



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE LAVRAS

**EFEITO DA POZOLANICIDADE DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS SOBRE QUALIDADE DE
FIBROCIMENTOS EXTRUDADOS**

MATEUS ALEXANDRE DA SILVA

**LAVRAS-MG
2019**

MATEUS ALEXANDRE DA SILVA

**EFEITO DA POZOLANICIDADE DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS SOBRE QUALIDADE DE
FIBROCIMENTOS EXTRUDADOS**

Monografia apresentada ao
Centro Universitário de Lavras,
como parte das exigências do
curso de graduação em
Engenharia Civil.

ORIENTADOR

Prof. Me. Alan Pereira Vilela

**LAVRAS-MG
2019**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Processamento
Técnico da Biblioteca Central do Unilavras

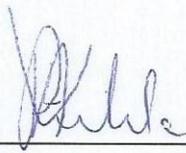
S586e Silva, Mateus Alexandre da.
Efeito da pozolanicidade de materiais
lignocelulósicos sobre qualidade de fibrocimentos
extrudados / Mateus Alexandre da Silva; orientação
de Alan Pereira Vilela. – Lavras Unilavras, 2019.
30 f. : il.

Monografia apresentada ao Unilavras como
parte das exigências do curso de graduação em
Engenharia Civil.

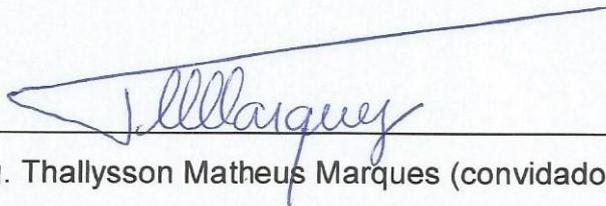
1. Pozolanicidade. 2. Lignocelulósicos. 3.
Fibrocimentos.
4. Extrudados. I. Vilela, Alan Pereira (Orient.). II. Título.

Centro Universitário de Lavras - UNILAVRAS

Monografia intitulada “**Efeito da pozolanicidade de materiais lignocelulósicos sobre qualidade de fibrocimentos extrudados**”, de autoria do graduando **Mateus Alexandre da Silva**, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes profissionais:



Prof. Me. Alan Pereira Vilela – UNILAVRAS (orientador)



Eng. Thallysson Matheus Marques (convidado)



Profª. Esp. Gabriela Bastos Pereira – UNILAVRAS (presidente da banca)

Aprovada em 9 de maio de 2019

A Deus por me iluminar durante a graduação e pela oportunidade de concluí-la. Aos meus pais por todo crédito, apoio e palavra amiga que me foi concedido. Aos meus familiares e amigos por estarem ao meu lado, me apoiando e proporcionando momentos únicos durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por se fazer presente em cada instante desta graduação. Obrigado por ser meu caminho nos momentos de incertezas e por ser meu refúgio nos momentos difíceis. A ti senhor, dedico esta vitória, confiando que continuará a conduzir meus passos em direção a tua vontade.

Aos meus pais Gilda e Leonildo pelo amor incondicional, por todo auxílio e sacrifícios feitos para que este sonho se realizasse. A eles o meu amor e gratidão.

Aos meus familiares e amigos que estiveram ao meu lado durante esta jornada, pela compreensão, apoio e carinho.

Ao Me. Alan Pereira Vilela, pela orientação, amizade, paciência e conhecimento compartilhado, essenciais para conclusão desta pesquisa.

Ao Dr. Rafael Farinassi Mendes, por disponibilizar os meios para o desenvolvimento desta pesquisa e orientação que foi de extrema importância para a conclusão da mesma.

Ao Me. Tony Matheus Carvalho Eugênio por compartilhar sua amizade, conhecimento e auxiliar na pesquisa.

Ao Eng. Thallysson Matheus Marques, por aceitar o convite para participar da banca.

À Esp. Gabriela Bastos Pereira, por todas instruções e assessoria.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais por custear esta pesquisa.

RESUMO

Atualmente as cinzas se destacam dentre os resíduos dos processos agroindustriais, resultantes da geração de energia. Sabe-se que muitas dessas cinzas possuem reatividade pozolânica, podendo ser utilizadas como adição mineral em matrizes de cimento *Portland*, porém não há relatos sobre a influência das diferentes granulometrias dessas cinzas. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas proporcionadas pela utilização de diferentes tipos de granulometrias da cinza do bagaço de cana (CBC) e da cinza de bambu (CBB) em substituição parcial do cimento *Portland* utilizado na produção de fibrocimento e determinar a granulometria ideal da cinza, para produção de fibrocimento extrudado. O estudo foi conduzido em parceria com a Unidade Experimental em Painéis de Madeira (UEPAM) no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O delineamento experimental foi composto por dois intervalos granulométricos das cinzas do bagaço de cana (CBC) e das cinzas do bambu (CBB) sendo estes entre 140 mesh e 200 mesh e abaixo de 200 mesh, em substituição ao cimento *Portland* CPV-ARI em 2%. Outros materiais foram utilizados na produção do fibrocimento como, cal agrícola, polpa celulósica, poliéster carboxílico (ADVA) e hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) na proporção de 30%, 5%, 1%, 1% respectivamente. Os corpos de prova foram produzidos pelo processo de extrusão, durante 28 dias passaram pelo processo de cura e posteriormente foram realizados testes físicos e mecânicos. A adição de cinzas se mostrou benéfica aos tratamentos e de forma geral os tratamentos com adição de cinza não se diferenciaram estatisticamente do tratamento controle. O tratamento utilizando cinza do bagaço de cana com granulometria inferior a 200 mesh apresentou maior densidade aparente e se mostrou mais resistente, sendo necessário a aplicação de uma maior quantidade de energia para leva-lo a ruptura, sendo assim o melhor desempenho dentre os tratamentos. O tratamento utilizando cinza do bambu com granulometria inferior a 200 mesh apresentou maior índice percentual de porosidade, conseqüentemente, absorvendo maior quantidade de água, tornando sua aplicação menos vantajosa.

