



ALICE BENASSI SOUZA

**BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

LAVRAS – MG

2019

ALICE BENASSI SOUZA

**BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

Monografia apresentada Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2019

ALICE BENASSI SOUZA

**BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA DE VEDAÇÃO
PRODUZIDOS COM RESÍDUOS AGRÍCOLAS
CONCRETE BLOCKS FOR SEALED MASONRY PRODUCED
WITH AGRICULTURAL WASTE**

Monografia apresentada Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 6 de Novembro de 2019.

MSc. Alan Pereira Vilela – UFLA

MSc. Carolina Rezende Pinto Narciso – UFLA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Orientador

LAVRAS – MG

2019

*Aos meus pais pelo apoio e carinho em todas as etapas e por serem
os meus maiores exemplo de vida.
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelos dons da vida e da sabedoria. E ao Plano Espiritual por me guiar nessa jornada.

Aos meus pais Zayra e José Maurício, pelas orações, pelos ensinamentos, pelo apoio incondicional e por tornarem esse sonho possível, além de serem meu porto seguro.

À Universidade Federal de Lavras – UFLA, por me proporcionar uma das experiências mais gratificantes da minha vida.

À todos os professores, desde o ensino básico até a graduação, por terem contribuído na minha formação acadêmica e pessoal.

Aos amigos que sempre estiveram comigo e aos que a UFLA me presenteou, por tornarem essa caminhada mais leve e repleta de alegria.

Ao meu orientador e amigo, Rafael, pelo direcionamento, pela compreensão, confiança, oportunidades e disponibilidade em ajudar nos desafios encontrados no decorrer da pesquisa.

À todos aqueles que conheci durante a caminhada na Iniciação Científica, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, pós-doutorandos, doutorandos, mestrandos, companheiros de iniciação e funcionários. Em especial à Carol, à Nayhara, à Nayra, à Ticyane e ao Higor.

À Fapemig, pela concessão da bolsa para que fosse possível esse trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

A construção civil é uma área que apresenta extensa extração dos recursos naturais, sendo a inovação desse setor e a produção de novos materiais sustentáveis de suma importância no cenário atual. A utilização de fibras/partículas naturais como reforço, em substituição de agregados convencionais, na produção de materiais de construção, além de possibilitar maior sustentabilidade ao processo pode vir a melhorar algumas propriedades dos materiais, como o isolamento térmico, além de agregar valor aos resíduos agroindustriais, que muitas vezes não recebem um destino adequado. Diante do exposto, o presente trabalho tem por finalidade estudar a viabilidade de produção de blocos de concreto com a substituição parcial do material pedrisco pelos resíduos agrícolas bagaço de cana e casca de café. Para isso, os percentuais para substituição foram de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%, além de um tratamento controle sem utilização de resíduo agrícola. Primeiramente, os materiais lignocelulósicos foram tratados para retirada de extrativos e então caracterizados quanto a sua composição química, propriedades físicas e morfologia. Os blocos foram avaliados conforme suas propriedades físico-mecânicas e térmicas. Como resultado, os blocos alcançaram melhoras no que diz respeito às características físicas (absorção de água e densidade aparente) e térmicas (condutividade, resistência e transmitância térmicas). Porém, o mesmo não aconteceu para a propriedade mecânica de resistência à compressão. A presente pesquisa foi de grande valia para o desenvolvimento de materiais sustentáveis, apesar de não alcançar melhora na propriedade mecânica, o material estudado conseguiu manter, e até mesmo melhorar, as propriedades físicas e térmicas do material, permitindo um descarte adequado de resíduos agroindustriais. Como sugestão para próximos estudos seria o reestudo do traço, com a finalidade de melhorar a característica mecânica do material.

Palavras – Chaves: bagaço de cana; casca de café; compósitos cimentícios.

ABSTRACT

Civil construction is an area that uses extensive extraction of natural resources, thus the innovation of this sector and the production of new sustainable materials is extremely important in the current scenario. In the production of building materials, the use of natural fibers/particles as a reinforcement in substitution of conventional aggregates in addition to making the process more sustainable, it may improve some material properties, such as thermal insulation, and add some value to agribusiness waste, which often do not receive a proper destination. That being said, the present work aims to study the feasibility of producing concrete blocks with partial replacement of the gravel material by the agricultural residues such as sugarcane bagasse and coffee husk. By these means, the percentages for substitution were 2.5%, 5%, 7.5% and 10%, besides a control treatment without the use of agricultural residue. Firstly, lignocellulosic materials were characterized by their chemical composition, physical properties and morphology. The blocks were evaluated according to their physical-mechanical and thermal properties. As a result, the blocks achieved improvements in physical (water absorption and bulk density) and thermal (thermal conductivity, resistance and transmittance) characteristics; however, the same did not happen for the mechanical property of compressive strength. It can be inferred that the present research was of great value for the development of sustainable materials. Although not achieving any improvement in mechanical properties, the material studied managed to maintain, and even improve, the physical and thermal properties of the material, allowing proper disposal of agro-industrial waste. A suggestion for future studies would be the restudy of the trace, with the purpose of improving the mechanical characteristics of the material.

Keywords: sugarcane bagasse, coffee husk, cementitious composites.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	8
INTRODUÇÃO GERAL	8
1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1 Compósitos cimentícios	9
2.2 Partículas vegetais em compósitos	10
2.3 Casca de Café.....	11
2.4 Bagaço de Cana	14
2.5 Bloco de Concreto	16
2.6 Blocos de concreto com material lignocelulósico	18
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
SEGUNDA PARTE	26
ARTIGO	26
VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO	26
1 Introdução.....	29
2 Material e Métodos.....	30
3 Resultados e discussão	35
4 Conclusão	46
Agradecimentos	46
Referências Bibliográficas.....	46

PRIMEIRA PARTE

INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um setor que além de apresentar grande geração de resíduos promove uma grande extração de recursos não renováveis. Diante desse cenário, cada vez se faz mais necessário estudos em busca de inovação tecnológica e desenvolvimento de novos produtos, objetivando tornar esse setor cada vez mais sustentável, para, assim, minimizar os impactos ambientais gerados por ele.

Um material amplamente utilizado na construção é o bloco de concreto, unidade que pertence à alvenaria tanto de vedação quanto estrutural. Sua abundante utilização se dá pela facilidade de execução, eficácia e durabilidade. Com intuito de melhorar as propriedades desse material de matriz cimentícia, no que diz respeito resistência, densidade, ductilidade, tenacidade e conforto térmico, há a possibilidade de adicionar partículas ou fibras, tanto naturais como sintéticas.

As partículas naturais podem ter origem vegetal e ainda serem obtidas a partir de resíduos da agroindústria, resíduos esses que muitas vezes ainda não possuem um descarte final adequado. Devido ao fato do Brasil ser um país com ampla produção agroindustrial, tanto para seu comércio interno, quanto para exportação, essas partículas são encontradas em larga escala e à baixo custo.

Dois resíduos de grande importância nacional são a casca de café e o bagaço de cana. O motivo se dá pelo fato de o país ser o maior produtor mundial de café e cana de açúcar. A produção cafeeira, para comércio interno e externo, se dá principalmente pelas espécies *Coffea arabica* e *Coffea robusta* (Conilon). Por sua vez, a ampla disponibilidade, a cana de açúcar é proveniente da representativa produção de açúcar e etanol. Tais produções geram um elevado volume de resíduos, que atualmente são poucos utilizados para obtenção de energia, porém, ainda resta uma quantidade considerável que necessita receber aplicações.

Portanto, o presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade de produção de blocos de concreto com substituição parcial do material pedrisco pelos resíduos agrícolas casca de café e bagaço de cana. Tendo como finalidade incentivar a pesquisa de novos materiais para o setor da construção civil, sendo não só mais sustentáveis como também com possibilidades de obter melhores propriedades, como menor densidade e melhor desempenho térmico. Além de buscar soluções adequadas para os resíduos agroindustriais presentes em grande volume no país, não

só agregando valor a esse resíduo, como também visando a diminuição dos impactos ambientais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Compósitos cimentícios

Compósitos compreendem a união de dois ou mais materiais com intuito de alcançar propriedades superiores aos materiais convencionais. É constituído por uma matriz e por uma carga, sendo que tal carga pode receber a funcionalidade tanto de enchimento quanto de reforço. Quando utilizada como enchimento tem por finalidade melhorar propriedades no que diz respeito à condutividade, ao isolamento térmico, dentre outros; e quando usadas como reforço seu objetivo primordial é melhorar a propriedade mecânica do material (TESSARO et al., 2015; SRINIVAS; NAIDU; RAJU BAHUBALENDRUNI, 2017).

Materiais compostos por matriz cimentícia é caracterizado por sua baixa resistência ao impacto e por sua deformação por alongamento, acarretando fratura frágil e tendência à fissuração (FONSECA et al., 2016). Dessa maneira, materiais cimentícios podem receber materiais, como fibras ou partículas, com a intenção de reforçar sua microestrutura, proporcionando melhora na resistência à tração, à flexão e ao impacto, além de controlar a fissuração e o modo de falha por meio de ductilidade em seu estágio pós-fissurado (COUTTS, 2005; DE ARRUDA FILHO, 2012; HOSSEINPOURPIA et al., 2012).

A diferença entre fibras e partículas se dá pelo da primeira possuir uma geometria mais alongada, com o comprimento excessivamente superior que a largura, além de ser uma unidade individualizada, enquanto a segunda pode apresentar dimensões variadas e é constituída por um feixe de fibras (DE ARRUDA FILHO, 2012; HOSSEINPOURPIA et al., 2012).

No que diz respeito ao aparecimento de microfissuras, elas são responsáveis pelo decréscimo de resistência à tração do material e aparecem no processo de hidratação do cimento. Nesse processo ocorrem reações exotérmicas, liberando calor. Assim, a principal função do material de reforço adicionada à matriz cimentícia é o controle dessas fissurações por retração plástica. O resultado é uma melhor distribuição das fissuras, em certas ocasiões pode acarretar o aumento na quantidade de fissuras, porém diminuir a área de abertura delas (KHLEF et al., 2019).

Ao se tratar da resistência ao impacto, a presença de material de reforço permite que o compósito absorva uma maior quantidade de energia, energia essa que passa a ser utilizada também para deformação, arrancamento e ruptura das fibras/partículas (SIAD, et al., 2019). Por

fim, a ductilidade em seu estágio pós-fissurado se dá pelo alongamento e elasticidade das fibras/partículas. Dessa maneira, a matriz fissura antes da resistência final da partícula ser alcançada. Resultando em uma maior resistência à carga quando comparada à concretos sem adição de partícula (WILLE et al., 2014).

2.2 Partículas vegetais em compósitos

As fibras ou partículas aplicadas à materiais compósitos podem ser de origem sintética ou natural (NETO; PARDINI, 2006). As partículas sintéticas apesar de sua alta resistência e maior vida útil, contam com desvantagens como alto custo e uso de materiais não renováveis.

As fibras/partículas naturais, provindas de matéria vegetal, apresentam inúmeras vantagens, dentre elas podemos citar o baixo custo devido sua ampla disponibilidade, a possibilidade de diminuir a densidade do material compósito, por sua baixa massa específica, e assim, proporcionando uma estrutura mais leve da edificação (NAIDU et al., 2017). Além da possibilidade de melhora do desempenho referente ao isolamento térmico e acústico do material, são também recicláveis e não tóxicas (SEMPLE; EVANS, 2004; KHEDARI et al., 2005; PACHECO-TORGAL; JALALI, 2011; ARDANUY et al., 2015).

Como dificuldade do uso das fibras/partículas vegetais em materiais compósitos podemos citar a grande variabilidade nas propriedades mecânicas e baixa estabilidade dimensional, aspectos normais da natureza fisiológica da planta, com uma geometria complexa e não uniforme. Tais fibras/partículas sofrem grande influência do solo, da colheita e da localização ao longo do corpo da planta, além de suas propriedades mecânicas serem mais modestas quando comparado à materiais estruturais (NETO; PARDINI, 2006).

Uma questão para a produção de materiais compósitos de matriz cimentícia com partículas e fibras de materiais lignocelulósicos é a incompatibilidade química presente entre o cimento e a biomassa vegetal, podendo acarretar o retardo das reações de hidratação do cimento e comprometer a solidificação do mesmo (SILVEIRA et al., 2018). De acordo com Simantupang et al. (1978), os extrativos presentes na matéria vegetal, apresentam como princípios ativos os compósitos fenólicos e os carboidratos livres, são os grandes responsáveis para que isso aconteça.

Nos estudos realizados por Beraldo et al. (2011), é visto que grande parte das partículas vegetais não se pode adicionar à uma matriz cimentícia em seu estado natural, em decorrência da sensibilidade da mesma à alcalinidade da matriz cimentícia. O autor ressalta a importância

de realizar tratamentos preliminares no material lignocelulósico, objetivando uma diminuição da presença de extrativos.

