

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIA LIMPAS

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA CINZA DO BAGAÇO DA
CANA-DE-AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO
CIMENTO *PORTLAND* PARA PRODUÇÃO DE PLACAS
CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS**

ARNALDO ALBERTO DE MORAES FILHO

MARINGÁ
2019

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE MESTRADO EM TECNOLOGIA LIMPAS

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA CINZA DA CANA-DE-
AÇÚCAR EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO
PORTLAND PARA PRODUÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS
SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentado ao Centro
Universitário de Maringá (UNICESUMAR),
como requisito à obtenção de título de Mestre
em Tecnologias Limpas.

Linha de pesquisa: Ecoeficiência Urbana.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Gonçalves
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Cristina Soto
Herek Rezende.

MARINGÁ

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M827a Moraes Filho, Arnaldo Alberto de.
Análise do potencial da cinza de cana-de-açúcar em substituição parcial ao Cimento *Portland* para produção de placas cimentícias sustentáveis / Arnaldo Alberto de Moraes Filho. – Maringá-PR, 2019.
50 f. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Gonçalves.
Coorientadora: Profa. Dra. Luciana Cristina Soto Herek Rezende.
Dissertação (mestrado) – UNICESUMAR - Centro Universitário de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, 2019.

1. Resíduos da indústria sucroalcooleira. 2. Tecnologia limpa. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Título.

CDD – 620.11

ARNALDO ALBERTO DE MORAES FILHO

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO CIMENTO *PORTLAND* PARA PRODUÇÃO DE
PLACAS CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro
Universitário de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Tecnologias Limpas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. José Eduardo Gonçalves
Centro Universitário de Maringá /UNICESUMAR

Prof. Dr. Generoso De Angelis Neto
Universidade Estadual de Maringá/ UEM

Prof^a. Dr^a. Natália Ueda Yamaguchi
Centro Universitário de Maringá /UNICESUMAR

Aprovado em: 28 de fevereiro de 2019.

-Tenho-vos dito isto, para que em mim tenhais paz; no mundo tereis aflições, mas tende bom ânimo, eu venci o mundo. João 16:33 (Bíblia Sagrada).

Dedico este trabalho às minhas filhas, Priscilla, Ana Beatriz e Ana Clara. Que ele possa ser uma entre tantas fontes de inspiração e exemplo para que elas busquem sempre o conhecimento em suas vidas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela misericórdia em nossas vidas, pelo sopro da vida e por estar sempre presente nos momentos mais difíceis que enfrentamos.

Às minhas filhas Priscilla Marques Moraes, Ana Beatriz Braga Moraes e Ana Clara Braga Moraes, pois foi na vontade de ser um bom exemplo para elas que busquei energia para desenvolver este trabalho.

À minha esposa Adriana Camila Braga que foi paciente e compreensiva com minhas ausências, principalmente em momentos festivos familiares como Natal e ano novo.

À linda família que Deus me deu, aos meus pais, irmãos, primos e tias, principalmente aos que se fizeram presentes e sempre acreditaram em meu potencial.

Ao professor Rodolfo Krul Tessari da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus de Apucarana, pelo empenho e disponibilidade para executar os testes mecânicos nos materiais que foram objetos da pesquisa.

Agradeço ao meu estimado orientador José Eduardo Gonçalves que além do suporte ao projeto me conduziu de forma exemplar a sempre –fazer uma coisa de cada vez, sem querer inventar a rodal. Sei que às vezes fui impulsivo e na tempestade de ideias ele se fez presente para organiza-las.

À minha co-orientadora Luciana Cristina Soto Herek Rezende que sempre esteve presente trazendo a luz minha falhas, corrigindo de forma sublime meus erros, apontando caminhos menos penosos para o meu desenvolvimento pessoal e se esforçando ao máximo para que eu chegasse a minha excelência acadêmica sem grandes traumas. Obrigado porque sua simplicidade, descontração e bom humor foram determinantes e presentes no empenho de cada frase deste manuscrito, gratidão eterna.

Aos meus colegas mestrandos do ano de 2017 que juntos conseguimos construir uma excelente sinergia tornando nossa turma inesquecível dentro do programa, levarei a todos no coração com a certeza de que cada um, de uma forma ou de outra contribuiu para o resultado final deste trabalho.

À Ana Paula Siqueira, pelos momentos de conversa e desabafo, sabíamos que não seria fácil, mas sua presença e disposição ímpar em ajudar ao próximo sempre nos motivou. Deus sempre te ilumine.

À Marla Corso, pelas risadas, por ter me ensinado a fazer cara de -paisagem, por ser amiga e companheira nos momentos difíceis, em fim por me ajudar no momento em que mais precisei.

Ao Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, por ter me concedido bolsa de estudos tornando este trabalho viável de ser realizado.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	18
3.1. Construção civil e meio ambiente.....	18
3.2. Abordagem sobre placas cimentícias.....	18
3.3. Inovação na construção civil.....	19
3.4. Resíduos reutilizados como compósitos na construção civil.....	20
3.4.1 Materiais cerâmicos.....	20
3.4.2 Polímeros.....	21
3.4.3 Papel.....	21
3.4.4 Resíduos de construção e demolição.....	21
3.4.5 Madeira.....	22
3.4.6 Fibras orgânicas.....	22
3.4.7 Borrachas.....	22
3.4.8 Cinza da casca de arroz	23
3.4.9 Cinza do carvão mineral (CCM)	23
3.4.10 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC).....	23
3.5. Comportamento físico-mecânico do concreto com substituição de cimento <i>portland</i> por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar	24
3.6. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido	25
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
5 ARTIGO.....	31
NORMAS DO ARTIGO	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Composição da mistura da matéria-prima para a produção das placas cimentícias.....	35
Tabela 2.	Composição química da CBC por fluorescência de raios-X.....	36
Tabela 3.	Resultados do ensaio mecânico.....	38
Tabela 4.	Comparativo de peso por m ² das amostras B, G e H em relação a placas comerciais.....	40
Tabela 5.	TComparativo de desempenho mecânico em relação a placas comerciais	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Difratoograma de raios-X da CBC.....	377
------------------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBC	Cinza do Bagaço da Cana
CCM	Cinza do Carvão Mineral
CP	Cimento Portland
EPS	Poliestireno Expandido
ICC	Indústria da Construção Civil
LSF	Light Steel Frame
LWF	Light Wood Frame
ODS	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável
PET	Polietileno Tereftalato
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável
RDU	Resíduos Domiciliares Urbanos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