Palavras-chave: Propriedades físico-mecânicas, cinza do bagaço de cana, cinza do bambu, granulometrias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Telha de fibrocimento.....	15
Figura 2 - Esquema da extrusão a vácuo.....	16
Figura 3 - Pesagem das cinzas peneiradas	23
Figura 4 - Materiais utilizados na produção dos compósitos.....	24
Figura 5 - Homogenização dos materiais.....	25
Figura 6 - Extrusão dos compósitos	25
Figura 7 - Placas armazenadas em temperatura ambiente.....	26
Figura 8 - Corpos-de-prova imersos.....	27
Figura 9 - Corpos-de-prova em processo de secagem	28
Figura 10 - Pesagem dos corpos-de-prova	28
Figura 11 - Testes mecânicos	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades físicas dos tratamentos	32
Tabela 2 - Desdobramento: Porosidade aparente.....	33
Tabela 3 - Desdobramento: Absorção de água.....	33
Tabela 4 - Desdobramento: Densidade aparente.....	34
Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos tratamentos	35
Tabela 6 - Desdobramento: Tenacidade	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exigências químicas	17
Quadro 2 - Composições químicas das cinzas do bagaço-de-cana e do bambu em termos de óxidos	20
Quadro 3 - Delineamento experimental	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação brasileira de normas técnicas;	XIX: Dezenove;
ADVA: Aditivo poliéter carboxílico;	%: Por cento;
Al ₂ O ₃ : Óxido de alumínio;	µm : Micrômetro;
CaO: Cal;	>: Maior;
CBB: Cinza do bambu;	α: Significância;
CBC: Cinza do bagaço de cana;	Δ: Desvio padrão.
CPV-ARI: Cimento <i>Portland V</i> – Alta resistência inicial;	
Fe ₂ O ₃ : Óxido de ferro;	
HPMC: Hidroxipropilmetelcelulose;	
K ₂ O: Óxido de potássio;	
kJ.m ⁻² : Kilo Joule por metro quadrado;	
kN: Kilo Newton;	
NBR: Norma brasileira;	
LOP: Limite de proporcionalidade;	
Max: Máximo;	
MgO: Óxido de magnésio;	
Mín: Mínimo;	
mm: Milímetro;	
MnO: Óxido de manganês;	
mod: Modelo;	
MOE: Módulo elástico;	
MOR: Módulo de ruptura;	
Na ₂ O: Óxido de sódio;	
P ₂ O ₅ : Pentóxido de fósforo	
rpm: Rotações por minuto;	
SiO ₂ : Dióxido de silício;	
SO ₃ : Óxido sulfúrico;	
TiO ₂ : Óxido de titânio;	
UR: Umidade relativa;	

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Problema a ser abordado	13
2.2 Fibrocimento	14
2.3 Processo de extrusão.....	15
2.4 Propriedades pozolânicas dos materiais	16
2.5 Cinza do bagaço de cana e do bambu	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Delineamento experimental.....	21
3.2 Obtenção das cinzas.....	22
3.3 Caracterização das cinzas	22
3.4 Produção dos compósitos cimentícios.....	23
3.5 Propriedades físicas dos compósitos	26
3.6 Propriedades mecânicas dos compósitos	29
3.7 Análise estatística	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1 Propriedades físicas.....	32
4.2 Propriedades mecânicas.....	34
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

Fibrocimento é um material que tem como base um material aglomerante (cimento), adições minerais, e fibras distribuídas por todo o material como intuito de melhorar suas propriedades mecânicas (SPIRANDELLI, 2011).

A fabricação de produtos de fibrocimento em escala industrial é principalmente realizada pelo processo Hatscheck, porém, devido a resultados satisfatórios o processo de extrusão vem ocupando espaço na produção. A extrusão é um processo de conformação em contínuo que consiste em forçar a passagem de uma mistura altamente viscosa através de uma boquilha (SOTO, 2010). Segundo Teixeira (2010), o processo de extrusão é considerado uma alternativa econômica na produção de elementos construtivos com características físico-mecânicas semelhantes ou ainda melhores que oriundos do processo Hatscheck.

Atualmente, a preservação ambiental é uma preocupação mundial. Os recursos naturais já pareceram infinitos para a sociedade e a natureza era capaz de absorver quantidades ilimitadas de resíduos. Porém, começaram a surgir consequências das alterações do meio ambiente sobre o homem, mostrando a importância da regulamentação ambiental, visando o desenvolvimento sustentável (CASTRO,2012). Segundo Teixeira (2010), milhares de toneladas de resíduos industriais e agrícolas gerados no processo de transformação de matérias-primas de diferentes segmentos são produzidas anualmente, sendo que atualmente a maioria destes materiais não possui aplicação específica e gera problemas de contaminação do meio ambiente devido a sua deposição desordenada.

O setor da construção civil é reconhecido como um dos mais importantes para o desenvolvimento econômico e social. Mas, por outro lado, é responsável por gerar grandes impactos ambientais (CASTRO, 2012). Tendo em vista a grande demanda por materiais, uma maneira de amenizar o impacto ambiental seria a utilização de resíduos em suas produções, como por exemplo, produção de argamassas, blocos, fibrocimento, painéis e concreto.

O emprego de materiais com propriedades pozolânicas, como por exemplo

as cinzas de determinados tipos de materiais, na produção de concretos e argamassas não é assunto recente. A utilização de pozolanas em matrizes cimentícias têm apresentado inúmeros benefícios às suas propriedades, tanto em relação à reologia no estado fresco quanto ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido (NETTO, 2006). Desta forma, a utilização de resíduos adequados em uma matriz cimentícia pode contribuir para que a indústria de materiais cimentícios se torne mais sustentável (DWIVEDI et al., 2006 apud RODRIGUES et. al., 2013).