Há diversas metodologias de tratamentos para aprimorar o desempenho da biomassa vegetal em matriz alcalina. Dentre ele pode-se citar a substituição de parte do cimento por minerais, para a redução do teor de hidróxido de cálcio livre da matriz (FARIAS FILHO, et al., 2010) e o processo de carbonatação acelerada com intenção de diminuir o pH da matriz (FARRAPO, 2015). Existe também as possibilidades de tratamentos químicos e físicos. Alguns dos tratamentos químicos são o tratamento alcalino (ARSYAD et al., 2015), a acetilação (LOPES et al., 2011) e da esterificação (SOUZA et al., 2017). Por sua vez, dentre os tratamentos físicos há a hornificação, que apresentam ciclos de saturação e secagem do material vegetal (FERREIRA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2015) e os tratamentos termomecânicos (STEVULOVA, et al., 2014).

Os tratamentos alcalinos se destacam devido sua eficiência e simplicidade de execução, dentre eles, se pode citar a imersão da partícula em água fria, conforme indicado na metodologia prescritas nos trabalhos de Mesquita et al. (2017) e Fonseca et al. (2019), a imersão em solução contendo hidróxido de sódio – NaOH, conforme realizado por Ferreira et al. (2016) e também a imersão em uma solução de Cal Hidratada CH III, indicada por Serrano e Castro (1985).

2.3 Casca de Café

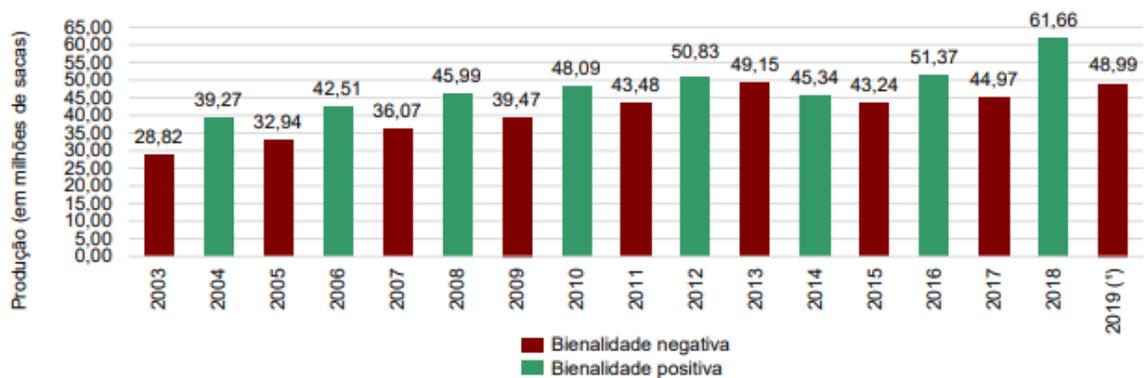
A produção cafeeira é uma das atividades agroindustriais mais lucrativas, sendo um dos principais produtos agrícolas do mundo. As espécies primordiais para comercialização são o *Coffea arabica* e *Coffea robusta* (*Conilon*) (FREITAS, 2016). De acordo com o Sindicato da Indústria do Café – Sindicafé (2019), o café apresenta grande presença na economia mundial, sendo um dos produtos primários comercializados no mundo que apresentam maior valor agregado, ficando atrás apenas do petróleo.

Nos dias atuais, o Brasil se encontra na posição de maior produtor mundial de café, responsável por 30% do mercado internacional do café, seu volume de produção equivale à soma da produção de outros seis maiores países produtores. Vale ressaltar também, que se apresenta como o segundo mercado consumidor, atrás apenas dos Estados Unidos (SINDCAFE, 2019).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2019), a estimativa de produção para o ano de 2019 é de 48,99 milhões de sacas de café beneficiado, sendo o plantio realizado em uma área de 2,13 milhões de hectares. A produção das espécies Arábica e Conilon estimam apresentar os valores de 34,47 milhões e 14,52 milhões de sacas, respectivamente.

Na Figura 1, pode-se acompanhar a evolução na produção cafeeira no Brasil, variedades Arábica e Conilon, entre os anos de 2003 e 2019. A bienalidade é entendida como um fenômeno da alternância de grandes e pequenas produções ao decorrer do tempo, sendo mais evidente na espécie Arábica. Esse acontecimento é normal da natureza fisiológica da planta, que requer vegetar em um ano, para assim poder ter uma maior produção no próximo ano (MENDONÇA et al., 2011), porém vem sendo reduzido através de alguns melhoramentos, dentre eles a irrigação e o manejo de podas (CONAB, 2019).

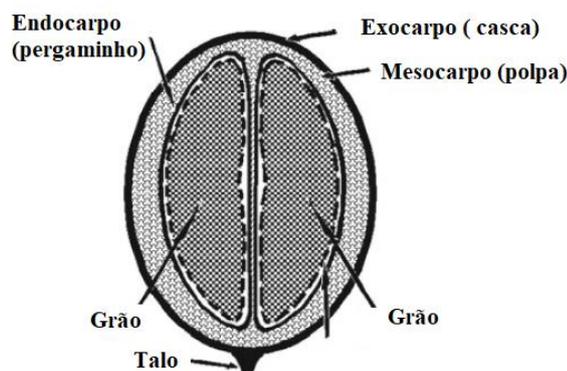
Figura 1 – Evolução da produção cafeeira, variedades Arábica e Conilon, no Brasil.



Fonte: Conab, 2019.

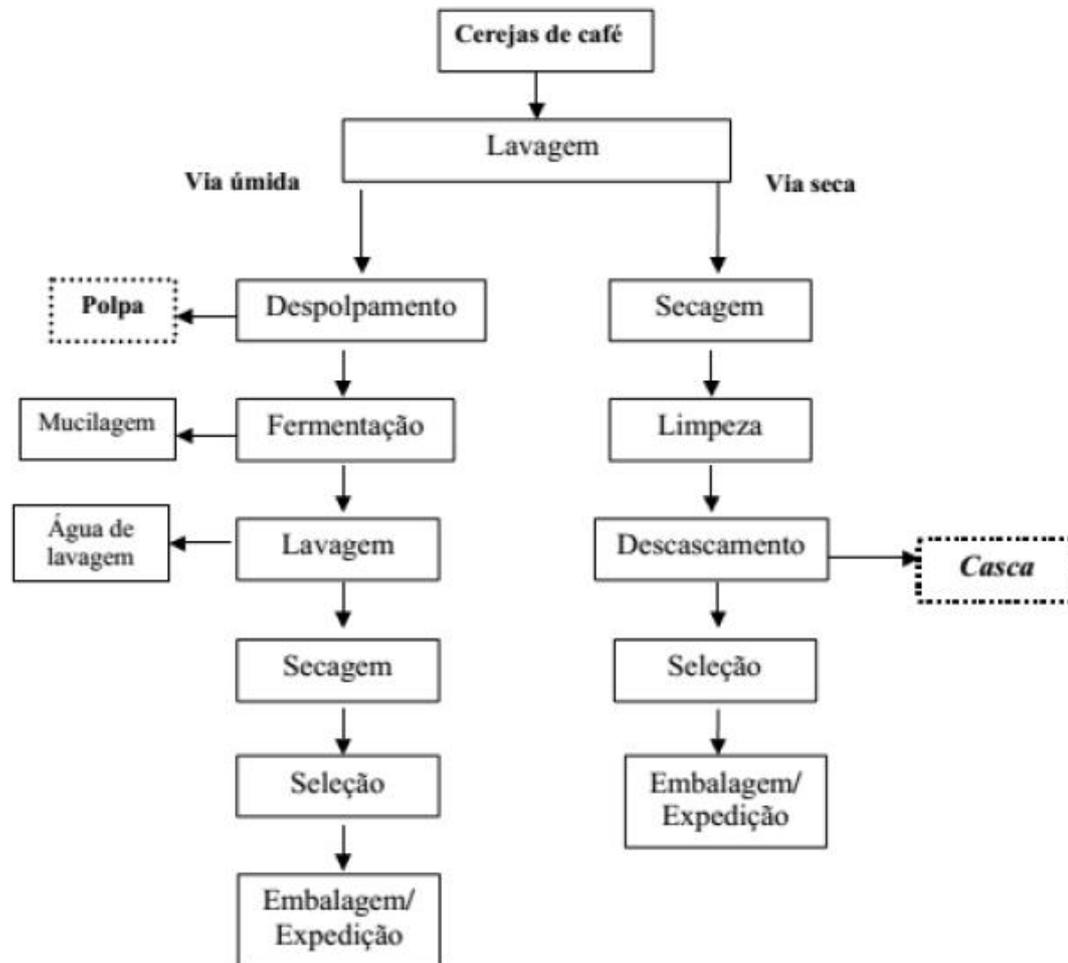
A anatomia do fruto, conforme mostra Bekalo e Reinhardt (2010), é formada de exocarpo (casca), mesocarpo (polpa) e o endocarpo (pergaminho), sendo esse último responsável por recobrir o grão (Figura 2). Os frutos do café podem ser processados de duas maneiras, através da via seca ou via úmida, como mostra a Figura 3. Os resíduos de maior importância são as cascas de café, obtidos por via seca, e a polpa, obtida por via úmida. Esses subprodutos se diferenciam pelo fato de a casca conter o pergaminho e a polpa não, de maneira que fica envolto no grão de café para sua proteção (BEKALO; REINHARDT, 2010).

Figura 2 – Botânica do grão de café.



Fonte: adaptado de Bekalo e Reinhardt (2010).

Figura 3 – Organograma da produção de café.



Fonte: adaptado de Soccol (2002).

A produção brasileira é 80% realizada através da via seca, dessa produção, 50% do café colhido é transformado em resíduo industrial (VALE et al., 2007). Deste modo, o emprego deste material para obtenção de produtos com certo valor agregado é considerado uma atividade de interesse, principalmente, econômico e ambiental (DAL-BO, et al., 2019).

A casca de café vem sendo empregada em diversas áreas, dentre elas o uso como fertilizantes, em decorrência à alta presença de fósforo (ASFAW, et al., 2019). Segundo Lubwama e Yiga (2018), a casca de café também apresenta características desejáveis para uma aplicação energética devido seu alto valor calorífico, até mesmo próximo do bagaço da cana de açúcar. Porém, a quantidade de resíduo gerado permanece superior ao que vem sendo utilizado, requerendo pesquisas para mais aplicações.

Contudo, é importante apresentar a caracterização do material, pois influenciarão diretamente nas propriedades finais do material a ser empregado. Diante disso, Teixeira et al. (2018) realizaram a caracterização química da casca de café e encontraram 11,47% de

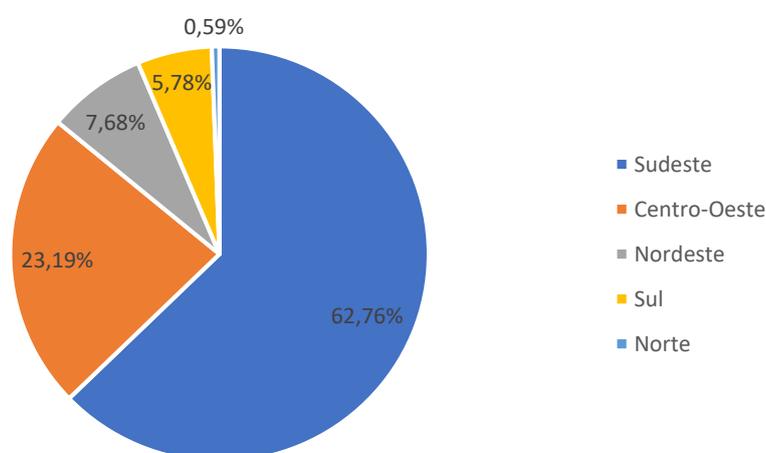
extrativos, 50,70% de lignina, 5,89% de cinzas e 31,93% de holocelulose. Vale et al. (2007), em seu trabalho, encontraram valores de 0,166 g/cm³ e 0,144 g/cm³ para a densidade aparente das partículas de casca de café seca e úmida, respectivamente, e Mendes et al. (2010) encontraram o valor 0,195 g/cm³ para a casca de café seca.

2.4 Bagaço de Cana

O bagaço de cana-de-açúcar é um subproduto da agroindústria, sua ampla disponibilidade se dá em decorrência do aumento da produção de cana-de-açúcar, tanto em investimentos públicos quanto privados (BAHURUDEEN et al., 2015). O destino desse resíduo, geralmente, é a incineração em reservatórios para produção de energia no setor industrial. Porém, por suas características físico-químicas, vem sendo utilizado em um amplo campo de pesquisa, entre eles a produção de ração animal, plástico biodegradável, painéis aglomerados, entre outros (ANDELMÍ, et al., 2007; TO-ON et al., 2017).

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2019), a estimativa para a safra 2019/2020 é de 622,3 milhões de toneladas em uma área de 8,38 milhões de hectares. A maior região brasileira produtora é a região sudeste, seguida da centro-oeste, como mostra a Figura 4. A cada tonelada processada de cana-de-açúcar, é produzido um total de 280 kg de resíduo (SILVA et al., 2007), diante disso, uma estimativa para a quantidade de resíduo gerada para a produção de 2019 seria de 175 milhões de toneladas.

