb. 2012.

ZHU, W. H.; COUTTS, R. S. P. Air-cured banana-fibre-reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 16, n. 1, p. 3-8, 1994.

ZHU, W. H. et al. Air-cured banana-fibre-reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 16, n. 1, p. 3-8, Jan. 1994.