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar a influência de granulometrias distintas de cinzas com propriedades pozolânicas em substituição parcial do cimento *Portland* utilizado na produção de fibrocimentos extrudados. Os objetivos específicos foram a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e do bambu em substituição ao cimento *Portland* na produção de fibrocimentos extrudados avaliando a influência de sua adição nas propriedades físico-mecânicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Problema a ser abordado

Nos países desenvolvidos existe uma tendência muito forte de regulamentar a questão da deposição dos resíduos no meio ambiente. As atividades da engenharia civil são grandes consumidoras de materiais de construção e, conseqüentemente, potenciais fontes de emprego de resíduos (TEIXEIRA, 2010). Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (ZORDAN; et. al., 2001). Ainda segundo Zordan et. al., (2001), com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional, aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo considerando se volume e massa acumulados, principalmente após 1980.

A reciclagem pode contribuir bastante com a diminuição das áreas destinadas à deposição de resíduos e dos custos que isto acarreta. A incorporação de resíduos na produção de materiais pode reduzir o consumo de energia para a produção do mesmo produto sem resíduos e, dependendo de onde esteja localizado o resíduo e seu mercado consumidor potencial, reduzir distâncias de transporte e contribuir para a redução de poluição gerada (TEIXEIRA, 2010), diminuindo também o custo de produção, conseqüentemente o preço final do produto. Na verdade, sabe-se que ações isoladas não irão solucionar os problemas advindos por estes resíduos e que a indústria deve tentar fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000 apud MARQUES, 2013).

Sendo assim, novos materiais tais como, cinzas de casca de arroz e da cana de açúcar, matérias-primas muitas vezes descartadas na agricultura, vem sendo utilizados como substituto parcial do cimento *Portland*, como adição

mineral em concretos e na fabricação de outros tipos de materiais de construção (AGOPYAN, 1991; FERREIRA; SILVEIRA; DAL MOLIN, 1997; HERNÁNDEZ et al., 1998; TEIXEIRA, 2010 apud DOURADO,2015). Segundo Teixeira (2010), grande parte dessas cinzas apresenta características pozolânicas, ou seja mesmo sem ter, isoladamente valor aglomerante, reagem, quando finalmente moídas em presença de água, com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 para formar compostos aglomerantes.

Com a utilização dos resíduos agroindustriais na produção de componentes para a construção civil como blocos, tijolo e fibrocimento, além de favorecer para a diminuição do impacto ambiental, será possível investigar novas soluções para esses materiais, podendo se tornar viável para a produção de elementos de construção alternativos, transformando os resíduos em fonte de renda, diminuindo os custos de produção do material, além de melhorar seu desempenho.

2.2 Fibrocimento

Fibrocimento é um material à base de cimento, com adições minerais, sem agregados e com fibras de reforço distribuídas discretamente pela matriz (SPIRANDELLI, 2011). Um dos principais motivos que deu início ao desenvolvimento do material foi devido à necessidade de reduzir a fissuração dos materiais cimentícios, já que a matriz à base de cimento apresenta comportamento frágil e quebradiço, podendo ser utilizado fibras naturais ou sintéticas (FONSECA, 2016). A figura 1 mostra uma telha de fibrocimento.

Figura 1 - Telha de fibrocimento



Fonte: Precon (2017).

Segundo Dourado (2015), a origem da produção de fibrocimento foi criada por Ludwig Hatschek, no final do século XIX, que se baseou no processo de produção de papel. Os produtos fabricados com fibrocimento podem ser encontrados em caixas d'água e materiais de construção não estruturais, geralmente de pequenas espessuras como telhas, forros e divisórias (ROMA; MARTELLO; SAVASTANO JÚNIOR, 2008 apud FONSECA, 2016).

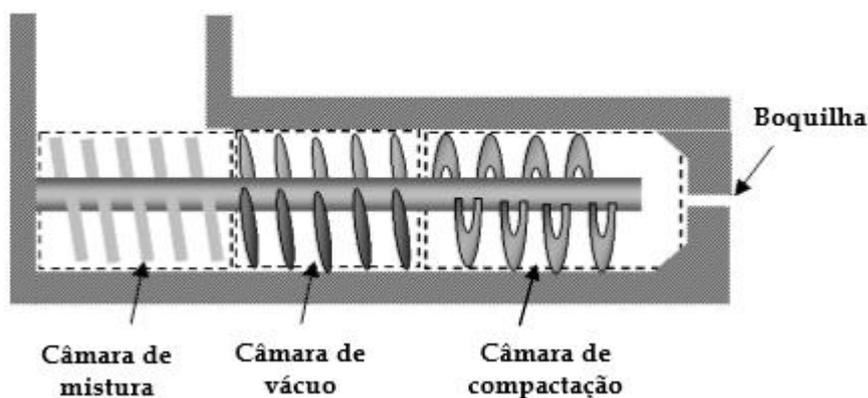
2.3 Processo de extrusão

Segundo Teixeira (2010), quase 85% dos produtos de fibrocimento comercializados no mundo são produzidos pelo processo de Hatschek, o processo mais empregado na produção de fibrocimento. Uma alternativa para a produção de fibrocimento que vêm sendo muito estudado é o processo de extrusão, as pesquisas apontam este método como uma alternativa econômica na produção de fibrocimento que pode produzir elementos construtivos com características mecânicas e físicas iguais ou superiores aos provenientes do processo Hatschek (SHAO et al., 2000; SHAO; MARIKUNTE; SHAH, 1995; TAKASHIMA et al., 2003; apud SILVA, 2015).

A extrusão consiste em comprimir um material com comportamento pseudoplástico, através de uma abertura obtendo-se o fluxo desse material e atingindo uma configuração geométrica conferida pela geometria da boquilha.

Nesse processo, o material é submetido a altas tensões tangenciais e normais (SOTO, 2010). As partes componentes de uma extrusora de vácuo são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Esquema da extrusão a vácuo



Fonte: Soto (2010)

O processo de extrusão é uma tecnologia utilizada recentemente na elaboração de fibrocimento e, uma de suas características principais é a necessidade de utilizar relações água/cimento (a/c) baixas, entre 0,2 a 0,3, assim como também utilizar misturas que apresentam comportamento reológico pseudoplástico. O mesmo permite uma ampla variedade de secções transversais ou formas de elementos construtivos (BURBIDGE; BRIDGWATER, 1995; SHAO; MARIKUNTE; SHAH, 1995; apud DOURADO, 2015).