RESUMO

A construção civil é uma atividade em constante desenvolvimento tecnológico, métodos cada vez mais eficazes são implementados ao sistema convencional de produção e edificações da indústria da construção civil. Esta atividade busca matrizes que possam ser utilizadas no desenvolvimento de produtos, principalmente produtos reciclados ou que possam ser reutilizados como forma de minimizar os custos de produção, sejam estes resíduos de natureza domiciliar, industrial ou comercial. Na indústria sucroalcooleira temos as cinzas produzidas da queima do bagaço da cana-de-açúcar que é um resíduo com propriedades físicas e químicas similares às do cimento *Portland* (CP). Materiais que são descartados na natureza podem ser utilizados como matriz na fabricação de um novo produto. O aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira para a fabricação de placas cimentícias é uma alternativa ambientalmente sustentável, o que possibilita sua valorização. Este trabalho teve por objetivo analisar o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e a influência da incorporação do poliestireno expandido na produção de placas cimentícias. Foram utilizadas cinzas pesadas da queima do bagaço de cana-de-açúcar e os corpos de prova foram desenvolvidos utilizando argamassa com concentração entre 12% e 70% de CBC em substituição ao CP. Os corpos de provas foram desenvolvidos em duas formas com dimensões retangular de 120cm e 240cm, de cada amostra foram extraídos 12 unidades que por meio de ensaios físicos e mecânicos. Para as placas cimentícias produzidas, foram analisadas o comportamento do material e se este atende aos parâmetros da norma brasileira ABNT NBR 15.498/2016. De acordo com as diretrizes da NBR 15.498/2016 foi constatado que, os materiais produzidos com a concentração de CBC entre 12% e 40% atendem aos parâmetros solicitados para os ensaios de resistência a tração na flexão simples, absorção de água e permeabilidade, possibilitando a aplicação da placa cimentícia tanto para vedação interna, vedação externa e mezaninos em sistemas construtivos a seco.

Palavras - chave: Resíduos da indústria sucroalcooleira, tecnologia limpa, desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

Company construction is an activity in constant technological development increasingly effective methods are implemented in the conventional production system and buildings of the construction industry. This activity looks for matrices that can be used in the development of products, mainly recycled products or that can be reused as a way of minimizing production costs, be they household, industrial or commercial waste. In the sugar-alcohol industry we have the ash produced from the burning of sugarcane bagasse which is a residue with physical and chemical properties similar to Portland cement (PC). Materials that are discarded in nature can be used as a matrix in the manufacture of a new product. The use of residues from the sugar and alcohol industry for the manufacture of cement slabs is an environmentally sustainable alternative, which allows its valorization. The objective of this work was to analyze the potential of sugarcane bagasse ash (SBA) and the influence of the incorporation of expanded polystyrene in the production of cement slabs. Heavy ash from the burning of the sugarcane bagasse was used and the test specimens were developed using mortar with a concentration between 12% and 70% of SBA in substitution to the PC. The test bodies were developed in two forms with rectangular dimensions of 120cm and 240cm, of each sample were extracted 12 units that by means of physical and mechanical tests. For the cement slabs produced, the behavior of the material was analyzed and it complies with the Brazilian standard ABNT NBR 15.498 / 2016. According to the guidelines of NBR 15.498 / 2016, it was observed that the materials produced with the SBA concentration between 12% and 40% meet the parameters required for the tests of tensile strength in simple bending, water absorption and permeability, making possible the application of the cementations plate for both internal sealing, external sealing and mezzanines in dry construction systems.

Keywords: Waste from the sugar and alcohol industry, clean technology, sustainable development.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades que apresenta maior contribuição para o desenvolvimento econômico de uma região, contudo é considerada a de maior potencial na geração de resíduos sólidos urbanos, causando impactos diretos e indiretos ao meio ambiente.

De acordo com Bescorovaine et al. (2016) os resíduos gerados pela construção civil são um grave passivo ambiental, principalmente pelo seu descarte inadequado. Estes resíduos também são considerados um problema no meio urbano no que tange a proliferação de vetores nocivos à saúde humana e animal. (RIBEIRO, KITRON, 2016). Dentre os impactos gerados, pode-se citar a poluição visual, sonora, olfativa, ou do ambiente, assim como os maquinários necessários para o recolhimento e transporte destes resíduos, os quais contribuem com a poluição devido a queima de combustíveis fósseis, acrescentando maiores impactos ao meio ambiente (BARBISAN, 2012).

Os resíduos advindos das atividades de construção, reforma e demolição são patógenos da atividade da indústria da construção civil (ICC) e, só após a implantação da Lei Ordinária nº 12.305/2010 que esse problema começou a eclodir em debates e plenárias a fim de resolver as questões dos resíduos sólidos da ICC (BRASIL, 2010).