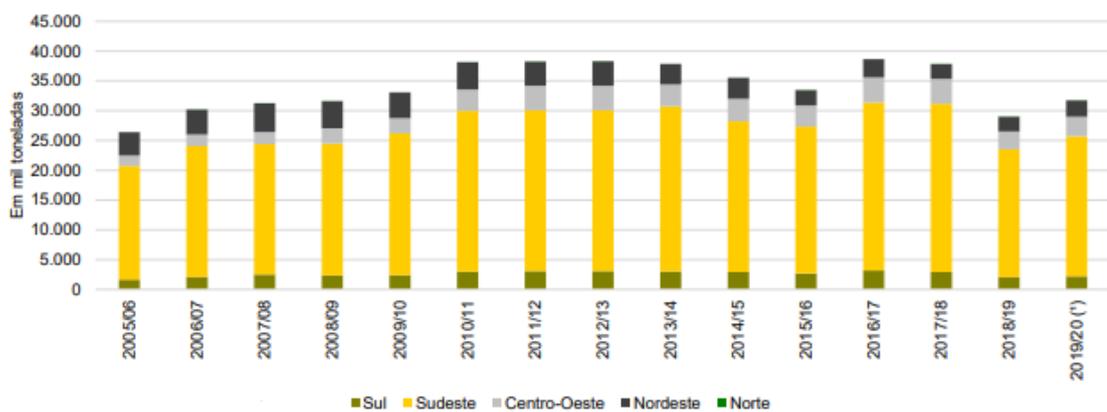
Figura 4 – Estimativa da produção de Cana-de-açúcar nas regiões do Brasil na safra 2019/2020.



Fonte: adaptado Conab (2019).

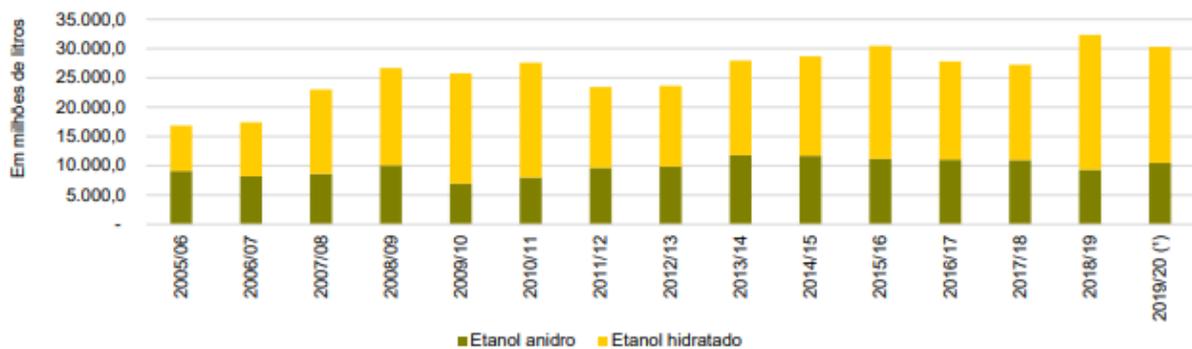
A produção nacional da cana-de-açúcar é destinada primordialmente para suprir os mercados do açúcar e do etanol (anidro e hidratado). Na Figura 5 podemos acompanhar a evolução da produção de açúcar entres os anos de 2005 e 2019, observa-se que a produção esperada para o ano de 2019 é de aproximadamente 32 milhões de toneladas, valor superior à última safra. Por sua vez, para o mesmo período, a evolução da produção de etanol anidro e hidratado é mostrado na Figura 6. Sendo uma produção estimada para o ano de 2019 de 20 bilhões de litros de etanol hidratado e 10 bilhões de litros de etanol anidro.

Figura 5 - Evolução da produção de açúcar.



Fonte: Conab (2019).

Figura 6 - Evolução da produção de etanol anidro e hidratado a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: Conab (2019).

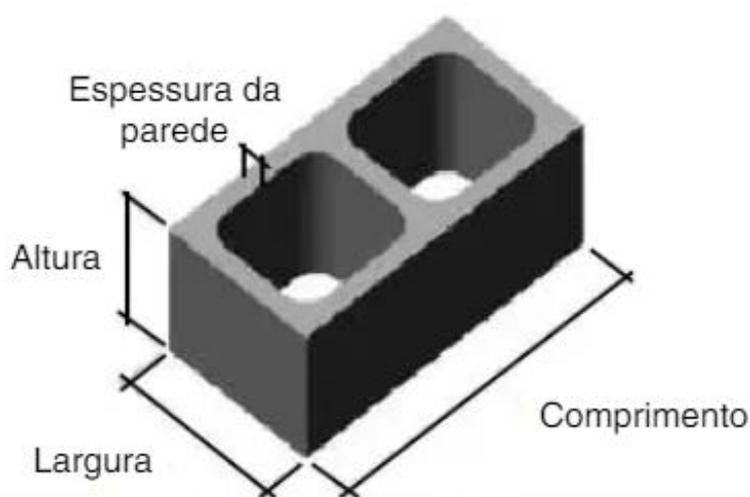
No que diz respeito à caracterização da partícula de bagaço de cana, Mesquita et al. (2017) em seus estudos sobre compósitos de poliéster reforçados com fibras tratadas de bagaço de cana encontraram os valores dos componentes químicos da partícula de 2,7%, 28,6%, 7,5% e 61,2% para extrativos, lignina, cinzas e holocelulose, respectivamente. Por sua vez, Loh et al. (2013),

em sua revisão literária acerca do bagaço de cana encontraram valores de 4% para os extrativos, 15% para a lignina, 2% para as cinzas e 79% para a holocelulose. Quanto à densidade aparente das partículas de bagaço de cana Mendes et al. (2012) encontraram o valor de $0,098\text{g/cm}^3$ e Iftikhar et al. (2019) encontraram $0,125\text{g/cm}^3$.

2.5 Bloco de Concreto

A NBR 6136 (ABNT, 2016) define bloco de concreto simples como um componente, com ou sem função estrutural, para a execução de alvenaria. Sendo este vazado nas faces inferior e superior, com a área líquida igual ou menor que 75% da área bruta, como mostra a Figura 7. São constituídos por um material homogêneo composto por cimento Portland, agregado miúdo e grão e água, sua moldagem é realizada por meio de vibração e prensagem.

Figura 7 – Bloco vazado de concreto simples.



Fonte: NBR 6136 (ABNT, 2016)

Seu emprego em detrimento dos cerâmicos se dá não apenas pelo esgotamento das jazidas de argila e pelo desmatamento de florestas nativas para produção de lenha, cada vez mais restrito pela lei, elemento combustível primordial na indústria cerâmica. Mas, também, por suas vantagens como a precisão dimensional, diversidade de peças, tais que possibilitam a passagens de instalações elétricas e hidráulicas, dosagem racional com intuito de alcançar resistências específicas em projeto e além de ampla disponibilidade de matérias-primas e baixo custo (DANTAS FILHO, 2004).

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2016), os blocos são classificados em três classes, A, B e C. Tais classes se diferenciam de acordo com suas dimensões de largura e espessura mínima de suas paredes, conforme a Tabela 1, e de acordo com sua aplicação.

Tabela 1– Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos.

Classe	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais ^a (mm)	Paredes transversais	
			Paredes ^a (mm)	Espessura equivalente ^b (mm/m)
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

^a Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

^b Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetro), dividida pelo comprimento do bloco (metros)

Fonte: adaptado NBR 6136 (ABNT, 2016)

As classes A e B são com função estrutural, porém a categoria A se aplica ao nível abaixo do solo. Por sua vez, a classe C pode apresentar ou não a função estrutural. Com largura de 65 mm seu uso se restringe para apenas com funções não estruturais. Com funções estruturais, a largura de 90 mm pode ser aplicada para edifícios de um pavimento, já com largura de 115 mm para edificações de no máximo dois pavimentos e com larguras de 140 e 190 mm para edificações de até cinco pavimentos.

Os requisitos físico-mecânicos prescritos pela norma devem atender aos limites de resistência, absorção de água e retração, sendo esse último ensaio facultativo, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração.

Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial ^a (MPa)	Absorção (%)				Retração ^d (%)
			Agregado normal ^b		Agregado leve ^c		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 8,0$			
	B	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$\leq 10,0$	$\leq 9,0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3,0$	$\leq 11,0$	$\leq 10,0$	$\leq 16,0$	$\leq 13,0$	$\leq 0,065$

^a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.

^b Blocos fabricados com agregado normal (ver definição na ABNT NBR 9935).

^c Blocos fabricados com agregados leves (ver definição na ABNT NBR 9935).

^d Ensaio facultativo.

Fonte: adaptado NBR 6136 (ABNT, 2016)

2.6 Blocos de concreto com material lignocelulósico

Alguns trabalhos com blocos de concreto com adição de partículas vegetais vêm sendo estudados. As comparações chegam a serem dificultadas, devido a ampla variabilidade de procedimentos experimentais. Porém, ter conhecimento do que foi estudado, as dificuldades já enfrentadas e os resultados alcançados são de suma importância para o sucesso da pesquisa.

Dessa maneira, analisando os estudos realizados por Torkaman et al. (2014) de blocos de concreto com diferentes traços contendo resíduos de fibra de madeira e cinzas de casca de arroz, obtiveram uma diminuição considerável da resistência à compressão e da densidade aparente, além de um aumento drástico da absorção de água à medida que aumentava a quantidade de partícula vegetal. Relataram encontrar dificuldades com a ligação fibra-matriz, com excesso de fibras presentes em um determinado volume do material, além da inibição do processo de hidratação do cimento ocasionada pelos componentes químicos da biomassa vegetal.

Santos et al. (2019) incorporaram madeira na produção de blocos de concreto em substituição do pedrisco em diversas porcentagens. Apesar da resistência mecânica dos blocos terem sido inferiores ao tratamento controle, o tratamento com 15% de partícula cumpriu a normativa chilena. Foi estudada também a resistência sísmica dos blocos a partir de sua ductilidade, e novamente o tratamento com 15% se destacou chegando a duplicar a ductilidade comparada ao bloco de concreto comum.

Kundu et al. (2018) avaliaram a eficiência da adição de fibra de juta na produção de bloco de concreto. O trabalho comparou o bloco controle com três tratamentos: com presença de juta sem tratamento, com presença de juta modificada com polímero e com presença de juta polímero e tanino. Os resultados experimentais revelaram que as resistências à compressão e à

flexão de cada tratamento foram superiores ao bloco referência, mesmo que isso tenha se apresentado mais evidente no tratamento com adição de juta modificada com tanino e polímero.

Izquierdo et al. (2017) e Lima et al. (2018) estudaram sobre a adição de fibra de sisal na confecção de blocos de concreto. Em seu procedimento experimental, Izquierdo et al. (2017) adicionaram 1% do volume de cimento em fibra vegetal. Lima et al. (2018) incorporaram 6% de fibra vegetal relativa à massa total do bloco. Ambos os estudos apresentaram aumento na absorção de água e diminuição da resistência a compressão, isso se deu devido ao teor de fibras incorporado no material, bem como o comprimento delas. Propiciando um aumento de regiões porosas, quebradiças e microfissuradas no material.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com intuito de reduzir os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil e propiciar um destino adequado à resíduos agroindustriais, uma alternativa é a minimização de extração de recursos naturais utilizados na produção de blocos de concreto através da substituição de agregados por resíduos agrícolas.

Diante desse cenário, o presente trabalho visa estudar a viabilidade da substituição parcial do pedrisco pelas partículas vegetais de bagaço de cana e casca de café na produção de blocos de concreto, com intuito de melhorar suas propriedades físicas e térmicas e manter a propriedade mecânica, além de reciclar tais resíduos presentes em grande volume no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELMINI, R. et al. Diversificação industrial inclui bioeletricidade, levedura, plástico biodegradável e gás carbônico. **Jornalcanana, Tecnologia Industrial**, Ribeirão Preto, p. 58, 2007.

ARSYAD, M.; PRATIKTO, I.N.G.W.; IRAWAN, Y.S. The morphology of coconut fiber surface under chemical treatment. **Revista Matéria**, p. 169-177, 2015.

ASFAW, E. et al. Coffee-husk biochar application increased AMF root colonization, P accumulation, N₂ fixation, and yield of soybean grown in a tropical Nitisol, southwest Ethiopia. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, p. 419-428, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**:Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria –Requisitos. 10p. 2016.

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

BAHURUDEEN, A. et al. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. **Cement and Concrete Composite**, v. 59, p. 77-88, 2015.

BEKALO, S. A.; REINHARDT, H. W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures**, v. 43, p. 1049-1060, 2010.

BERALDO, A. L. et al. **Compuestos de biomasa vegetal y cemento. Aprovechamiento de residuos agro-industriales como fuente sostenible de materiales de construcción**, v. 1, pp. 301-326, 2011.

BERNARDI, S. T. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibras de Aramida Kevlar**. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira – Café**. V. 5, safra 2019, n. 3. Set. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 29/09/2019.

_____. **Acompanhamento da safra brasileira – Cana de açúcar**. V. 6, safra 2010/20, n. 2. Ago. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 29/09/2019.

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

DAL-BO, V. et al. Process synthesis for coffee husks to energy using hierarchical approaches. **Renewable Energy**, v. 142, p. 196-206, 2019.

DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. 2004. 136 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual De Campinas, 2004.

DE ARRUDA FILHO, N. T. et al. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 8, 2012.

FARIAS FILHO, J.; TOLÊDO FILHO, R.D.; LIMA, P.R. Efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassas reforçadas com fibras curtas de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 10, p. 1109-1114, 2010.