2.4 Propriedades pozolânicas dos materiais

O meio rural, além das atividades agropecuárias e florestais, abriga também atividades industriais como produção de açúcar e álcool, mineração, transformação, abate de animais, entre outras, que geram grandes quantidades de resíduos poluentes, quase sempre danosos ao meio ambiente. Grande parte desses resíduos pode ser reciclada, reutilizada, transformada e incorporada, de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por tecnologia mais simples, eficiente e econômica de construção (SOUZA, et. al,

2009).

Segundo Netto (2006), a utilização de pozolanas para a produção de concretos e argamassas não é assunto recente. A partir de uma breve análise histórica, a respeito da evolução da construção, observa-se que, sob certos aspectos, o uso desses materiais é cíclico, vindo desde os povos gregos e romanos. A utilização de pozolanas em materiais cimentícios está se tornando cada vez mais frequente, devido à necessidade de produtos mais sustentáveis, mais duráveis e de melhor desempenho físico-mecânico (FILOMENO, et. al. 2012).

Segundo Netto (2006), pozolana é um material natural ou artificial que contém sílica em forma reativa. Numa definição mais formal segundo a NBR 12653 (ABNT, 1992), a exemplo da definição dada pela American Society for Testing and Materials (ASTM), em sua norma C 125-03, pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si sós, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença da água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes. Para que um material seja considerado pozolanico deve estar de acordo com a quadro 1.

Quadro 1 - Exigências químicas

Propriedades			
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ ,	%mín.	50	
SO ₃	%máx.	5,0	
Perda ao fogo (PF),	%máx.	6,0	

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 1992)

A ação química e física das pozolanas de alta reatividade produz, normalmente, a melhoria da resistência à compressão e a durabilidade do concreto devido, principalmente, ao processo de refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta de cimento hidratada (CARMO e PORTELLA, 2008). O benefício em se utilizar tais produtos centra-se no aspecto tecnológico, observando que todas as propriedades do concreto convencional sejam, no

mínimo, mantidas ou melhoradas (CARMO e PORTELLA, 2008).

Em estudos desenvolvidos com o uso de pozolanas a fim de se reduzir a alcalinidade da matriz, pôde-se observar grandes melhorias obtidas com a utilização de cimento com elevado teor de alumina e de pozolanas naturais; a substituição de 45% de cimento por sílica ativa manteve a tenacidade do compósito. No entanto, com a substituição parcial do cimento Portland por cinza volante ou escória, nenhuma melhoria significativa foi obtida (FILHO et al., 2003 apud RODRIGUES et al., 2013). Pádua (2012), comprovou em sua pesquisa que uso de cinzas em substituição de parte do cimento é interessante do ponto de vista de propriedades mecânicas.

Netto (2006) diz que, a substituição parcial do cimento *Portland* por pozolana implica na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento. Isto aumenta o período de exploração das jazidas de calcário e argila e, conseqüentemente, o período de produção da fábrica de cimento. Além disso, há um aumento da capacidade de produção sem necessidade de novos investimentos.

Segundo Carmo e Portella (2008), além dos aspectos ambientais, a adição de pozolanas em concreto tende refletir uma série de outros benefícios, tais como:

- i) tecnológicos, pelo aumento da trabalhabilidade resultante, redução do consumo de água para o mesmo valor de abatimento, ampliação da durabilidade da estrutura ou melhoria das propriedades mecânicas;
- ii) econômicos, pela diminuição do consumo do aglomerante hidráulico por ser um dos insumos de mais alto custo em uma obra; e,
- iii) ecológicos, uma vez que grande parte das pozolanas provém de resíduos de processos industriais e cujo destino é o aterro sanitário.

2.5 Cinza do bagaço de cana e do bambu

O bagaço de cana que é gerado nas indústrias sucroalcooleira em sua maioria é queimado em caldeiras, através de um sistema denominado cogeração. Este processo consiste na produção de vapor que será fornecido às turbinas de acionamento mecânico, como bombas, moendas, desfibriladores e, também, para os geradores de energia elétrica; e a demanda no processamento do caldo é suprida pelo vapor que sai das turbinas, denominado vapor de escape (FIOMARI, 2004 apud MACEDO 2009).

A calcinação do bagaço nas caldeiras resulta em uma cinza pesada e uma cinza volante, que embora não sejam liberadas diretamente no ar podem poluir o ambiente quando descartadas de forma imprópria após a limpeza das caldeiras da usina (BORLINI et al., 2006). O mesmo acontece com as cinzas do bambu, porém, muitas das vezes sua utilização como combustível, não é feita por indústrias e o controle de sua deposição não é feito, descartando-as no meio ambiente.

Sendo assim, novos materiais tais como, cinzas de casca de arroz e da cana de açúcar, matérias-primas muitas vezes descartadas na agricultura, vem sendo utilizados como substituto parcial do cimento, como adição mineral em concretos e na fabricação de outros tipos de materiais de construção (AGOPYAN, 1991; FERREIRA; SILVEIRA; DAL MOLIN, 1997; HERNÁNDEZ et al., 1998; TEIXEIRA, 2010 apud DOURADO, 2015). Segundo ainda Dourado 2015, estas cinzas podem ser acrescentadas no fibrocimento, tanto como aditivas, como materiais reforçantes devido às suas propriedades pozolânicas.

Além de melhorar as propriedades do fibrocimento, as cinzas do bagaço de cana e do bambu sendo utilizadas como adição em matrizes cimentícias, contribuirá para a preservação do meio ambiente.

A fim de comprovar a pozolanicidade das cinzas do bagaço-de-cana e do bambu, o quadro 2, segundo Cordeiro et. al. (2008) & Moreira (2012) apresenta a composição química, em termos de óxidos das cinzas supracitadas.

Quadro 2 - Composições químicas das cinzas do bagaço-de-cana e do bambu em termos de óxidos

Óxidos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perda ao fogo
Composição CBC (%)	60,96	0,09	0,09	5,97	8,65	9,02	0,70	0,48	-	8,34	5,70
Composição CBB (%)	61,70	2,10	2,00	6,34	3,44	16,05	0,73	0,40	0,15	4,94	1,97

Fonte: Cordeiro et. al. (2008) & Moreira (2012).