Com a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através do PL 203/91 que foi transformada em Lei Ordinária nº 12.305/2010, todos os geradores de resíduos sejam eles de pequeno, médio ou grande porte foi regulamentado e passaram a ter a obrigação de reduzir o volume dos resíduos que geram (RAP, 2018). É obrigação da União, Estados e Municípios promover diretrizes que regulamentam os resíduos gerados pelas atividades humanas sejam elas de atividade industrial, comercial ou de serviços, uma atividade econômica geradora de resíduos sólidos, deve ser regida por normas e diretrizes que identificam os pequenos, médios e grandes geradores, para assim promover a responsabilidade e o método de controle no armazenamento, coleta e destinação final desses resíduos (ABRELPE, 2014).

Por meio da PNRS, principalmente os municípios, obtiveram direcionamento de como gerir e punir caso necessário, os geradores sob sua administração. Antes da Lei nº 12.305/2010 não havia como determinar os níveis dos geradores e como conduzi-los para uma gestão responsável sobre seus resíduos (RAP, 2018).

Diante da problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 448/12 Art. 4º que promovem a redução

destes, tem como grande desafio a busca por novas tecnologias para serem aplicadas na ICC para resolver parcial ou totalmente os problemas de resíduos gerados.

Visando a redução de resíduos da ICC, uma opção que é pouco conhecida e utilizada no Brasil, é a tecnologia construtiva a seco também conhecida como *Light Steel Frame* (LSF). O LSF é um sistema construtivo por perfis leves de aço e com possibilidade de fechamento por placas cimentícias, sendo uma das soluções para manter um canteiro de obras limpo e com poucos resíduos gerados ou em sua grande maioria ausentes de resíduos. Este modelo ainda é considerado no Brasil uma tecnologia inovadora e, tornando o modelo construtivo um produto de alto custo de produção e implantação desfavorecendo as classes mais baixas que são os que mais necessitam e carecem de moradia (PAULA, 2009).

Uma forma de reduzir o custo desse modelo construtivo é pela substituição de seus produtos convencionais confeccionados a partir de areia, cal e cimento *Portland* por outros economicamente viáveis. Sendo a vedação externa e interna do LSF de placas cimentícias, o produto mais utilizado para esse fim e conseqüentemente a responsável pelo segundo maior volume de custo do sistema perdendo apenas para o aço formado a frio. O grande desafio para reduzir os custos deste modelo seria a substituição destas por placas fabricadas com material de baixo custo.

Para reduzir significativamente o custo da placa, uma alternativa é substituir o cimento *Portland*, o qual é a matriz de maior custo, por outro insumo que mantenham as características físico-químicas da mesma. A cinza da queima do bagaço da cana-de-açúcar é uma opção para tal substituição (SAVASTANO, 2009).

O processo de moagem da cana-de-açúcar para produção de etanol ou açúcar resulta em aproximadamente 30% do volume total em bagaço. Essa biomassa produzida é essencial para produção de energia por meio da queima, que tem se destacado como um produto renovável e com elevado potencial de uso na geração de energia elétrica (TROMBETA; FILHO, 2017). Segundo Cordeiro et al. (2008) o Brasil tem grande potencial na produção de energia através da queima desta biomassa, sendo que 95% do total de produção de bagaço da cana de açúcar são incinerados em caldeiras para produção de vapor e com isso produzem grande volume de cinza.

A cinza do bagaço da cana (CBC) é um resíduo industrial que pode ser aproveitado principalmente na indústria da construção civil após passar por modificações físicas e químicas que potencializa suas propriedades mecânicas (SAVASTANO et al., 2009).

Assim, com o avanço da ciência e da tecnologia, as transformações no cenário econômico e os problemas ambientais resultantes, exigem profissionais com visão

empreendedora e que demonstrem habilidades para implementar práticas ambientais sustentáveis, objetivando o respeito ambiental e o uso consciente dos recursos naturais (SILVA; HAETINGER, 2012). A incorporação da CBC em placas cimentícias cumpre com este propósito, de desenvolver uma tecnologia limpa com intuito de contribuir em prol do desenvolvimento sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir placas cimentícias com a incorporação de CBC em substituição parcial ao cimento *Portland*.

2.2 Objetivos específicos

- Obtenção e caracterização da matéria-prima;
- Produzir argamassas com compósitos de fibra de vidro (FV), poliestireno expandido (EPS) e CBC para produção de corpos de prova;
- Analisar o desempenho mecânico das amostras com os compósitos;
- Analisar qual matriz tem melhor desempenho mecânico de acordo com a norma brasileira NBR 15.498 (ABNT, 2016).

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Construção civil e meio ambiente

Atualmente a indústria da construção civil é uma das maiores geradoras de resíduos, sendo estes proporcionais ao nível de desenvolvimento da região, quanto maior o número de construções, maior o número de resíduos.

Os resíduos da construção civil, os quais em grande parte tem sua deposição em locais indevidos, têm se mostrado grandes propagadores de vetores nocivos para a saúde humana, tornando-se nicho para espécies como, roedores, insetos, fungos, vírus e bactérias (SCHNEIDER, 2003; RIBEIRO; KITRON, 2016).

Além da geração de resíduos, a indústria da construção civil abrange cerca de 50% do consumo de recursos naturais, com risco de esgotamento de alguns destes recursos (CARELI, 2008). Isso se deve ao fato que, proporcional ao crescimento da construção civil, se dá a utilização das matérias-primas, como o cimento, a argila, areia e brita. Além disso, a extração de minérios e seus processamentos causam diversos problemas ao meio ambiente, como o desmatamento, erosões, e poluições tanto do ar, quanto da água, também contribuindo para o Aquecimento Global.