FARRAPO, C. L. **Durabilidade de fibrocimento reforçado om polpa de sisal após 10 anos de envelhecimento natural**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FEITAS, W. L. da C. **Estudo da casca do café como matéria prima em processos fermentativos**. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial – Microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2016.

FERREIRA, R. et al. Influência de ciclos molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 17, p. 1024-1034, 2012.

FERREIRA, S. R. et al. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction & Building Materials**, v. 139, p. 551-561, 2016.

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

FONSECA, C. S. et al. Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction & Building Materials**, v. 211, p. 517-527, 2019.

HOSSEINPOURPIA, R. et al. Production of Waste Bio-Fiber Cement-Based Composites Reinforced With Nano-SiO₂ Particles as a Substitute For Asbestos Cement Composites. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 105-111, 2012.

IFTIKHAR, H. et al. Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and polystyrene with ex-situ catalytic bed of metal oxides/HZSM-5 with focus on liquid yield. **Bioresource Technology**, v. 289, n. 121647, 2019.

IZQUIERDO, I. S. et al. Sisal fiber reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modelling. **Construction & Building Materials**, v. 151, p. 98-112, 2017.

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, 2005.

KHLEF, F. L. et al. Tension and Cyclic Behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, 2019.

KUNDU, S. P. et al. Effectiveness of the surface modified jute fibre as fibre reinforcement in controlling the physical and mechanical properties of concrete paver blocks. **Construction & Building Materials**, v. 191, p. 554-563, 2018.

LIMA, P. R. L. et al. Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs. **Construction & Building Materials**, v. 187, p. 620-634, 2018.

LOH, Y. R. et al. Sugarcane bagasse—The future composite material: A literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 75, p. 14-22, 2013.

LOPES, F. M. F. et al. Avaliação dos efeitos da acetilação nas propriedades das fibras de caroá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 84-89, 2011.

LUBWAMA, M.; YIGA, V. A. Characteristics of briquettes developed from rice and coffee husks for domestic cooking applications in Uganda, *Renew. Energy*, v. 118, p. 43–55, 2018.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.

MENDONÇA, J. B. et al. Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, p. 1-9, 2011.

MESQUITA, R. G. A. M., et al. Polyester Composites Reinforced with Corona-Treated Fibers from Pine, Eucalyptus and Sugarcane Bagasse. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 25, p. 800–811, 2017.

MOSLEMI, A. A. Wood-cement panel products: coming of age. **In: INORGANIC BONDED FIBER COMPOSITES SYMPOSIUM.FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY.** p 12-18. Estados Unidos, 1989.

NAIDU, A. L.; JAGADEESH, V.; BAHUBALENDRUNI, M. R. A review on chemical and physical properties of natural fiber reinforced composites. **Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, v. 8, n. 1, p. 56-68, 2017

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia.** Editora Edigard Blucher LTDA, 1ª ed, 331p. 2006.

OLIVEIRA, W. J. et al. Influence of hornification of luffa cylindrica fibres in the reinforcement of cementitious composites. **10th Internacional Conference on Composite Science and Technology**, ICCST/10, 2015.

PACHECO-TORGAL, FERNANDO; JALALI, SAID. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 575-581, 2011.

SANTOS, D. D. et al. Mechanical Properties and Seismic Performance of Wood-Concrete Composite Blocks for Building Construction. **Materials**, v. 12, 2019.

SEMPLE, K. E.; EVANS, P. D. Wood-cement composites – Suitability of Western Australian mallee eucalypt, blue gum and melaleucas. **Rural Industries Research and Development Corporation.** Kingston, 64p., 2004.

SERRANO, J. S.; CASTRO, J. V. Materiales de construcción com propiedades aislantes a base de cascara de arroz. **In: Informes de la Construcción**, Instituto Eduardo Torroja, Madri, v. 37, n. 372, p. 53-64, 1985.

SIAD, H. et al. Effect of Rubber Aggregate and Binary Mineral Admixtures on Long-Term Properties of Structural Engineered Cementitious Composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, 2019.

SILVA, V.L.M.M.; GOMES, W.C.O.; ALSINA, L.S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 27-32, 2007.

SILVEIRA, M. N. L. et al. Utilização da madeira de cacto *Cereus jamacaru* como agregado na produção de bioconcreto leve. **Anais do 60° Congresso Brasileiro do Concreto**. Ibracon, Foz do Iguaçu, 2018.

SIMATUPANG, M. H.; SCHWARZ, G. H.; BROKER, F. W. Small scale plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: **WORLD FORESTRY CONGRESS**, 8., 1978, Indonesia. Proceedings, Indonesia, 1978.

SINDICATO DO COMÉRCIO DE CAFÉ EM GERAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – **SINDCAFE**: Disponível em: <http://www.sindicafesp.com.br/>. Acesso em: 29/09/2019.

SOCOL, C. R. Resíduo de café: um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado. In: **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. V. 1, p. 83-98, 2002.

SOUZA, J. D. G. T. et al. Modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando à compatibilização e aplicação como reforço em matriz cimentícia. **Ambiente Construído**, v. 17, n. 2, p. 269-283, 2017.

SRINIVAS, K.; NAIDU, A. L.; RAJU BAHUBALENDRUNI, M. V. A. A Review on Chemical and Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. **International Journal of Performability Engineering**, v. 13, n. 2, 2017.

STEVULOVA, N. et al. Effect of Physical Treatment of Hemp Hurds on The Properties of Biocomposites. In: **Geoconference On Nano, Bio and Green - Technologies For A Sustainable Future**, v. 2, p. 105-111, 2014.

TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-8, 2018.

TESSARO, A. B. et al. Compósitos cimentícios reforçados com fibras de eucalipto puras tratadas com tetraetilortossilicato (TEOS 98%). **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 47-55 2015.

TO-ON, P., UTTRA, S., SAENGSAATHIEN, A. Mechanical properties of lightweight concrete blocks containing bagasse ash. **International Sugar Journal**, v. 119, p. 780-785, 2017.

TORKAMAN, J. et al. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. **Construction & Building Materials**, v.50, p. 432–436, 2014.

VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento de carbonização e resíduos de grãos de café (*coffea arábica*) e de madeira (*Cedrelingacatenaeformis*), DUKE. **Revista Cerne**, p. 416-420, 2007.

WILLE, K. et al. Properties of strain hardening ultra high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC) under direct tensile loading. **Cement and Concrete Composites**, v. 48, p. 53–66, 2014.

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

**VIABILIDADE DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS
AGRÍCOLAS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE
CONCRETO**

**VIABILITY OF THE INCORPORATION OF AGRICULTURAL WASTE
FOR CONCRETE BLOCK PRODUCTION**

Souza, A. B. (1); Ferreira, H. S. (1); Mendes, R. F. (2)

(1) Departamento de Engenharia, UFLA

(2) Professor Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA

Endereço para correspondência: rafael.mendes@ufla.br

Resumo

O setor da construção civil requer uma grande extração dos recursos naturais em conjunto ao amplo consumo de energia, é primordial a busca de novas tecnologias com intuito de minimizar os impactos causados ao meio ambiente. Uma alternativa que vem sendo estudada é a incorporação de subprodutos naturais como elementos de reforço na produção de compósitos de matriz cimentícia, a fim de reduzir o uso de matérias-primas não renováveis. Como subprodutos naturais com maior destaque no Brasil tem-se a casca de café e o bagaço de cana, que apesar de serem usados em algumas aplicações como bioenergia e plásticos verdes, ainda apresentam um grande volume sem utilização, sendo necessário o descarte adequado e novas formas de agregação de valor aos resíduos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade de produção de blocos de concreto com substituição parcial do elemento pedrisco pelos resíduos agrícolas bagaço de cana e casca de café. Os percentuais de substituição avaliados foram de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% para ambas os materiais lignocelulósicos, além de um tratamento controle. Os materiais lignocelulósicos foram tratados para retirada de extrativos e posteriormente avaliados segundo sua caracterização morfológica, química e física. Os blocos foram tratados e avaliados quanto a absorção de água, densidade aparente, resistência à compressão e propriedades térmicas. O uso de partículas de bagaço de cana e casca de café promoveu diminuição da densidade e aumento da absorção de água dos blocos. Analisando tais propriedades físicas, todos os tratamentos atenderam as especificações das normas de comercialização. Os blocos com 7,5% de bagaço de cana e casca de café obtiveram o melhor resultado para isolamento térmico. A resistência a compressão dos blocos se mostrou inversamente proporcional a porcentagem de utilização de partículas, não permitindo o atendimento as normas de comercialização. Contudo, observou-se que os blocos com 5% de bagaço de cana apresentaram os resultados mais próximos para atendimento de todos os critérios da norma de comercialização, sendo o tratamento com maior potencial para continuação das pesquisas.

Palavras-chaves: casca de café; bagaço de cana; compósito cimentício.

Abstract

The construction sector requires a large extraction of natural resources together with widespread energy consumption, the search for new technologies is essential in order to minimize the impacts on the environment. An alternative that has been studied is the incorporation of natural by-products as reinforcing elements in the production of cement matrix composites, in order to reduce the use of non-renewable raw materials. The most prominent natural by-products in Brazil are coffee husks and sugarcane bagasse, which despite being used in some applications such as bioenergy and green plastics, still have a large unused volume, requiring proper disposal and new ways of adding value to waste. Given the above, the present work aimed to evaluate the feasibility of producing concrete blocks with partial replacement of the gravel element by agricultural residues sugarcane bagasse and coffee husk. For this, the replacement percentages evaluated were 2.5%, 5%, 7.5% and 10% for both lignocellulosic materials, as well as a control treatment. Lignocellulosic materials were evaluated according to their morphological, chemical and physical characterization. In turn, the blocks were evaluated for water absorption, bulk density, compressive strength and thermal properties. The use of sugarcane bagasse particles and coffee husk promoted density reduction and increased water absorption of the blocks, however, all treatments met the specifications of marketing standards. The blocks with 7.5% of sugarcane bagasse and coffee husk obtained the best result for thermal insulation. The compressive strength of the blocks was inversely proportional to the percentage of particle utilization, not allowing the compliance with the commercialization norms. However, it was observed that the blocks with 5% of sugarcane bagasse presented the closest results to meet all the criteria of the marketing standard, being the treatment with the greatest potential for further research.

Key-words: coffee husk; sugarcane bagasse; cementitious composite.

1 Introdução

A indústria da construção civil, setor que apresenta grande geração de volume de resíduos, é responsável pelo consumo da maior parte dos recursos naturais extraídos, além do fato de seus produtos serem os maiores consumidores de energia (FERREIRA et al., 2016; BESCIAK et al., 2018; SANTOS et al., 2019). Nesse contexto, passa a ser necessária a busca de novas tecnologias para o gerenciamento ambiental, objetivando uma produção mais sustentável, para assim auxiliar na minimização dos impactos negativos desse setor ao meio ambiente (LIMA et al., 2018; SILVEIRA et al., 2019).

Uma técnica popular presente há milênios de anos é a construção em alvenaria. Compreende de acúmulo de unidade de blocos e juntas de argamassa, que permitem construção rápida, eficiente e durável (CHIDIAC et al., 2011). As unidades blocos podem ser constituídas de cerâmica, concreto ou sílico-calcáreas (IZQUIERDO et al., 2017).

Os blocos de concreto estão entre os principais materiais da indústria da construção. Sua característica mais exclusiva é a capacidade de ser moldado em diferentes formas, espessuras, densidades e resistências para diferentes aplicações de engenharia civil (SCHOLZ; GRABOWIECKI, 2007; SANTOS et al., 2019). Porém, para sua produção é requerido grande volume de recursos naturais, como agregado e cimento (MO et al., 2016).

Sendo assim, existe uma necessidade urgente em tornar sua produção mais ambientalmente sustentável. Dessa maneira, o estudo da incorporação de resíduos vem se mostrando promissor, a fim de reduzir não apenas o uso de agregados convencionais como também dar destino adequado a um grande volume de resíduos que não recebem uma reciclagem adequada (YANG et al., 2011; MENG et al., 2018; XUAN et al., 2018; MORALES; CUEVAS, 2019).

De acordo com Bertolini et al. (2014); Torkaman et al. (2014), Izquierdo et al. (2017) e Kundu et al. (2018), a praticabilidade da produção de compósitos de matriz cimentícia elaborados com fibras ou partículas vegetais vem ganhando destaque nas pesquisas. Passa ser viável a utilização de resíduos agroindustriais (DOS SANTOS et al., 2014; FILHO; MARTINS, 2017), pois, até então, esses resíduos agrícolas não eram utilizados com lucro e o descarte era considerado nocivo ao meio ambiente (MURTHY; NAIDU, 2012; NAVAS et al., 2015). Além da grande disponibilidade em muitos países emergentes e seu baixo custo, apresentam como vantagens uma elevada resistência à tração e um baixo módulo de elasticidade, de maneira com que seu emprego como reforço aplicado às matrizes cimentícias proporciona uma melhora nas propriedades do concreto, no que diz respeito ao controle de abertura à propagação de rachaduras, como também uma maior eficiência no isolamento térmico e uma diminuição da

densidade final do compósito (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015; IZQUIERDO et al., 2017)

Dentre os resíduos agrícolas mais obtidos no Brasil estão o bagaço de cana e a casca de café. O bagaço de cana de açúcar é um resíduo agrícola presente em grande escala no Brasil em decorrência do grande cultivo nacional de cana de açúcar. Esse cultivo é predominantemente em prol da produção de açúcar e de álcool. A cada tonelada de cana processada é gerado um total de 280 kg de resíduo (SILVA et al., 2007). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), IBGE, a estimativa de produção do país referente a safra de 2019/2020 é de 665,9 milhões de toneladas. Devido suas características físico-químicas, o bagaço vem sendo utilizado em um amplo campo, dentre eles a produção de ração animal, de plástico biodegradável e como fonte de energia (TO-ON et al., 2017).