As cinzas atendem ao preconizado pela norma NBR 12653 (ABNT, 1992) segundo a qual, para um material ser considerado pozolânico, a somatória dos óxidos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ deve ser de, no mínimo, 50%, e os teores de SO₃ e de perda ao fogo devem ser de, no máximo, 5 e 6%, respectivamente. Ainda segundo esta norma, o teor máximo de álcalis disponíveis em Na₂O deve ser de 1,5%, pois na presença desses álcalis em uma pozolana pode causar problemas decorrentes da reação álcali-agregado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi de caráter experimental e desenvolvida em parceria com a Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM) no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3.1 Delineamento experimental

A pesquisa contou com 5 tratamentos distintos, sendo: um tratamento controle que atuou como parâmetro de comparação, dois tratamentos utilizando cinza do bagaço-de-cana e dois tratamentos utilizando cinza do bambu. Os tratamentos de utilizando cinza de mesmo material se diferiram quanto a granulometria, assunto que será abordado no item 3.3. Para cada tratamento foram produzidos 15 corpos-de-prova, medindo 28mm x 18mm x 200mm (largura, espessura e comprimento, respectivamente). A formulação empregada na produção dos compósitos é apresentada no quadro 3.

Quadro 3 - Delineamento experimental

Tratamento	Cimento	Cinza do bagaço-de-cana	Cinza do bambu	Calcário	HMPC	ADVA
Controle	65%	-	-	33%	1%	1%
CBC-1	63%	2%	-	33%	1%	1%
CBC-2	63%	2%	-	33%	1%	1%
CBB-1	63%	-	2%	33%	1%	1%
CBB-2	63%	-	2%	33%	1%	1%

Fonte: Acervo próprio (2017)

Onde:

Tratamentos: Corpos de prova;

Cimento: Cimento *Portland CPV-ARI*;

CBC-1: Cinzas do bagaço de cana de açúcar com granulometria entre 140 e 200 mesh;

CBC-2: Cinzas do bagaço de cana de açúcar com granulometria abaixo de

200 mesh

CBB-1: Cinzas do bambu com granulometria entre 140 e 200 mesh;

CBB-1: Cinzas do bambu com granulometria abaixo de 200 mesh;

Calcário: Calcário agrícola moído (cal);

HPMC: Hidroxipropelmetilcelulose;

ADVA: Aditivo poliéter carboxílico.

3.2 Obtenção das cinzas

As cinzas do bagaço de cana que foram utilizadas neste estudo foram doadas por um alambique localizado na cidade de Lavras/MG. O bagaço de cana é utilizado como combustível em um dos processos de produção da bebida destilada, tendo como resíduos da queima as cinzas. As cinzas do bambu foram doadas por um restaurante de comida mineira. O bambu é utilizado como combustível do fogão a lenha utilizado no preparo dos alimentos, tendo como resíduo da queima as cinzas.

3.3 Caracterização das cinzas

As cinzas foram peneiradas em peneiras de 140 e 200 mesh (malha com abertura de 106 μ m e 75 μ m, respectivamente). A figura 3 apresenta a pesagem das cinzas após peneira-las.

Figura 3 - Pesagem das cinzas peneiradas



Fonte: Acervo próprio (2018)

De acordo com o quadro 3, os tratamentos com índice 1, as cinzas que foram utilizadas passaram na peneira de 140 mesh e ficaram retidas na peneira de 200 mesh. Os tratamentos com índice 2, as cinzas que foram utilizadas passaram na peneira de 200 mesh.

3.4 Produção dos compósitos cimentícios

Foram utilizados como matriz cimentícia o cimento *Portland* CPV-ARI. Este cimento foi escolhido, pois possui um diâmetro médio equivalente de partícula de $10,98\mu\text{m}$, menor quantidade de adições como a sílica cristalina e ausência de adição de pozolanas, evitando, assim, efeitos combinados de minerais. O “filler” carbonático ou calcário, atualmente empregado na indústria de fibrocimento, foi utilizado no intuito de reduzir custos no processo de produção dos compósitos e promover melhora no empacotamento dos materiais (BEZERRA et al., 2006 apud DOURADO, 2015).

Para viabilizar o processo, facilitar a extrusão e garantir assim o comportamento pseudoplástico da mistura, foram utilizados os modificadores reológicos HPMC (hidroxipropilmetilcelulose) e ADVA (Aditivo poliéter carboxílico), um redutor de água. Tais modificadores foram citados na literatura

como os que apresentam maior eficiência na produção de extrudados de fibrocimento (ONADA, 1979; PELED; SHAH, 2003; QIAN et al., 2003; SHEN et al., 2008 apud DOURADO, 2015). A figura 4 apresenta os materiais que foram utilizados na produção dos compósitos (cimento, cinza do bagaço de cana, cinza do bambu, calcário, polpa celulósica, HPMC e ADVA) após pesagem.

Figura 4 - Materiais utilizados na produção dos compósitos



Fonte: Acervo próprio (2018)

A mistura dos materiais foi realizada em uma batedeira planetária. Primeiramente o cimento, o calcário e o HPMC foram misturados em uma rotação de 140 rpm (rotações por minuto) por um período de 2 minutos, posteriormente foi adicionada a polpa celulósica, o ADVA e a água (0,4 em relação a massa do cimento), permanecendo em rotação de 285 rpm por mais 5 minutos a fim de promover a distribuição homogênea da polpa celulósica na argamassa formada. A figura 5 mostra a homogenização dos materiais na batedeira planetária.

Figura 5 - Homogenização dos materiais



Fonte: Acervo próprio (2018)

Os compósitos foram obtidos com auxílio de uma extrusora laboratorial mono-roscas da marca Verdés mod. 051. A argamassa foi passada duas vezes na extrusora, com velocidade de rosca de aproximadamente 25 rpm, com intuito de homogeneizar a argamassa e orientar as fibras no sentido da extrusão. A figura 6 mostra o processo de extrusão dos compósitos.