A exploração do calcário é extremamente prejudicial ao meio ambiente, uma vez que o modifica. Dinamites são utilizadas para explosões controladas, gerando entulhos, os quais mais uma vez são descartados na natureza, e também acarretando no intemperismo nas encostas (NETO, 2010). A indústria cimentícia também apresenta alto potencial poluente, emitindo dióxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio (SANTI, 2003).

A extração da argila acarreta na remoção de vegetação e assoreamento do local. Pode também ser observado que os poços formados são grandes transmissores de doenças como a malária (RODRIGUES DA SILVA, 2009).

3.2 Abordagem sobre placas cimentícias

Por definição toda placa que contem em sua composição o cimento *Portland* são consideradas placas cimentícias, estas placas são produzidas para serem utilizadas como vedação das edificações em substituição de alvenarias e madeiras, sua estrutura tende a ser de 16 a 36 mm de espessura, sendo composta com concreto leve (1400 kg/m³), aditivos e matérias primas que atendem a normativa NBR 15.498/2007 (FRANCO, 2008).

Após a revolução industrial, novos métodos foram introduzidos no mercado para a produção de diversos produtos industrializados, sendo em sua grande maioria para a

mobilidade e habitação. A partir do século XIX a procura pelas placas cimentícias no Brasil cresceu significativamente, visto que seu método de produção e seu potencial de vedação vertical foram aceito pelo mercado consumidor tanto pela qualidade do produto como por sua facilidade de manutenção e construção (MOURA; MATOS, 2015).

A utilização de placas cimentícias na construção civil tornou-se viável pela redução de resíduos e a velocidade de finalização da obra ao adotar o modelo industrializado, um projeto adequado maximiza a eficiência do potencial construtivo e minimiza desperdícios e geração desnecessária de resíduos sólidos (CAMPOS, 2014).

A placa cimentícia é utilizada como elemento de vedação em modelos construtivos inovadores sendo fixada em montantes de aço LSF ou montantes de madeira *Ligth Wood Frame* (LWF), estes métodos são considerados como modulares, permitindo que as unidades físicas possam ser repetidas otimizando o processo e permitindo sua repetição inúmeras vezes, este processo diminuem a complexidade no canteiro de obras e viabiliza uma maior conectividade entre os agentes projetista, projeto, construtor e elemento construtivo, norteando as repetições que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto (GOSLING et al., 2016).

3.3 Inovação na construção civil

Utilizar novas tecnologias é uma forma de se alcançar a racionalização de materiais, diminuir os impactos ambientais e os resíduos gerados no canteiro de obras. Pesquisas que atendam os anseios da produção mais limpa são importantes para idealizar novos produtos que sejam destinados à construção civil.

A inovação da construção civil está focada no processo mais enxuto onde, todos os desperdícios possam ser minimizados, métodos construtivos sejam mais eficientes, modulares e possam ser aplicados no canteiro para minimizar o desperdício, o volume de mão de obra, diminuir os riscos de acidentes, otimizar o processo, viabilizar o atendimento de prazos, diminuir os custos e maximizar os lucros (SARA; FOX, 2013). Neste cenário, a construção civil está cada vez mais inclinada a processos pré-fabricados em substituição a métodos mais tradicionais de construção, não obstante a construção contemporânea está dando lugar a modelos construtivos de madeira (*wood frame*), o de aço (*steel frame*), e os modelos industriais, comerciais e residenciais feitos de concreto armado (VASCONCELLOS, 2002).

Pesquisas voltadas para produção de novos produtos com matriz cimentícia estão em desenvolvimento e, vários tipos de argamassas utilizando compósitos dos mais variados em

sua composição vêm sendo testados por pesquisadores das mais renomadas universidades nacionais e internacionais.

Desenvolver produtos utilizando resíduos urbanos como compósitos alternativos na produção de argamassas tem alcançado resultados satisfatórios, a incorporação de polímeros como o polietileno tereftalato (PET) na composição da argamassa é bastante utilizada uma vez que esse resíduo é o mais comum na coleta seletiva (ABIPET, 2015). A utilização de resíduos domiciliares para a produção de argamassa traz efeitos consideráveis na economia dos insumos de produção e ainda permite a mitigação de impactos com descartes irregulares de Resíduos Domiciliares Urbanos (RDU) no ambiente.

De acordo com Moura e Matos (2015), a utilização de resíduos domiciliares como insumos na Indústria da Construção Civil (ICC) é fonte de pesquisa de inúmeros autores, que buscam uma solução para o reaproveitamento adequado dos resíduos, principalmente os polímeros e os metais que são grandes fontes de matéria prima reaproveitável, assim como as borrachas advindas de pneus velhos. Reaproveitar resíduos urbanos contribui para mitigar poluições urbanas e ambientais, além de auxiliar a ICC na geração de novos produtos (CIMINO; BALDOCHI, 2002).

3.4 Resíduos reutilizados como compósitos na construção civil

Os resíduos sólidos urbanos e industriais são compostos por produtos orgânicos e inorgânicos, dentre os produtos inorgânicos o polietileno, papel, papelão e vidros podem ser utilizados como compósitos para a produção de placas cimentícias (MOURA; MATOS, 2015).

3.4.1 Materiais cerâmicos

A utilização de vidros moídos em substituição de agregados miúdos na produção de argamassas tem demonstrado resultados satisfatórios quando este material é utilizado para substituir a areia fina, este resíduo urbano pode ser utilizado tanto como substituição parcial ou total da areia (OLIVEIRA; BRITO; VEIGA, 2013).