O café é uma das bebidas mais populares do mundo, sua importância comercial tem crescido constantemente (PUA et al., 2019). De acordo com a Organização Internacional do Café, mais de 2,3 bilhões de xícaras de café são consumidas diariamente em todo o mundo (HUANG et al., 2018). Seu processamento gera grandes quantidades de resíduos agrícolas, alcançando cerca de 30 a 50% do peso total do café produzido, a depender do método de processamento (FRANCA; OLIVEIRA, 2015). O Brasil se destaca como maior produtor cafeeiro mundial (PANDEY et al., 2000; MENDES et al., 2010; NISHIJIMA; SAES; POSTALI, 2012; FASSIO et al.; 2015). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), IBGE, a estimativa da safra de café no ano de 2019 é de 3 milhões de toneladas. Atualmente, uma das aplicações desse resíduo é como substrato para cultivos, devido à presença de nutrientes como Nitrogênio (N) e Potássio (K), com também para a produção de bioenergia. (DZUNG; DZUNG; KHANH, 2013).

Diante do exposto, com intuito de reduzir a utilização de materiais não renováveis, reutilizar resíduo e buscar uma melhora no desempenho de blocos de concreto com reforço de partículas naturais, o presente trabalho objetivou estudar a viabilidade da produção de blocos de concreto para vedação com substituição parcial do material pedrisco pelos resíduos agrícolas bagaço de cana e casca de café.

2 Material e Métodos

2.1 Obtenção e processamento do material lignocelulósico

As partículas de bagaço de cana foram obtidas em um alambique no município de Lavras – MG e as partículas de casca de café em uma beneficiadora de grãos na cidade de Santo Antônio

do Amparo – MG. Assim que as partículas foram recebidas, elas foram processadas em um moinho martelo com intuito de diminuir suas dimensões. Posteriormente, passaram por um ajuste granulométrico com auxílio de conjunto de peneiras vibratórias e a granulometria utilizada foi aquela que passou na peneira de abertura 12 *mesh* e ficou retida na abertura de 20 *mesh*.

As partículas de bagaço de cana foram tratadas por imersão em água fria por um período de 24h, de acordo com a metodologia indicada por Ferreira et al. (2016). As partículas de casca de café foram imergidas em solução de água e 1% Hidróxido de Sódio – NaOH por período de 24h, e posteriormente lavadas em água fria, conforme metodologia indicada por Mesquita et al. (2017) e Fonseca et al. (2019). O objetivo foi proporcionar diminuição na incompatibilidade química presente entre o cimento e a biomassa vegetal, incompatibilidade essa que acarreta retardamento das reações de hidratação do cimento e até mesmo podem comprometer a sua solidificação, conforme relatado em Silveira et al. (2019).

2.2 Caracterização dos materiais lignocelulósicos

A caracterização morfológica do material lignocelulósico foi realizada com o uso do *Software ImageJ*®. Foram obtidas informações relativas ao seu comprimento e diâmetro e calculado o índice de esbeltez, sendo adotada uma base amostral de 30 medições para cada direção.

Para a caracterização química, o material já moído foi classificado em peneiras de 40 e 60 *mesh*, utilizando as partículas retidas na peneira de 60 *mesh*. Posteriormente, quantificou os teores de extrativos, lignina, holocelulose e cinzas de acordo com as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Normas utilizadas para análise da composição química dos materiais lignocelulósicos.

Constituintes	Normas
Extrativos	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Lignina	NBR 7989 (ABNT, 2010)
Holocelulose	Browning (1963)
Cinzas	NBR 13999 (ABNT, 2017)

A caracterização física das partículas se deu a partir do ensaio de densidade aparente de acordo com adaptações da norma NBR 11941 (ABNT, 2003).

2.3 Produção dos blocos

Os blocos avaliados nesse trabalho são do tipo não estruturais, com a função apenas de vedação. Os blocos foram confeccionados em uma fábrica localizada no município de Ijaci – MG, seguindo os procedimentos da norma NBR 6136 (ABNT, 2016). As dimensões foram de 14x19x39 cm e o traço controle, em massa, adotado foi de 20:100:170:17,05 (cimento: areia: pedrisco: água).

Como tratamentos foram utilizados percentuais de 2,5%, 5%, 7,5% e 10% para substituição parcial do componente pedrisco pelas partículas vegetais, além de um tratamento controle sem utilização de material lignocelulósico para fins de comparação. A substituição do pedrisco pelas partículas de bagaço de cana e casca de café foi realizada em volume, porém, para facilitar a produção cada elemento teve sua unidade volumétrica transformada em massa. Desta maneira, as Tabelas 2 e 3 apresentam os traços, em quilograma, utilizados em todos os tratamentos.

Tabela 2- Traço, em massa, com partículas de bagaço de cana.

% de Resíduo	Cimento (kg)	Areia (kg)	Partícula de bagaço de cana (kg)	Pedrisco (kg)	Água (L)
0,0%	20	100	0,0	170,00	17,05
2,5%	20	100	0,3	165,75	17,05
5,0%	20	100	0,5	161,50	17,05
7,5%	20	100	0,8	157,25	17,05
10%	20	100	1,0	153,0	17,05

Tabela 3- Traço, em massa, com partículas de casca de café.

% de Resíduo	Cimento (kg)	Areia (kg)	Partícula de casca de café (kg)	Pedrisco (kg)	Água (L)
0,0%	20	100	0,0	170,00	17,05
2,5%	20	100	0,5	165,75	17,05
5,0%	20	100	1,1	161,50	17,05
7,5%	20	100	1,6	157,25	17,05
10%	20	100	2,2	153,00	17,05

Os materiais para produção dos blocos foram levados até o topo do misturador através de uma esteira. No equipamento eles foram misturados de forma mecânica, a fim de obter uma massa homogênea. Posteriormente, foram lançados em uma esteira posicionada abaixo do misturador para serem transportados até o topo vibro-prensa, onde foram confeccionados, como mostra a sequência de produção presente na Figura 1. Após sua produção, os blocos foram mantidos em temperatura ambiente por 28 dias, a fim de completar o período de cura do cimento para posterior determinação de suas propriedades.

Figura 1 – Sequência de produção do bloco de concreto.



Legenda: A – Transporte do material até o misturador e posteriormente até a vibro-prensa por meio de esteiras. B – Transporte do material do misturador até a vibro-prensa por meio de esteira. C – Vibro-prensa. D – Blocos de concreto logo após produção.

Fonte: Do autor (2019).

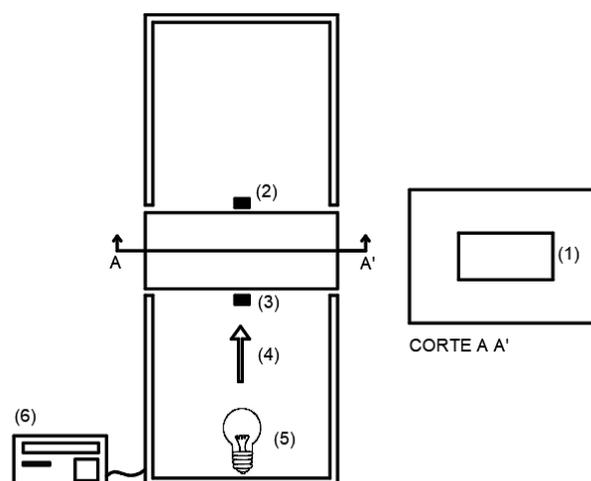
2.4 Caracterização dos blocos

A determinação das propriedades físicas e mecânica dos blocos se deu após os 28 dias de fabricação dos blocos para que eles passassem pelo processo de cura. As propriedades físicas determinadas foram a absorção de água e a densidade aparente, seguindo as normas NBR 9778 (ABNT, 2009) e NBR 13280 (ABNT, 2005), respectivamente. A propriedade mecânica avaliada foi a resistência à compressão e seguiu a norma NBR 6136 (ABNT, 2016) para sua execução.

O ensaio para determinação de transmissão térmica dos blocos seguiu uma adaptação do método da coluna fracionada modificado descrita por Santos et al. (2011). Os blocos foram expostos, individualmente, em uma câmara isolada termicamente. A câmara era composta por três partes, uma câmara inferior, com uma lâmpada incandescente trabalhando como fonte de calor a uma temperatura controlável de aproximadamente 50°C, uma câmara intermediária para locação do bloco e uma câmara superior, como mostra a Figura 2.

Na câmara central o bloco era encaixado de maneira que não apresentassem espaços em suas laterais, para evitar a fuga de calor, e era disposto horizontalmente para retratar a real condução de calor em uma alvenaria. Para coleta dos dados o equipamento dispunha de termopares dispostos nas câmaras superior e inferior e um equipamento *Data Collector*, modelo IM DC 100-01E. O isolamento era obtido quando a temperatura no termopar superior era estabilizada.

Figura 2 – Equipamento de isolamento térmico.



Legenda: (1) Bloco de concreto; (2) e (3) termopares, (4) fluxo de calor, (5) fonte de calor e (6) *Data Collector*.

Fonte: adaptado Vilela (2016).

Foram avaliadas a condutividade térmica, resistência térmica e transmitância térmica, descritas nas equações (1), (2) e (3):

$$\lambda = \frac{\text{radiação} \cdot e}{\Delta T} \quad (1)$$

$$RT = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

$$TT = \frac{1}{RT} \quad (3)$$

Em que:

λ – condutividade térmica (W/(m.°C));

Radiação – radiação emitida pela fonte de calor (W/m²);

e – Espessura do bloco (m);

ΔT – isolamento térmico (°C);

RT – resistência térmica do bloco (m² °C/W);

TT – transmitância térmica (W/m².°C).

Por fim, também foi realizada a microscopia eletrônica, o equipamento utilizado foi um microscópio digital com capacidade de aumento de até 1600X.

Para a análise estatísticas dos dados foi empregado um delineamento inteiramente casualizado. Foi realizada análise de variância (ANOVA) e análise de regressão, ambos a 5% de significância, pelo *software* Sisvar.

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização dos materiais lignocelulósicos

Os valores referentes à caracterização morfológica do material lignocelulósico estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização morfológica das partículas vegetais.

	Bagaço de Cana	Casca de Café
Comprimento (mm) ^{NS}	2,78 ^(0,75)	2,58 ^(0,62)
Diâmetro (mm) ^{NS}	0,48 ^(0,12)	1,09 ^(0,24)
Índice de Esbeltez [*]	5,79 ^(0,92)	2,35 ^(0,86)

* – Significativo ao nível de 5% de significância. NS – Não significativo ao nível de 5% de significância. Os valores entre parêntesis representam os desvios.

Não foi observada diferença estatística entre as partículas de bagaço de cana e casca de café quando avaliados os valores de comprimento e diâmetro. As partículas de bagaço de cana apresentam um formato longilíneo, em que o comprimento é representativamente maior que o

diâmetro, já as partículas de casca de café, com uma maior proximidade dos valores de comprimento e diâmetro, seu formato se aproxima mais do oval. Como a diferença entre as dimensões das partículas do bagaço de cana é maior quando comparado às partículas da casca de café, o índice de esbeltez do bagaço de cana é maior quando comparado ao da casca de café.

De acordo com Baldin et al. (2016), o parâmetro de índice de esbeltez exerce influência no que diz respeito à área de contato entre a partícula vegetal e a matriz cimentícia, dado que quanto maior a área de contato, resulta em uma melhor aderência entre partícula e matriz, proporcionando uma maior estabilidade do compósito e como consequência, espera-se melhores propriedades mecânicas.

Azzini et al. (1988), em seus estudos, classificaram como ideal um comprimento entre 1 e 3,5 mm para aplicação de fibras e partículas como reforço. Ambas as partículas apresentaram bons resultados ao se encontrarem dentro de tais valores. Teixeira et al. (2018) explicam que com tais dimensões a dispersão do reforço na matriz é facilitada, além de proporcionar uma melhor interação entre os elementos do compósito.

Os valores para os componentes químicos das partículas de bagaço de cana e casca de café estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização química das partículas após o tratamento.

	Extrativos (%) *	Lignina (%) ^{NS}	Cinzas (%) ^{NS}	Holocelulose (%) ^{NS}
Bagaço de Cana	9,23 ^(0,48)	23,48 ^(0,87)	0,98 ^(0,37)	66,31 ^(0,65)
Casca de Café	19,48 ^(1,37)	26,43 ^(1,55)	0,62 ^(0,03)	58,09 ^(2,52)

* – Significativo ao nível de 5% de significância. NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Os valores entre parêntesis representam os desvios.