Figura 6 - Extrusão dos compósitos



Fonte: Acervo próprio (2018)

Após a moldagem, os corpos de prova foram posicionados sobre chapas de aço galvanizadas e estas armazenadas em sacos plásticos com adição de água que posteriormente foram selados, fazendo com que a umidade relativa (UR) permanecesse acima de 90%. A figura 7 mostra o fibrocimento armazenado após extrusão em temperatura ambiente

Figura 7 - Placas armazenadas em temperatura ambiente



Fonte: Acervo próprio (2018)

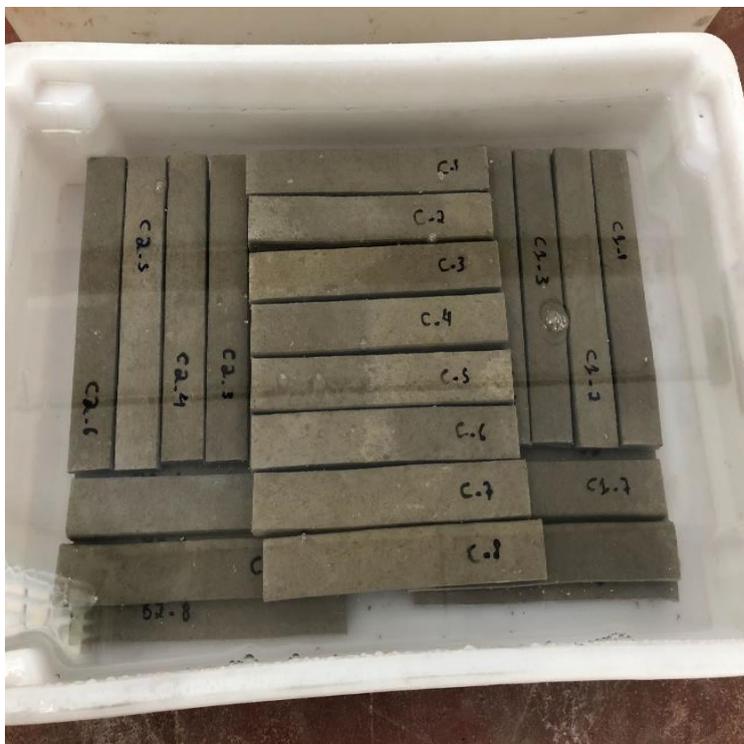
Em seguida, os corpos de prova foram transportados para um ambiente com iluminação e temperatura controladas e submetidos à cura durante 28 dias.

3.5 Propriedades físicas dos compósitos

As propriedades físicas foram avaliadas de acordo com a norma C 948-81 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2001). As propriedades avaliadas foram: absorção de água (AA), densidade aparente (DA) e porosidade aparente (PA). Os corpos de prova foram imersos em água por 24 horas, para posteriormente adquirir as massas imersas (MI) e úmidas (MU), em seguida foram deixados em estufa a 105°C por 24 horas para realização da pesagem a seco (MS). A figura 8 apresenta a imersão dos corpos de prova em

água para a determinação da absorção de água.

Figura 8 - Corpos-de-prova imersos



Fonte: Acervo próprio (2018)

A figura 9 mostra os corpos-de-prova em processo de secagem para a determinação da massa seca.

Figura 9 - Corpos-de-prova em processo de secagem



Fonte: Acervo próprio (2018)

A figura 10 mostra a pesagem dos corpos-de-prova, determinando a massa seca.

Figura 10 - Pesagem dos corpos-de-prova



Fonte: Acervo próprio (2018)

As equações utilizadas para determinação das propriedades físicas foram:

$$\text{Densidade aparente} = \frac{M_s}{M_u - M_i} \times p_w$$

$$\text{Absorção de água} = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100$$

$$\text{Porosidade aparente} = \frac{M_u - M_s}{M_u - M_i} \times 100$$

Onde: M_u é a massa úmida, M_i é a massa imersa, M_s é a massa seca e P_w é densidade do líquido em que as amostras foram imersas.

3.6 Propriedades mecânicas dos compósitos

Os testes mecânicos foram executados em uma máquina de testes universal da marca Arotec, equipada com célula de carga de 2 kN. Uma configuração com três cutelos (vão inferior a 150mm) foi empregada na determinação dos valores de módulo de ruptura (MOR), limite de proporcionalidade (LOP), módulo elástico (MOE) e energia específica (Tenacidade) do material. As configurações e os cálculos seguem os procedimentos sugeridos em Rilem (1984). A figura 11 apresenta os corpos de prova submetidos a testes mecânicos.

Figura 11 - Testes mecânicos



Fonte: Acervo próprio (2018)

As equações utilizadas para determinação das propriedades mecânicas estão apresentadas abaixo:

$$\text{Módulo de elasticidade} = \text{vão}^3 x \frac{(C2 - C1)}{4 x (D2 - D1) x b x d^3}$$

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3 x C_{\text{máx}} x \text{vão}}{2 x b x d^2}$$

$$\text{Limite de proporcionalidade} = \frac{3 x C_{\text{lop}} x \text{vão}}{2 x b x d^2}$$

$$\text{Tenacidade} = \frac{\text{Energia absorvida}}{a}$$

Onde $C_{\text{máx}}$ é a carga máxima, C_{lop} é carga máxima aplicada antes da curva carga-deformação, b é largura do corpo de prova, d é a espessura do corpo de prova, $C1$ é a carga obtida dentro do regime elástico e menor que a $C2$, $C2$ é a carga obtida dentro do regime elástico e maior que a C , $D1$ é a deformação obtida dentro do regime elástico e menor que a $D2$, $D2$ é a

deformação obtida dentro do regime elástico e maior que a $D1$, *energia absorvida* é a energia na área sob a curva do gráfico, carga x deformação, a é a área da seção transversal do corpo de prova.

3.7 Análise estatística

Os resultados desta pesquisa foram avaliados em delineamento inteiramente casualizado. A análise de variância e o teste de média de Scott-Knott foram realizados a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades físicas

A tabela 1 apresenta o resultado do teste de Scott-Knott aplicado às propriedades físicas dos tratamentos.