Estudos também demonstraram a viabilidade da utilização do vidro, o qual está na classe dos materiais cerâmicos, para a substituição parcial do cimento Portland. A utilização do resíduo moído de vidro em argamassas de cimento Portland se mostra uma boa alternativa técnica e ambiental, sendo um material com características pozolânicas, pode substituir parcialmente o cimento Portland amplamente utilizado na construção civil (LOPES, 2017; MILHOMEM, 2018).

3.4.2 Polímeros

A incorporação de polímeros para produção de argamassas tende a aumentar a resistência mecânica do material composto, desde que estes materiais não estejam sujeitos a esforços de compressão, mas se usados como materiais de vedação (BATAYNEH, MARIE; ASI, 2007).

Um exemplo de polímero a ser utilizado é o EPS que é um plástico rígido, e quando utilizado como agregado na argamassa de concreto produz um material altamente resistente com propriedades de baixa condutividade térmica tornando o produto mais eficiente como um isolante térmico, acústico e impermeável. Este material utilizado como compósito nas argamassas de concreto produz um material extremamente leve aumentando sua trabalhabilidade na obra e exigindo menor desempenho estrutural por diminuir sua carga incidente.

As argamassas produzidas a partir de compósitos são uma alternativa para minimizar custos, energia, reduzir o volume de resíduos e em alguns casos os materiais produzidos a partir de compósitos tendem a ser melhores do que a matriz original (SANTANA, 2001).

3.4.3 Papel

O papel é incorporado na argamassa para proporcionar leveza aumentando seu volume, assim pode-se utilizar materiais reciclados na construção civil a partir de compósitos no desenvolvimento de novos produtos, permitindo que a poluição visual e ambiental seja mitigada através do reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos (MOURA et al, 2018).

3.4.4 Resíduos de construção e demolição

Além dos agregados naturais oriundos da extração por drenagem (areia), ou pela explosão (rochas), há tempos utilizam-se agregados do próprio canteiro de obras para solucionar parcialmente os resíduos sólidos gerados pelas atividades da ICC.

Podem ser utilizados como agregados na formulação de argamassas os Resíduos da Construção Civil (RCC). Estes são um meio de aproveitamento de resíduos produzidos no canteiro de obra que retornam ao processo construtivo por meio da reutilização destes materiais (CONAMA, 2002). Utilizar os RCCs na construção tornou-se uma forma de evitar a deposição destes materiais em aterros ou até mesmo os descartes irregulares em terrenos baldios. De acordo com Silva et al. (2018) deve-se realizar uma gestão adequada dos resíduos como meio de contribuição das organizações para a responsabilidade socioambiental e melhoria de vida nas cidades.

A composição química dos resíduos de construção e demolição são os fatores que influenciam na decisão da reutilização destes materiais na ICC, sendo que, após identificado seus componentes sua utilização torna-se mais eficaz, é indispensável que antes da utilização, identifique a finalidade da obra e a devida aplicação dos RCC adequado à argamassa (ÂNGULO; MUELLER, 2007).

3.4.5 Madeira

Um método para destinar os resíduos sólidos, e reduzir o impacto do meio ambiente é utilizar o pó de serra como agregado miúdo na produção de argamassas, criando com isso o cimento de madeira (ABRAF, 2010).

Azambuja et al. (2017) recomenda utilizar resíduos de madeira com partículas igual ou acima de 4 mm como compósito para produção de argamassa de cimento, sendo que estas partículas sejam antes tratadas com hidróxido de cálcio para que o compósito não interfira no processo de cura do cimento.

3.4.6 Fibras orgânicas

Fibras de elementos orgânicos são utilizadas para produção de argamassas mais resistentes, as fibras orgânicas além de ser renováveis são biodegradáveis motivando com isso pesquisas desses elementos como compósito na produção de argamassas. Dentre os resíduos industriais dos agronegócios, destacam-se como um excelente compósito as fibras dos cocos. O comprimento das fibras torna este elemento um agregado interessante na composição de argamassas mais resistentes (SILVA FILHO; GARCEZ, 2010).

Segundo Ali et al. (2013) fibras com comprimento de 50,0 mm tendem a ter melhores resultados como compósitos na produção de argamassas visto que as fibras tendem a aumentar a resistência a compressão simples do concreto, contudo o trabalho de Da Silva et al. (2014) apresentou melhores resultados para fibras com comprimento de 25,0 mm aumentando a resistência a compressão dos concretos com traços de 25 Fck com cura de 56 dias. Em ambos os trabalhos os resultados utilizando a fibra do coco como compósito para a produção de argamassas foi satisfatórios.

3.4.7 Borrachas

Argamassas podem ser produzidas por inúmeros agregados em substituição de elementos miúdos ou graúdos. Utilizar resíduos de borracha advindos da reciclagem de pneus é um método que deu certo nas pesquisas realizadas por Ho et al. (2012). Substituir

parcialmente as britas ou agregados graúdos na produção de concreto utilizando resíduos de borracha tornam o concreto mais trabalhável e menos permeável, sendo esta composição um produto ideal para fabricação de manta asfáltica para pavimentos de rolagem e lajes impermeabilizadas.

3.4.8 Cinza da casca de arroz

O trabalho de Fonseca ao incorporar a cinza da casca de arroz na mistura de solo para produção de tijolos de solo cimento obteve resultados satisfatórios para resistência a compressão simples, concluindo que a utilização da cinza da casca de arroz em proporção de 10% na substituição do CP aumentou a resistência mecânica do tijolo maciço (MILANI, 2006).