Ao comparar a análise química dos dois materiais lignocelulósicos, houve diferença estatística entre os materiais apenas para os extrativos, sendo as partículas de casca de café com maior presença de extrativos. Segundo Frybort et al. (2008); Almeida et al. (2013); Chakraborty et al. (2013) e Chechin et al. (2018), os extrativos são os elementos presentes na matéria lignocelulósica de maior responsabilidade na inibição da reação de hidratação do cimento, acarretando um retardo no processo de cura da matriz cimentícia, influenciando diretamente

nas propriedades físicas e mecânicas finais do compósito. Dessa maneira, a casca de café tende afetar mais as propriedades da matriz cimentícia em seu processo de solidificação.

No que diz respeito à interação da lignina e cimento, alguns estudos apontam que a mesma pode ser degradada de maneira a enfraquecer as ligações entre a partícula vegetal e a matriz cimentícia, acarretando uma diminuição da vida útil dos compósitos (AGOPYAN et al., 2005). E por outro lado, Mohr et al. (2006), relatam que a lignina propicia uma melhora no desempenho da matriz, através do aumento da estabilidade dimensional e da diminuição da higroscopicidade do material lignocelulósico.

A holocelulose é constituída pela soma dos constituintes celulose e hemicelulose. A celulose, devido sua cristalinidade, apresenta alta influência nas propriedades físicas e mecânicas das partículas vegetais, como a elasticidade e a resistência à tração. Porém, a hemicelulose pode acarretar desvantagens, como a higroscopicidade, inchamento e plasticidade da partícula vegetal (GOODRICH et al., 2010).

A Tabela 6 apresenta as densidades dos materiais lignocelulósicos após o tratamento.

Tabela 6 – Densidade aparente dos materiais lignocelulósicos.

Densidade aparente (g/cm³)	
Bagaço de Cana^{NS}	Casca de Café^{NS}
0,0610 ^(0,0114)	0,1726 ^(0,0449)

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância. Os valores entre parêntesis representam dos desvios.

Não houve diferença estatística para os valores das densidades aparentes das partículas de bagaço de cana e casca de café. Analisando valores de densidade aparente presentes na literatura para tais materiais vegetais, Mendes et al. (2012) encontraram 0,098g/cm³ para o bagaço de cana, já Iftikhar et al. (2019) encontraram 0,125g/cm³. Vale et al. (2007), em seu trabalho acerca de resíduos de grãos de café, encontraram valores de 0,166 g/cm³ para a casca de café. Por sua vez, Mendes et al. (2010), estudando sobre a incorporação de casca de café em painéis aglomerados, encontraram o valor de 0,195 g/cm³.

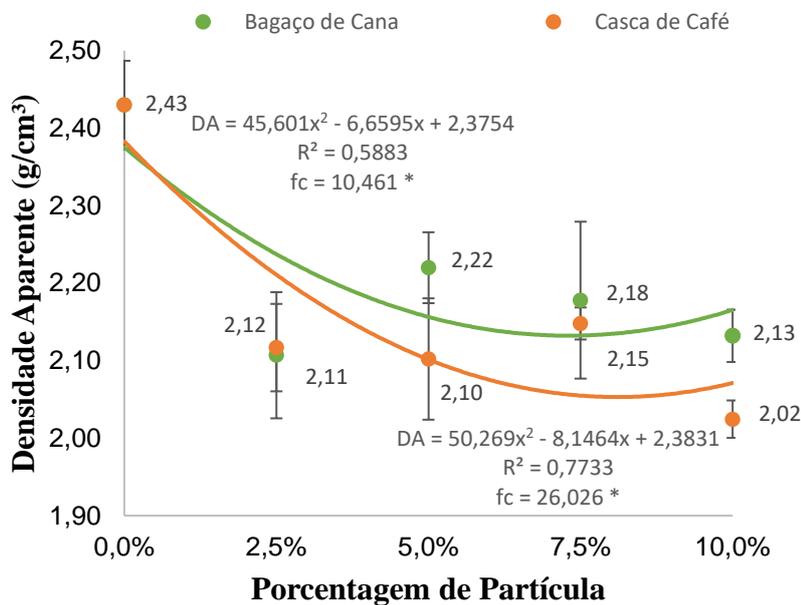
Os valores encontrados na presente pesquisa para a caracterização física das partículas vegetais estão próximos dos valores disponíveis na literatura. Valério et al. (2008), Bekalo e Reinhardt (2010), esclarecem que essas pequenas variações se dão por fatores como a diferença de idade, localização geográfica, clima e condições do solo, além do fato de alterar de planta para planta e dentro de diferentes partes da mesma planta.

Teixeira et al. (2018) explicam que a baixa densidade do material de reforço em compósitos à base de cimento pode influenciar diretamente na dispersão do material, de maneira a facilitá-la. Além de contribuir para uma redução na densidade final do compósito, propiciando materiais mais leves que contribuirão na edificação de estruturas com menor peso.

3.2 Propriedades físicas dos blocos

Na Figura 3 são apresentados os valores da densidade aparente para os blocos com adição de partícula de bagaço de cana e casca de café.

Figura 3 – Densidade aparente dos blocos com partícula vegetal.



* – Significativo ao nível de 5% de significância.

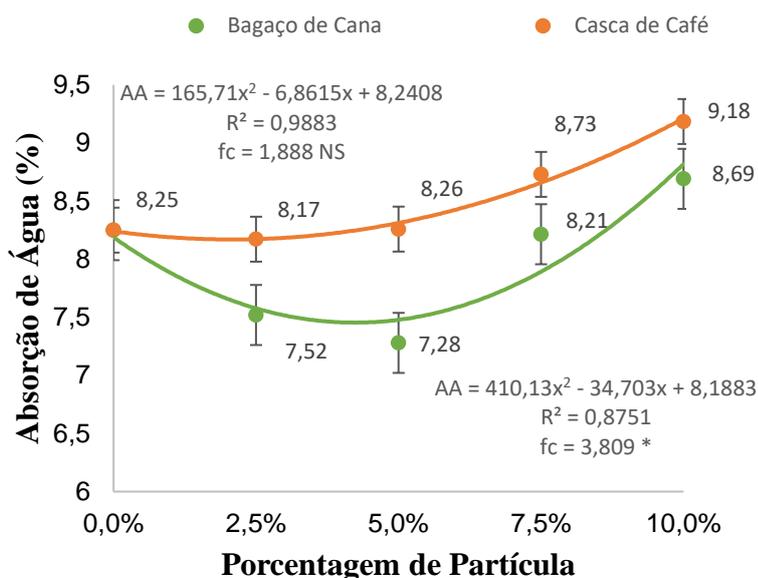
É possível observar para os dois tipos de materiais lignocelulósicos que à medida que aumentou a porcentagem de reforço proporcionou a redução da densidade dos blocos. Para ambos os casos pode-se observar uma diminuição acentuada com o acréscimo de 2,5% de partícula vegetal. Resultado semelhante também foi encontrado por Torkaman et al. (2014), sendo observado valores de densidade aparente inversamente proporcionais à porcentagem de substituição da partícula vegetal. Os autores explicam pelo fato da densidade básica do material lignocelulósico ser inferior à densidade do material a ser substituído. Outro fator preponderante é a interface partícula/ matriz, que permite a criação de porosos e, assim, reduz a densidade do compósito.

O resultado de diminuição na densidade do bloco com presença de partículas vegetais é visto como um fator positivo para a construção civil, uma vez que possibilita a construção de

edificações mais leves, acarretando em esforços menores exigidos pelos pilares, vigas e até mesmo na fundação, além de facilitar o traslado do material dentro da obra.

A Figura 4 apresenta os valores encontrados para a absorção de água para os blocos com adição de partícula de bagaço de cana e casca de café.

Figura 4 – Absorção de água dos blocos com partícula vegetal.



* – Significativo ao nível de 5% de significância; NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Em relação aos blocos com bagaço de cana, houve redução da absorção de água ao utilizar 2,5 e 5% de partícula quando comparado ao tratamento controle, seguido do aumento gradual de valores. Para os blocos com presença de casca de café, houve uma pequena diminuição no tratamento de 2,5%, já em 5% chegou próximo do tratamento controle e posteriormente acompanha-se o aumento proporcional ao acréscimo da porcentagem de partícula vegetal adicionada. Esse efeito presente em ambos os casos pode ser explicado devido ao fato do preenchimento de espaços vazios na matriz pela partícula vegetal até o tratamento de 5%, em decorrência do controle granulométrico, proporcionando a diminuição da absorção de água. Posteriormente, para os tratamentos de 7,5 e 10%, já se tem grande parte dos vazios preenchidos e passa a ser predominante o efeito de higroscopicidade da biomassa vegetal, acarretando um aumento da absorção de água no compósito, conforme explicado por Wei et al. (2019).

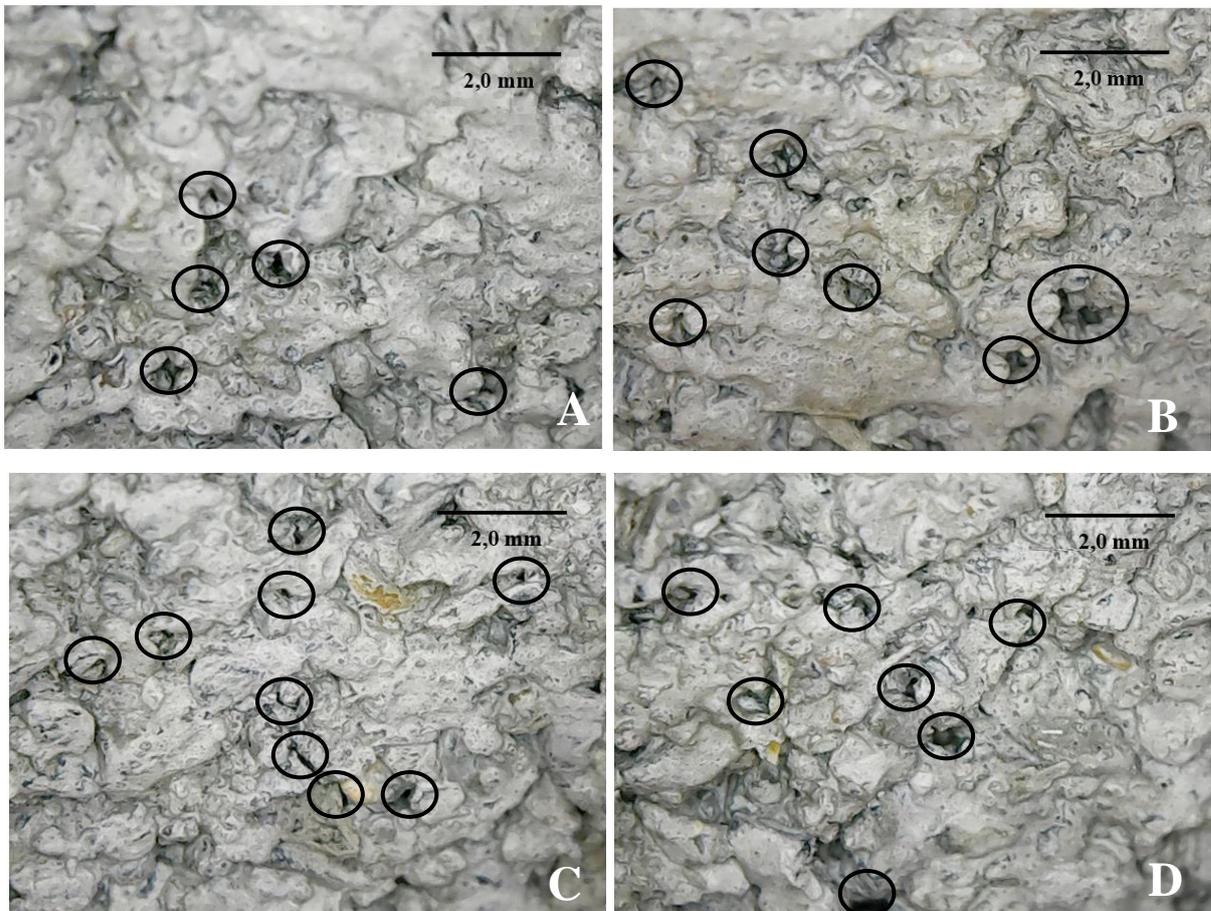
Os tratamentos com presença de casca de café obtiveram maiores valores para absorção de água quando comparado aos tratamentos com partícula de bagaço de cana. O que pode ser decorrente do fato da casca de café apresentar um maior teor de extrativos quando comparada

à partícula de bagaço de cana. Como explicado anteriormente, a presença de extrativos pode propiciar a inibição do processo de hidratação do cimento que acarreta o enfraquecimento entre a partícula e a matriz, tornando o material mais poroso e susceptível à absorção de água (FRYBORT et al., 2008; ALMEIDA et al., 2013; CHAKRABORTY et al., 2013; CHECHIN et al., 2018).

Outro fator preponderante é a granulometria das partículas de casca de café, devido seu formato ocasionado pela proximidades de suas dimensões de diâmetro e comprimento, e como consequência apresentando um menor índice de esbeltez, propiciou uma menor aderência entre partícula e matriz cimentícia quando comparado às partículas de bagaço de cana, e assim, permitindo a criação de regiões porosas ao redor da partícula e mais susceptíveis à absorção de água (BALDIN et al., 2016).