Tabela 1 - Propriedades físicas dos tratamentos

Tratamento	Densidade Aparente	Δ	Porosidade Aparente	Δ	Absorção de Água	Δ
	g/cm ³	%	%		%	
Cinza do bagaço de cana (Entre 140 e 200 mesh)	1,85 ^{(0,02)*}	-2,63	31,27 ^{(1,87)ns}	1,69	16,93 ^{(1,23)ns}	4,31
Cinza do bagaço de cana (Abaixo de 200 mesh)	1,88 ^{(0,02)ns}	-1,05	32,03 ^{(1,18)ns}	4,16	17,04 ^{(0,77)ns}	4,99
Cinza do bambu (Entre 140 e 200 mesh)	1,86 ^{(0,01)*}	-2,1	30,29 ^{(1,28)ns}	-1,49	16,33 ^{(0,79)ns}	0,67
Cinza do bambu (Abaixo de 200 mesh)	1,88 ^{(0,02)ns}	-1,05	33,91 ^{(1,09)*}	10,28	18,02 ^{(0,76)*}	11,03
Controle	1,90^(0,01)		30,75^(1,29)		16,23^(0,76)	

* Difere estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$) do tratamento testemunha; ns Não difere estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$) do tratamento testemunha.

Fonte: Acervo próprio (2019).

O tratamento que diferiu estatisticamente foi desdobrado para uma melhor análise dos resultados. As tabelas 2 e 3 apresentam o desdobramento das propriedades físicas porosidade aparente e absorção de água, respectivamente.

Tabela 2 - Desdobramento: Porosidade aparente

Porosidade aparente (%)		
Material/Dimensão	Entre 140 e 200 mesh	Abaixo de 200 mesh
Cinza do bagaço de cana	30,97 aA	32,03 aA
Cinza do bambu	30,29 aA	33,91 bB

a = granulometria A = material. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Acervo próprio (2019).

Tabela 3 - Desdobramento: Absorção de água

Absorção de Água (%)		
Material/Dimensão	Entre 140 e 200 mesh	Abaixo de 200 mesh
Cinza do bagaço de cana	16,70 aA	17,04 aA
Cinza do bambu	16,33 aA	18,02 bA

a = granulometria A = material. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Acervo próprio (2019).

O tratamento que recebeu adição de cinza do bambu com granulometria inferior a 200 mesh, apresentou maior porosidade aparente em relação aos demais tratamentos. Uma possível explicação para este fato é de que as cinzas do bambu possuam propriedades hidrofóbicas. Devido ao tratamento ter menor granulometria, a sua área superficial é maior, com a propriedade de hidrofobia durante o processo de cura o mesmo repelirá a água que fora utilizada durante sua produção, gerando assim, espaços vazios no interior do corpo de prova, ou seja, aumentando a porosidade. O tratamento que recebeu adição de cinza do bambu com granulometria inferior a 200 mesh, apresentou maior absorção de água em relação tratamento que recebeu adição de cinza do bambu com granulometria entre 140 e 200 mesh. Este fato pode estar relacionado ao maior índice de poros apresentado pelo tratamento (DOURADO, 2015). Para legislar e controlar os percentuais de água aceitável na produção de telhas tipo fibrocimento existe a norma NBR 7581-2 (ABNT, 2012) que diz: As telhas submetidas ao ensaio devem apresentar teor de absorção de água igual ou

inferior a 37%. Nesse quesito, todos os tratamentos atenderam a norma de comercialização. A tabela 4 apresenta o desdobramento da propriedade física densidade aparente.

Tabela 4 - Desdobramento: Densidade aparente

Material/Granulometria	Densidade aparente (g/cm ³)	
	Entre 140 e 200 mesh	Abaixo de 200 mesh
Cinza do bagaço de cana	1,85 aA	1,88 bA
Cinza do bambu	1,86 aA	1,88 aA

a = granulometria A = material. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Acervo próprio (2019).

É possível observar que a densidade aparente do tratamento que recebeu adição de cinza do bagaço de cana com granulometria abaixo de 200 mesh obteve maior densidade comparado ao tratamento utilizando cinza do bagaço de cana com granulometria entre 140 e 200 mesh. Este fato pode ter ocorrido pois, a densidade pode ser aumentada, pelo preenchimento do espaço entre as partículas grossas por partículas finas. Basicamente, a estrutura com empacotamento denso é composta por partículas grandes cujos interstícios são preenchidos por partículas menores, criando novos interstícios que serão preenchidos por partículas ainda menores, e assim sucessivamente (DOURADO, 2015).

4.2 Propriedades mecânicas

A tabela 5 apresenta o resultado do teste de Scott-Knott aplicado às propriedades mecânicas dos tratamentos.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos tratamentos

Tratamento	MOR	Δ	MOE	Δ	LOP	Δ	Tenacidade	Δ
	MPa	%	MPa	%	MPa	%	kJ.m^{-2}	%
Cinza do bagaço de cana (Entre 140 e 200 mesh)	7,41 (0,94) _{ns}	0,13	4040,65 (1189,61) _{ns}	0,06	7,64 (0,37) _{ns}	10,56	0,39 (0,12) _{ns}	-2,25
Cinza do bagaço de cana (Abaixo de 200 mesh)	7,09 (0,21) _{ns}	-4,19	4612,40 (649,79) _{ns}	14,2 1	7,23 (0,82) _{ns}	4,63	0,56 (0,15)*	40,00
Cinza do bambu (Entre 140 e 200 mesh)	7,70 (0,43) _{ns}	4,05	3394,92 (1183,90) _{ns}	- 15,9 3	7,38 (0,28) _{ns}	6,80	0,36 (0,08) _{ns}	-10,00
Cinza do bambu (Abaixo de 200 mesh)	7,16 (0,76) _{ns}	-3,24	4406,37 (902,46) _{ns}	9,11	7,38 (0,24) _{ns}	6,80	0,32 (0,06) _{ns}	-20,00
Controle	7,40 (1,10)		4038,36 (938,33)		6,91 (0,32)		0,40 (0,11)	

* Difere estatisticamente pelo Teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$) do tratamento testemunha; _{ns} Não difere estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$) do tratamento testemunha.