3.4.9 Cinza do carvão mineral (CCM)

Há estudos sobre a aplicação da CCM em substituição do CP. Por exemplo, o estudo feito por Andrade e Ceratti (1991), que identificaram a eficiência do uso da CCM em substituição parcial do CP para a produção de blocos, mostrando que o produto tem resistência a compressão simples, mas é ineficiente quanto a absorção sendo recomendado a utilização para vedação interna. Já Siqueira, Souza e Souza (2012) constataram que a substituição de CP por CCM na proporção de até 30% na produção de argamassa apresentou resultados satisfatórios.

A produção do tijolo tipo adobe fabricado de solo cimento foi executado por Carvalho, neste experimento foi utilizado a fibra de coco somado a CCM para produção de tijolos de solo cimento demonstrando grande desempenho estrutural de acordo com os resultados obtidos, ainda neste processo a prova de que cinzas volantes tem grande desempenho como compósitos de produtos onde a matriz cimentícia é preponderante. A eficiência do produto depende do estudo da estrutura do compósito e a finalidade de aplicação do produto (CARVALHO, 2012).

3.4.10 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

A produção de cana de açúcar acentuou-se após o programa do Governo Federal -Proálcool. O Brasil possui tradição no plantio de cana-de-açúcar desde o século XVIII. O programa Proálcool do governo Federal impulsionou a produção de Etanol a partir de 2009, isso se deu porque a agroindústria canavieira apostou no produto como opção energética (PROALCOOL, 2009).

Considerando o leque de resíduos industriais, os das usinas sucroalcooleiras são um dos mais atrativos. O bagaço da cana-de-açúcar é utilizado para a produção de energia através da queima nas caldeiras para produção de vapor, sendo que para que cada tonelada de bagaço que alimenta o processo de cogeração, 25 Kg de cinzas é produzida (CORDEIRO et al., 2008).

Analisar o potencial da CBC como compósito na produção de argamassas é desafiador. A CBC por ter grande potencial pozolânicas pode ser utilizado para substituição parcial do cimento *Portland* ou até utilizado como agregado miúdo para produção de concretos (SOUZA et al., 2007).

A CBC consegue adentrar a construção civil como compósito, podendo substituir parcialmente ou até mesmo totalmente o Cimento Portland (CP), graças ao teor de (SiO₂) encontrado em grande quantidade em sua massa. Utilizar a CBC para a produção de cerâmica vermelha é uma alternativa que visa diminuir impactos ambientais e tem grandes resultados positivos (FARIA; HOLANDA, 2014).

A incorporação da CBC na argamassa em substituição de CP para produção de tijolos de solo cimento é viável do ponto de vista econômico e técnico uma vez que com a adição de 3% de CP para cada 20% de CBC em substituição dos agregados miúdos o produto obtém a mesma resistência mecânica que o tijolo produzido com 100% de CP de acordo com a pesquisa de Valenciano e Freire (2004).

Pesquisas anteriores provaram que, a utilização de CBC, CCM e até mesmo a cinza da casca do arroz podem ser utilizadas em substituição parcial do CP sem que o material produzido perca suas propriedades mecânicas, cabendo apenas a investigação de sua composição física e química em relação lixiviação e a possível agressão ao meio ambiente.

3.5 Comportamento físico-mecânico do concreto com substituição de cimento *portland* por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

O maior desafio da construção civil é ter ou desenvolver um sistema construtivo que atenda as normas brasileiras e internacionais que regem as condições de conforto, segurança, proteção e estabilidade física e mecânica das edificações civis. Teodoro et al. (2013) realizaram um experimento para analisar as propriedades de concretos, nos estados fresco e endurecido, substituindo parcialmente o cimento *Portland* por CBC.

A presença de Cu²⁺ e Cr³⁺ na CBC é um grande problema para o lençol freático, onde a utilização deste resíduo industrial na construção civil se mostra uma alternativa viável para reduzir o lançamento deste direto no solo (FERREIRA, 2015). Pesquisadores utilizam a

grande gama da construção civil para realizar pesquisas no campo da mecânica dos elementos construtivos, sendo a CBC o resíduo que apresenta maior capacidade de substituição parcial ou total do cimento *Portlant* (CP), isso por que suas características muito se assemelham ao do CP. A CBC foi incorporado aos insumos para produção de argamassas onde a avaliação de seu potencial apresentou satisfatória quando a CBC substitui até 30% do CP na composição do traço para a produção da argamassa (PAULA et al., 2008).

Ensaio de caracterização química, granulométrica e massa específica da CBC apontam grande potencial na substituição do CP, isso se deve por que a CBC é um material que pode ser utilizado tanto como agregado miúdo como matriz cimentícia depende da utilidade e do produto que se pretende produzir (LIMA et al., 2009).

3.6 Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido

Na construção civil há uma grande necessidade de diminuir o peso das estruturas sem alterar sua capacidade de resistência mecânica, neste sentido o EPS tornou-se o compósito mais utilizado na produção de argamassas e concreto leve (STRECKER; SILVA; PANZERA, 2014).

Apesar da densidade do concreto, quando este material tem em sua composição o EPS sua volumetria aumenta, sua densidade aparente diminui, mas sua propriedade mecânica não diminui. Dependendo do traço utilizado e a aplicação do produto a sua resistência a compressão e infiltração tende a aumentar consideravelmente, tornando o EPS uma alternativa eficiente para se obter um concreto leve sem diminuir sua resistência solicitante. O CP para produção do concreto, somados ao EPS como compósito da fabricação pode-se tornar um material com resistência mecânica e economicamente viável se, durante os ensaios os resultados atenderem as especificações de projeto (LIMA et al., 2011).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPET – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET. Reciclagem. 2015. Disponível em:

<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=68>. Acesso em: 20 Jun. 2018.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2015. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo. Acesso em: 20 Jun. 2018.