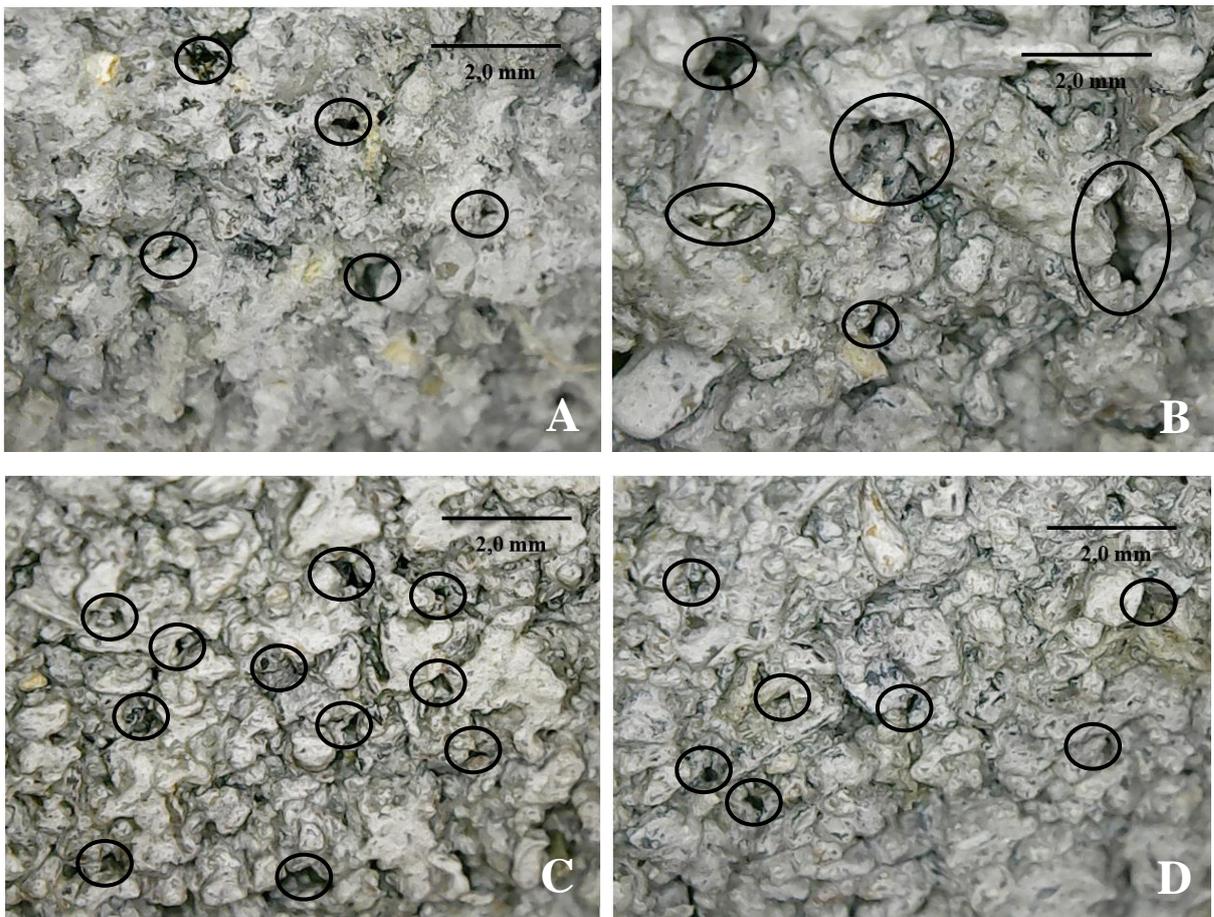
Nas Figuras 5 e 6, pode-se observar a presença de poros em ambos os casos, porém com maior predominância nos tratamentos com casca de café.

Figura 5 – Microscopia eletrônica para os blocos com presença de bagaço de cana.



Legenda: A – 2,5%; B – 5%; C – 7,5%; D – 10%.

Figura 6 – Microscopia eletrônica para os blocos com presença de casca de café.



Legenda: A – 2,5%; B – 5%; C – 7,5%; D – 10%.

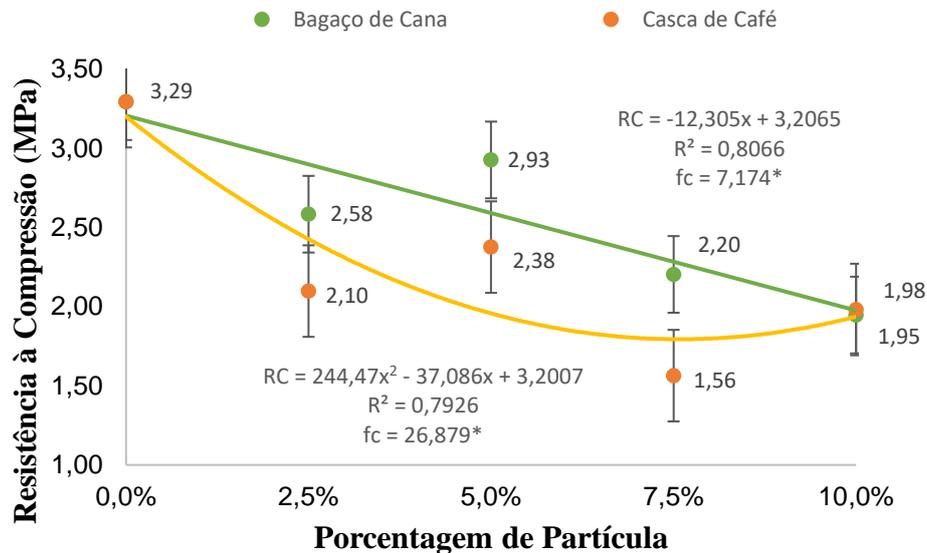
Torkaman et al. (2014) em seus estudos sobre blocos de concreto com adição de fibras de madeira também observou um aumento considerável da propriedade física de absorção de água à medida que se acrescentava fibra vegetal. Sua explicação se dá não só pelo fato da menor resistência de união entre a fibra e o cimento, devido à inibição da cura do cimento. Como também pelo motivo dos materiais lignocelulósicos possuírem alta natureza hidrofílica, resultando em uma alta taxa de absorção de água. A terceira razão possível pode ser atribuída à baixa densidade aparente da fibra vegetal, sua dispersão na matriz se torna mais comprometida, e assim, causa mais espaço vazio no compósito.

É importante ressaltar ainda que todos os tratamentos se enquadram no valor máximo de 10% estipulado pela NBR 6136 (ABNT, 2016). Além de não apresentarem aumento quando comparado ao controle, como previsto pela literatura, exceto nas porcentagens de 7,5% de casca de café e 10% em ambos os casos.

3.3 Propriedade mecânica dos blocos

Na Figura 7 são apresentados os valores encontrados para a resistência à compressão dos blocos em relação à porcentagem de partículas de bagaço de cana e casca de café.

Figura 7 – Resistência à compressão de blocos com partícula vegetal.



* – Significativo ao nível de 5% de significância.

Em ambos os casos pode-se observar uma diminuição da resistência à compressão à medida que utilizou maior porcentagem de partícula vegetal, sendo todos valores inferiores ao tratamento controle. Os valores para os tratamentos com bagaço de cana se mostraram superiores aos da casca de café, exceto na porcentagem de 10%. Para o bagaço de cana, as tensões variaram linearmente de acordo com os tratamentos, diminuindo de maneira proporcional a cada tratamento. Já os tratamentos com presença de casca de café apresentaram uma diminuição acentuada no tratamento de 2,5% e posteriormente se manteve. Tanto para o material bagaço de cana, quanto para a casca de café, o tratamento com 5% de partícula apresentou uma maior resistência à compressão.

Izquierdo et al. (2017), ao estudarem blocos de concreto reforçados com partículas de sisal; Torkaman et al. (2014), ao avaliarem blocos de concreto com adição de fibras de madeira, e Moreira et al. (2012), ao avaliarem bloco de concreto com adição de serragem, também observaram uma diminuição considerável da resistência à compressão dos blocos com presença da partícula/fibra vegetal.

Izquierdo et al. (2017) explicam tal resultado pelo fato de as partículas permitirem que o concreto apresente regiões porosas, quebradiças e microfissuradas, refletindo diretamente na

resistência à compressão do material. Outro fator preponderante é a presença de extrativos na composição química da partícula vegetal, que propiciou uma inibição de hidratação do cimento e afetou diretamente a resistência mecânica final do compósito, em especial na casca de café por apresentar maior porcentagem.

A melhora da resistência à compressão aos 5% de partícula em ambos os casos pode ser explicada devido à uma melhor composição granulométrica e preenchimento dos poros. Proporcionando uma melhor distribuição das fissuras, de maneira a diminuir a área de abertura entre elas e, assim, propiciando um aumento na resistência à compressão, conforme explicado por Khlef et al. (2019). Posteriormente, com maior presença do material lignocelulósico, nos tratamentos de 7,5 e 10%, há um aumento na presença de extrativos, de maneira com que o efeito de inibição da cura da matriz cimentícia passa a ser preponderante, resultando na diminuição na resistência à compressão do compósito.

O valor de resistência à compressão mínimo estipulado pela NBR 6136 (ABNT, 2016) para blocos de vedação, classe C, é maior ou igual à 3,0 MPa. Sendo assim, apenas o tratamento controle atendeu a norma.

3.4 Propriedades térmicas dos blocos

A Figuras 8 e 9 apresentam as temperaturas registradas pelos termopares durante o tempo do ensaio de isolamento térmico correspondente aos blocos com adição de bagaço de cana e casca de café, respectivamente.

Figura 8 – Isolamento térmico dos blocos com adição de bagaço de cana.

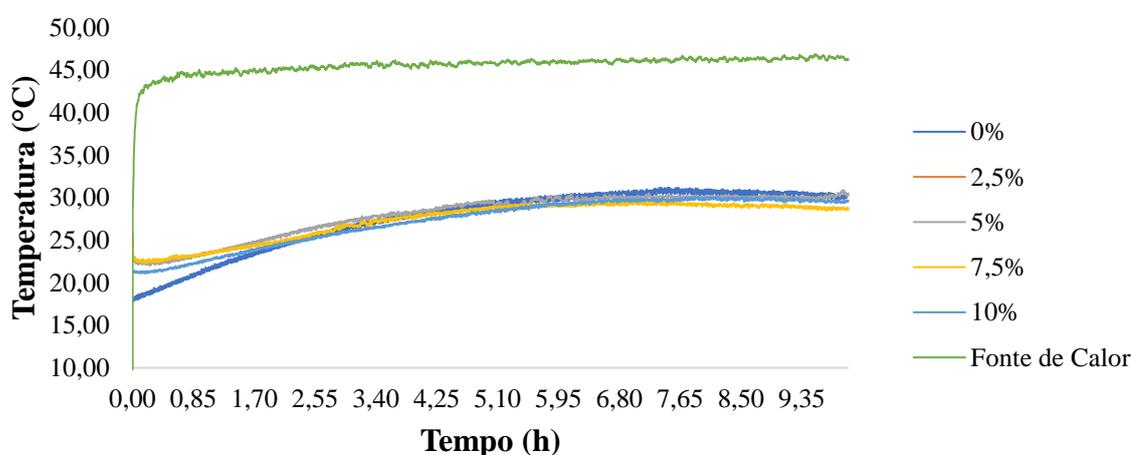
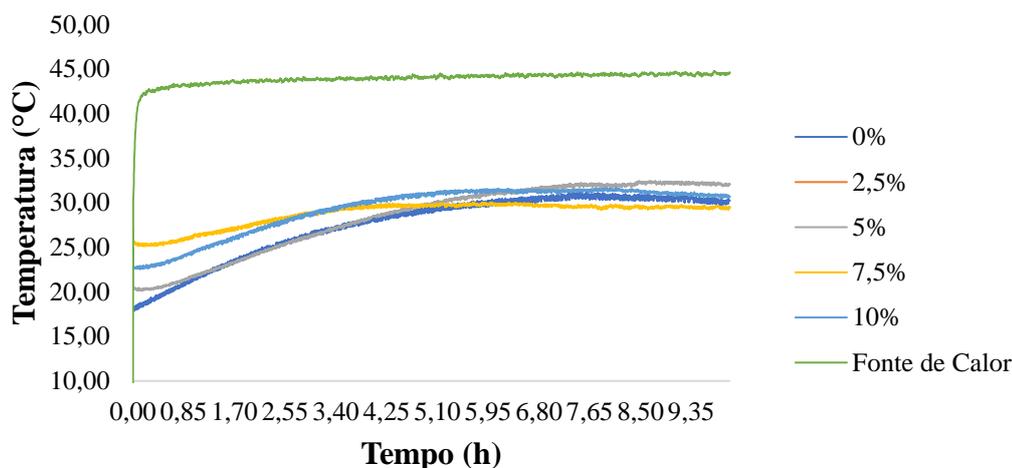


Figura 9 – Isolamento térmico dos blocos com adição de casca de café.