Fonte: Acervo próprio (2019).

O tratamento que diferiu estatisticamente foi desdobrado para uma melhor análise dos resultados. A tabela 6 apresenta o desdobramento da propriedade mecânica porosidade tenacidade.

Tabela 6 - Desdobramento: Tenacidade

Material/Granulometria	Tenacidade (kJ.m^{-2})	
	Entre 140 e 200 mesh	Abaixo de 200 mesh
Cinza do bagaço de cana	0,39 aA	0,56 bB
Cinza do bambu	0,36 aA	0,32 aA

a = granulometria A = material. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Acervo próprio (2019).

É possível observar que o tratamento que recebeu a adição da cinza do bagaço de cana abaixo de 200 mesh se diferiu dos demais tratamentos devido ao aumento da tenacidade. Este efeito pode ser explicado pelo efeito fíler que consiste no preenchimento dos vazios entre as partículas do cimento por grãos, aumentando assim a compacidade do material e a sua resistência. (HANNA WADA, 2010 apud JUNIOR, 2011).

5 CONCLUSÃO

Em geral os tratamentos com adição de cinza do bagaço de cana e cinza do bambu do ponto de vista mecânico e físico não se diferiram, indicando que as adições de cinzas não alteram significativamente o comportamento físico dos compósitos, ainda sim sendo vantajoso a substituição de um material nobre, no caso o cimento *Portland*, por um material que seria destinado ao descarte gerando contaminação do meio ambiente. O tratamento utilizando cinza do bagaço de cana com granulometria menor que 200 mesh apresentou maior densidade aparente e se mostrou mais resistente, sendo necessário a aplicação de uma maior quantidade de energia para leva-lo a fratura. O tratamento utilizando cinza do bambu com granulometria menor que 200 mesh apresentou maior índice percentual de porosidade, conseqüentemente, absorvendo maior quantidade de água. O tratamento que utilizou a cinza do bagaço de cana com granulometria inferior a 200 mesh, apresentou o melhor desempenho apresentando maior densidade, maior resistência a aplicação de energia e não apresentando perda de suas propriedades comparadas ao fibrocimento convencional, tornando sua aplicação mais vantajosa que as demais.

Para trabalhos futuros, pode-se aumentar a porcentagem de cinzas utilizada no delineamento experimental, assim como aumentar a diferença entre as granulometrias, tendo em vista avaliar até que ponto a adição de cinza na matriz gera benefícios e como a granulometria interfere nas propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 2001. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BARSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR12653: **Materiais Pozolânicos**, Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BARSILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR7181-2:2012: **Telha ondulada de fibrocimento Parte 2: Ensaio**, Rio de Janeiro, 2012.

BORLINI, M. C.; MENDONÇA, J. L. C. C.; VIEIRA, C. M. F.; MONTEIRO, S. N. **Influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas, mecânicas e microestruturais de cerâmica vermelha incorporada com cinza de bagaço de cana de açúcar.** Revista Matéria, Rio de Janeiro, v.11, n. 4, p. 435-443, 2006. Disponível em . Acesso em: 16 abr. 2019.

CARMO, J. B. M; PORTELLA K. F., **Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto.** Curitiba: UFP, 2008. 10p.

CASTRO, C. X., **Gestão de resíduos na construção civil.** 2012. 54p. Monografia (Pós graduação lato-sensu em Construção Civil), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R., **Caracterização de cinza do bagaço de cana-de-açúcar para emprego como pozolana em materiais cimentícios.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2008, 5p.

DOURADO, D. C., **Estudo de fibrocimento com resíduos de pneu.** 2015. 116p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FILOMENO, R. H.; RODRIGUES, M. S.; CORREIA, V. C.; SAVASTANO JÚNIOR, H., **Avaliação da pozolanicidade da cinza da folha de bambu para aplicação em materiais cimentícios.** São Paulo: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) – USP, 2012, 1p.

FONSECA, C. S., **Desempenho de fibrocimentos extrudados produzidos com fibras e nanofibras de juta.** 2016. 126p. Tese (Doutorado em Engenharia de Biomateriais), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

JUNIOR, A. N., **Avaliação da resistência de compressão de concreto utilizando adição de resíduos de cerâmica vermelha**. 2011. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

MACEDO, P. C., **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. 2009. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Paulista, Ilha Solteira, 2009.

MARQUES, B. C. D., **Estudo preliminar para instalação de uma usina de resíduos da construção e demolição em Mossoró**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2013, Curitiba, 10p.

MOREIRA, A. C. O., **Caracterização de *Bambusa vulgaris* shard. ex J.C. Wendl. var. *vulgaris*, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia**. 2012. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

NETTO, R. M., **Materiais pozolânicos**. 2006. 149p. Monografia (Pós graduação lato-sensu em Construção Civil), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PÁDUA, P. G. L., **Desempenho de compósitos cimentícios fabricados com cimentos aditivados com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar *in natura* e beneficiadas**. 2012. 209p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas), Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PRECON, **Telhas de fibrocimento**. Disponível em: <<http://precon.com.br/portal/telhas-de-fibrocimento/>>. Acesso em: dez. 2017.

RILEM technical committee 49 TFR: testing methods for fibre reinforced cement-based composites. **Materials and Structures**, London, v. 17, n. 102, p. 441-456, 1984.

RODRIGUES, M. S.; BERALDO, A. L.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; SANTOS, S. F., **Cinza de palha de cana-de-açúcar como adição mineral em fibrocimento**, Campina Grande, v.17, n.12, p.1347-1354, 2013.

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

SOTO, Y. J. M., **Adequação de formulações para produção de placas de fibrocimento por extrusão**. 2010. 201p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUZA, C. F., **Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar**, Viçosa, v.17, n.1, p. 15-20, 2009.

SPIRANDELLI, A. J., **Uma releitura da obra de Oscar Niemeyer aplicada ao projeto de mobiliário urbano**. 2011. 128p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design de Produto), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

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

ZORDAN, S. E.; ANGULO, S. C.; JOHN, V. M., **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil**. São Paulo: EPUSP, 2001. 13p.