ALI, M.; LI, XIAOYANG, CHOUW, N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete, **Materials and Design**, v.44, p.596-605, 2013.

ALI, M. *et al.* Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v.30, p.814-825, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15498: placa de fibrocimento sem amianto: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

AZAMBUJA, M. A. Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC). Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. **Universidade de São Paulo**, 2002.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of Select Waste Materials in Concrete Mixes. **Waste Management**, v. 27, p. 1870-1876, 2007.

BESCOROVAINE, W. F. *et al.* Comportamento pró-ambiental e descarte de resíduos sólidos por estudantes de arquitetura: apontamentos para a educação ambiental. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 10, n. 2, p.105-115, 2016.

CAMPOS, P. F.. Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – **Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2014.

CIMINO, M. A.; BALDOCHI, V. M. Z. Minimização de Resíduos Sólidos Urbanos - Alternativas Tecnológicas para Pneumáticos Inservíveis. **UNISANTA**, UFSCar, 2002.

CONAMA. Resíduos da Construção Civil – Resolução 307 de 05 de julho de 2002.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Influência da substituição parcial de cimento por cinza ultrafina da casca de arroz com elevado teor de carbono nas propriedades do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 99-107, 2009.

CORDEIRO, G. C. *et al.* Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement & Concrete Composites**, v.30, p.410-418, 2008.

DECORLIT. Placas Cimentícias. Disponível em: <http://www.decorlit.com.br/placacimenticia.html>. Acesso em: 27 jun. 2018.

ETERNIT. Placas Cimentícias. Disponível em: <<http://www.eternit.com.br/produtos/solucoesconstrutivas/placas-cimenticias>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

FARIA, D. F. Reaproveitamento de resíduos sólidos de indústria química para produção de argamassas. In: IX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2005, São José dos Campos. **Anais...**, 2005. p. 440-442.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. -Influência da adição de resíduos de cinzas de cana-de-açúcar nas propriedades tecnológicas de cerâmica vermelha. **Matéria**, v. 17, n. 3, p. 1054-1060, 2014.

GOSLING, J. *et al.* -Defining and categorizing modules in building projects: An international perspective. **J. Constr. Eng. Manage**, 2016.

HUANG, Y.; LOU, J.; XIA, B. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant e a case study in Guangzhou, p. 113-121, 2012.

LIANG, W. *et al.* Improved properties of GRC composites using commercial E-glass fibers with new coatings. **Materials Research Bulletin**, v.37, p.641-646, 2002.

LIMA, G. T. dos S. *et al.* Estudo para utilização de areia de fundição em blocos e pisos de concreto. 56º **IBRACON**, Natal - RN, 2014.

LIMA, S. A. *et al.* Concretos com cinza do bagaço da cana- de- açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

LIMA, S. A. *et al.* Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, Maringá, Edição Especial ENTECA, p. 87-97, 2009.

LOPES, R. K. *et al.* Utilização de resíduo moído de vidro industrial na confecção de argamassa de cimento Portland em Porto Velho/RO. 2017.

MACEDO, M. C. *et al.* Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares. **Revista HOLOS**, v. 5, 2011.

MACEDO, I. de C. (Org.) Sugar cane's energy. Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability. **São Paulo**: s. n, 2005.

MARCEDO, P. C. Avaliação Do Desempenho De Argamassas Com Adição De Cinza Do Bagaço De Cana-De-Açúcar. Dissertação (Mestrado em Estruturas), UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA, Ilha Solteira, 2009.

MILANI, A.P. S.; FREIRE, W.J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.1-10, 2006.

MILHOMEM, P. M.; SILVA, J. M.; COSTA, P. S. Avaliação das propriedades mecânicas do concreto produzido com resíduo de isoladores elétricos de porcelana. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 1, 2018. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.

MOURA, J. M. B. M.; MATOS, L. F. S. Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares. **Rea – Revista de Estudos Ambientais**, v. 1, n. 17, p.54-63, 30 jun. 2015.

MOURA, J. M. B. M. *et al* . Placas cimentícias e pavers com incorporação de rejeitos da coleta seletiva do município de Blumenau, SC. **Ambient. constr.**, Porto Alegre , v. 18, n. 1, p. 345-359, 2018 .

NETO, R. G. M.; RAMALHO, J. S. A evolução do impacto ambiental acarretado pela extração de calcário, tendo como exemplo a mineração Paternal - Partezani, no estado de São Paulo. **CES Revista**, v. 24, n. 1, p. 31-42, 2010.

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporação de Agregados Finos de Vidro em Argamassas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 21, p. 25-39, 2013.

PAULA, M. O. *et al*. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2009.

PROALCOOL. Programa Brasileiro do Álcool. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>. Acesso em: 18 Maio. 2018; <https://www.portalsaofrancisco.com.br/geografia/proalcool> - acesso em 18 Out. 2018.

SILVA, I. R.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. da . Exploração de Argila em Fazendinha e os Impactos Socioambientais (Amazônia, Brasil). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 2, 2009.

Da SILVA, O. H. *et al*. Diagnóstico e sugestões para o gerenciamento de resíduos sólidos de uma instituição pública. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira**, v. 9, n. 18, p. 2-13, 2018.

SANTANA, M. J. A.; CARNEIRO, A. P.; SAMPAIO, T. S. Argamassas de revestimento. In: CASSA, J. C. S.; CAR (org.). Reciclagem de entulho para a produção de materiais - EDUFBA; Caixa Econômica Federal, p.262-269, 2001.

SANTI, A. M. M. *et al*. Co-incineração e co-processamento de resíduos industriais perigosos em fornos de clínquer: investigação no maior polo produtor de cimento do país, região metropolitana de Belo Horizonte, MG, sobre os riscos ambientais, e propostas para segurança química. 2003.