É possível observar que todos os tratamentos, inclusive o controle, obtiveram um comportamento térmico semelhante. É pertinente ressaltar, que para ambos os blocos, com presença de partículas de bagaço de cana e casca de café, os tratamentos de 7,5% apresentaram uma menor temperatura ao final do ensaio.

As Tabelas 7 e 8 apresentam a condutividade térmica, resistência térmica e transmitância térmica obtidos para os blocos com adição de bagaço de cana e casca de café em função das partículas vegetais, respectivamente.

Tabela 7 – Propriedades térmicas para os blocos com bagaço de cana.

Tratamento	ΔT (°C)	λ (W/(m.°C)) ^{NS}	RT (m ² .°C/W)	TT (W/m ² .°C)
0%	19,570	0,437	0,0343	29,126
2,5%	22,578	0,379	0,0396	25,246
5%	21,488	0,398	0,0377	26,527
7,5%	24,410	0,350	0,0428	23,351
10%	19,820	0,431	0,0348	28,759

Legenda: ΔT – Variação da temperatura; λ – Condutividade térmica; RT – Resistência Térmica; TT – Transmitância térmica.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Tabela 8 – Propriedades térmicas para os blocos com casca de café.

Tratamento	ΔT (°C)	λ (W/(m.°C)) ^{NS}	RT (m ² .°C/W)	TT (W/m ² .°C)
0%	19,570	0,437	0,0343	29,126
2,5%	18,318	0,467	0,0321	31,118
5%	17,662	0,484	0,0310	32,273
7,5%	19,794	0,432	0,0347	28,796
10%	18,735	0,456	0,0329	30,424

Legenda: ΔT – Variação da temperatura; λ – Condutividade térmica; RT – Resistência Térmica; TT – Transmitância térmica.

NS – Não significativo ao nível de 5% de significância.

Para ambos os materiais, a condutividade térmica não diferenciou estatisticamente entre os tratamentos. No que diz respeito à resistência térmica, quanto maior, melhor é para o conforto térmico do material, pois diz respeito ao quanto o material pode resistir à condução do calor. Por sua vez, a transmitância térmica trata da quantidade de calor que atravessa, à cada segundo, um metro quadrado da estrutura, e o mais desejável é o menor valor. Portanto, analisando as Tabelas acima, os tratamentos que apresentaram melhor comportamento térmico para ambos os casos é o 7,5%.

Esses resultados podem ser interpretados devido à porosidade apresentada no material, conforme visto nas Figura 5 e 6, em ambos os casos o tratamento com maior presença de poros é o 7,5%. Segundo Ricklefs et al. (2017) e Liu et al. (2019), os vazios presentes no material confinam o ar, que apresenta uma condutividade inferior ao material sólido, propiciando uma diminuição na condutividade térmica final do bloco. Outro fator que também pode contribuir é a presença do lúmen oco nas partículas vegetais, diminuindo a densidade aparente da partícula e permitindo-a atuar como um isolante térmico (TORKAMAN, et al. 2014).

Desta maneira, os tratamentos de 7,5% mostraram-se melhores no que diz respeito ao isolamento térmico quando comparados aos tratamentos de 10% devido ao fato dos espaços vazios terem maior influência na condutividade térmica do que o lúmen oco nas partículas vegetais.

Calculada conforme especificações da NBR 15220 (2003), a condutividade térmica de um bloco de concreto nas dimensões de 39x19x14 cm é de 0,473 W/(m.°C). Dessa maneira, todos os blocos com presença de partículas vegetal se enquadram às especificações da norma, exceto o tratamento com 5% de casca de café.

4 Conclusão

A inserção de bagaço de cana e casca de café na produção de blocos de concreto para vedação apresentou uma diminuição da densidade final do compósito e um aumento na absorção de água, sendo que todos os tratamentos se enquadram nos valores prescritos nas normas de comercialização. Para as propriedades térmicas, em ambos os casos os tratamentos com 7,5% de partículas alcançaram melhor desenvolvimento. Ao analisar a propriedade mecânica de resistência à compressão, a presença de material lignocelulósico afetou negativamente os blocos, apresentando-se inversamente proporcional à presença de matéria vegetal.

Por fim, o tratamento que se apresenta com maior potencial é aquele com 5% de bagaço de cana, pois apresentou valores inferiores ao tratamento controle no que diz respeito à densidade aparente, à absorção de água e condutividade térmica, sua resistência à compressão se aproxima do valor exigido pela norma comercial. Como sugestão para um próximo trabalho seria o reestudo do traço para alcançar a melhora na propriedade mecânica do material.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Financiamento à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Referências Bibliográficas

AGOPYAN, V., et al. Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, p. 527–536, 2005.

ALMEIDA, A. E. F. S. et al. Improved durability of vegetable fiber in forced cement composite subject to accelerated carbonation at early age. **Cement & Concrete Composites**, v. 42, n. 2, p. 49-58, 2013.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. Cellulosic fiber reinforced cementbased composites: a review of recent research. **Construction & Building Materials**. v, 79, p. 115-128, 2015;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 10 p. 2018.

_____.**NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 5 p. 2017.

_____.**NBR 6136**: Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria –Requisitos. 10p. 2016.

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

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

_____.**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 3p. 2009.

_____.**NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. 2p. 2005.

_____.**NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 7p. 2003.

_____.**NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro. 21p. 2003.

_____.**NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 23p. 2003.

AZZINI, A. et al. **Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de bambu satuldoidesmunro**. *Bragantia*, v. 47, p. 239–246, 1988.

BALDIN, T. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.11, n.3, p.230-237, 2016.

BEKALO, S. A.; REINHARDT, H. W. Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. **Materials and Structures**, v. 43, p. 1049-1060, 2010.

BERTOLINI, M. S. et al. Woodcement composites from wastes of *Pinus* sp. wood: Effect of particles treatment. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n 2, p. 146-149, 2014.

BESCIAK, G. et al. Bioconcrete - the building material of the future? **Cement Wapno Beton**, v. 23, p. 137-148, 2018.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley, 689 p. 1963.

CHECHIN, L. et al. Effect of adding blast furnace slag to composites with mosso bamboo. **Matéria**, v.23, n.4, 2018.

CHAKRABORTY, S. et al. Effect of jute as fiber reinforcement controlling the hydration characteristics of cement matrix. **Ind. Eng. Chem. Res**, v. 53, p. 1252–1260, 2013.

CHIDIAC, S.E.; MIHALJEVIC, S.N. Performance of dry cast concrete blocks containing waste glass powder or polyethylene aggregates. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, p. 855-863, 2011.

DAGLIA, M. et. al. In vitro antioxidant and ex vivo protective activities of green and roasted coffee. **J Agric Food Chem**, v. 48, p. 1449–1454, 2000.

DOS SANTOS, M. F. N. et al. Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 345-355, 2014.

DZUNG, N. A., DZUNG, T. T., KHANH, V. T. P. Evaluation of Coffee Husk Compost for Improving Soil Fertility and Sustainable Coffee Production in Rural Central Highland of Vietnam. **Resources and Environment**, v. 3, p. 77-82, 2013.

FERREIRA, S. R. et al. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction & Building Materials**, v. 139, p. 551-561, 2016.

FILHO, S. T. M.; MARTINS, C. H. Use of light and heavy ashes of the sugarcane bagasse as mineral addition in the product of concrete blocks for street paving. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, p. 1205-1224, 2017.

FONSECA, C. S. et al. Jute fibers and micro/nanofibrils as reinforcement in extruded fiber-cement composites. **Construction & Building Materials**, v. 211, p. 517-527, 2019.

FRYBORT, S. et al. Cement bonded composites: a mechanical review. **Bioresources**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 602-626, 2008.

GOODRICH, T., et al.: High-temperature mechanical properties and thermal recovery of balsa wood. **J. Wood Sci**, v. 56, p. 437–443, 2010.

HUANG, L. et al. Sustainable Use of Coffee Husks For Reinforcing Polyethylene Composites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, p. 48-58, 2018.

IFTIKHAR, H. et al. Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and polystyrene with ex-situ catalytic bed of metal oxides/HZSM-5 with focus on liquid yield. **Bioresource Technology**, v. 289, n. 121647, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**, 2019. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>> Acesso em: 08/09/2019.

IZQUIERDO, I. S. et al. Sisal fiber reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modelling. **Construction & Building Materials**, v. 151, p. 98-112, 2017.

KENNEDY, F.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, E. P. A. Wood and celluloses: industrial utilization, biotechnology, structure and properties, ellishor wood. **Chichester: E. Horwood**, 1130 p., 1987.

KHLEF, F. L. et al. Tension and Cyclic Behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 31, 2019.

KUNDU, S. P. et al. Effectiveness of the surface modified jute fibre as fibre reinforcement in controlling the physical and mechanical properties of concrete paver blocks. **Construction & Building Materials**, v. 191, p. 554-563, 2018.

LIMA, A. J. M.; IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de madeira de *Pinus* spp. como substituição ao agregado miúdo na produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 223-235, 2014.

LIMA, P. R. L. et al. Short sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs. **Construction & Building Materials**, v. 187, p. 620-634, 2018.

LIU, Z. Y. et al. Thermal conductivity and mechanical properties of a shape-stabilized paraffin/recycled cement paste phase change energy storage composite incorporated into inorganic cementitious materials. **Cement & Concrete Composites**, v. 99, p. 165-174, 2019.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010.

MENG, Y.; LING, T. C.; MO, K. H. Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An overview. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 138, p. 298-312, 2018.

MESQUITA, R. G. A. M., et al. Polyester Composites Reinforced with Corona-Treated Fibers from Pine, Eucalyptus and Sugarcane Bagasse. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 25, p. 800–811, 2017.

MO, K.H. et al. Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review. **J. Clean. Prod.**, v.117, p.122–138, 2016.

MOHR, B.J., BIERNACKI, J.J., KURTIS, K.E. Microstructural and chemical effects of wet/dry cycling on pulp fiber–cement composites. **Cem. Concr. Res.**, v. 36, p. 1240–1251, 2006.

MORALES, B. M. P.; CUEVAS, J. L. M. **Studies of the mechanical properties of concrete reinforced with sugar cane bagasse fibers**. *Ingenieria UC*, v. 26, p. 201-212, 2019.

MOREIRA, A. B. S. et al. Masonry concrete block strength compound with sawdust according to residue treatment. **Acta Scientiarum Technology**, v. 34, n3, p. 269-276, 2012.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—a review. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 66, p. 45–58, 2012.

NAVAS, C. S.; REBOREDP, M. M., GRANADOS, D. L. Comparative Study of Agroindustrial Wastes for their use in Polymer Matrix Composites. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 778-785, 2015.

OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. An overview of the potential uses for coffee husks. **Coffee Health Dis Prev**, v.31, p. 283–291, 2015.

PANDEY, A. et al. Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochemical Engineering Journal**, v. 6, p. 153-162, 2000.

PUA, A. et al. Improved detection of key odourants in *Arabica coffee* using gas chromatography-olfactometry in combination with low energy electron ionisation gas chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 302, 2019.

RAMOS, R.C.; NACHILUK, K. Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016. **Análise e Indicadores do Agronegócio**, v. 12, p. 7, 2017.

RICKLEFS, A. et al. Thermal conductivity of cementitious composites containing microencapsulated phase change materials. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 104, p. 71-82, 2017.

SANTOS, D. D. et al. Mechanical Properties and Seismic Performance of Wood-Concrete Composite Blocks for Building Construction. **Materials**, v. 12, 2019.

SANTOS, R. C. et al. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthuserythropappus* (DC.) Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição de PET. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, jan./mar. 2011.

SCHOLZ, M.; GRABOWIECKI, P. Review of permeable pavement systems. **Build. Environment**, v. 42, p. 3830–3836, 2007.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W.C.O.; ALSINA, L.S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2, p. 27-32, 2007.

SILVEIRA, M. N. L. et al. Characterization of Mandacaru (*Cereus jamacaru*, DC.) Wood and its use in Lightweight Bio-Concrete production. **Materials**, v. 12, 2019.

TEIXEIRA, J. N. et al. Lignocellulosic Materials for Fiber Cement Production. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-8, 2018.

TO-ON, P., UTTRA, S., SAENGSAATHIEN, A. Mechanical properties of lightweight concrete blocks containing bagasse ash. **International Sugar Journal**, v. 119, p. 780-785, 2017.

TORKAMAN, J. et al. Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks. **Construction & Building Materials**, v.50, p. 432–436, 2014.

VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento de carbonização e resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*) e madeira (*Cedrelingacatenaeformis*). **Revista Cerne**, Viçosa, MG, v. 13, p. 416-420, 2007.

VILELA, A. P. **Utilização da borracha de pneu para produção de painéis MDP e cimento-madeira**. Lavras: UFLA, 104 p., 2016.

WEI, Y. et al. Experimental investigation on two new corn stalk biocomposites based on magnesium phosphate cement and ordinary Portland cement. **Construction & Building Materials**, v. 224, p. 700-710, 2019.

XUAN, D. X.; POON, C.S.; ZHENG, W. Management and sustainable utilization of processing wastes from ready-mixed concrete plants in construction: a review. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 136, p. 238–247, 2018.

YANG, J.; DU, Q.; BAO, Y.W. Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. **Construction & Building Materials**, v.25, p. 1935–1945, 2011.