SARHAN, S.; FOX, A. Barriers to Implementing Lean Construction in the UK Construction Industry. **The Built & Human Environment Review**. v. 6, p. 1-17, 2013.

SAVASTANO, Jr.; WARDEN, P. G. Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites**, v.25, n.5, p.517-624, 2003.

SILVA, D. K. A. da *et al.* Biomassa microbiana do solo e atividade sob florestas naturais e regeneradas e plantações convencionais de cana-de-açúcar no Brasil. **Geoderma** ,v 189, p. 257 - 261 ,2012.

STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor). **Cerâmica**, São Paulo , v. 60, n. 354, p. 310-315, 2014.

VASCONCELOS, A. C.. O Concreto no Brasil: pré-fabricação, monumentos, fundações. Volume III. **Studio Nobel**. São Paulo, 2002.

SCHNEIDER, D. M. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. **São Paulo**, v. 131, 2003.

SILVA, O. I. **Influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

SILVA, V. G.; MONTEIRO, P.J.M. Influência de polímeros na hidratação de fases do cimento portland analisadas por microscopia de transmissão de raios X moles. **Pesquisa de cimento e concreto**. 2006; 36: 1501-1507.

SILVA FILHO, L. C. P.; GARCEZ, M. R. Compósitos de Engenharia Matriz Polimérica. In: ISAIA, G.C. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACOM, 2010.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. **Revista espaço da Sophia**, v. 8, n. 1, 2007.

SILVA, A.; HAETINGER, C. Educação Ambiental no Ensino Superior - O conhecimento a favor da qualidade de vida e da conscientização socioambiental. **Contexto & Saúde**, Ijuí, v. 12, n. 23, p.34-40, 2012.

SIQUEIRA, J. S.; SOUZA, C. A. G.; SOUZA, J. A. S.. Reaproveitamento de cinzas de carvão mineral na formulação de argamassas. **Cerâmica**, v. 58, n. 346, p. 275-279, 2012.

SOUZA G. N. *et al.* Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. In: 49º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Bento Gonçalves. **Anais...**, São Paulo : IBRACON, 2007.

SOUZA, V. P. *et al.* Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água. **Cerâmica**, 2008, 54, 351–355.

TROMBETA, N. de C.; FILHO, J. V. C. Potencial e Disponibilidade de Biomassa de Cana-de-açúcar na Região Centro-Sul do Brasil: indicadores agroindustriais. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 55, n. 3, p. 479-496, 2017.

TEIXEIRA, B. A. N. Gestão dos resíduos sólidos: desafio para as cidades. In: CARVALHO, P. F.; BRAGA, R. *Perspectivas de Gestão Ambiental em Cidades Médias*. Rio Claro: UNESP, p. 77- 85, 2001.

TEODORO, P. E. *et al.* Comportamento Físico Mecânico do Concreto Com Substituição de Cimento Portland Por Cinzas do Bagaço de Cana - de - Açúcar. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 6, n. 2, p. 22-27, 2013.

VALENCIANO, M. C.; FREIRE, W. J. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** 2004, 24, 484.

5 ARTIGO

POTENCIAL DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO COMPÓSITO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO *PORTLAND* NA PRODUÇÃO DE PLACAS CIMENTÍCIAS SUSTENTÁVEIS

RESUMO

O setor da construção civil é considerado como o maior contribuinte na geração de resíduos sólidos urbanos, uma forma de mitigar este problema é o investimento em sistemas construtivos modulares, dando espaço para modelos mais enxutos e sustentáveis. Este trabalho avaliou o potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) como compósitos para produção de placa cimentícia aplicada a construção aliado a inclusão do poliestireno expandido (EPS) na formulação da argamassa. Para substituir parcialmente o cimento *Portland* (CP) foi realizada a caracterização química da CBC e na produção da argamassa utilizou-se concentração entre 12% à 70% de CBC. Na placa cimentícia foram realizados os testes de resistência à tração na flexão, absorção de água e permeabilidade de acordo com as diretrizes da NBR 15.498/2016. Os resultados demonstraram-se positivos e viabilizaram a utilização da CBC em substituição parcial do CP na proporção de 12% a 40%, permitindo sua utilização em uma tecnologia construtiva limpa, modular e a seco. Conclui-se, portanto, que, o resíduo industrial de CBC pode ser utilizado em substituição do CP e que, a inclusão do EPS na formulação da argamassa do produto estudado aumenta seu volume e diminui sua densidade aparente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo industrial, poliestireno expandido, tecnologia construtiva a seco, material leve.

POTENTIAL OF ASH FROM SUGARCANE BAGASSE AS A COMPOSITE IN PARTIAL TO REPLACE PORTLAND CEMENT IN THE PRODUCTION OF SUSTAINABLE CEMENT SLABS

ABSTRACT

The construction industry is considered to be the largest contributor to the generation of urban solid waste. One way to mitigate this problem is to invest in modular building systems, giving room for leaner, more sustainable models. This work evaluated the potential of sugarcane bagasse ash (SBA) as composites for the production of cement board applied to the construction, together with the inclusion of expanded polystyrene (EPS) in the mortar formulation. In order to partially replace the Portland cement (PC), the chemical characterization of the BCC was carried out and in the production of the mortar a concentration between 12% and 70% of SBA was used. In the cementitious plate, tests of tensile strength were performed in flexion, water absorption and permeability according to the guidelines of NBR 15.498 / 2016. The results proved to be positive and allowed the use of BCC in partial substitution of PC in the ratio of 12% to 40%, allowing its use in a clean, modular and dry construction technology. It can be concluded that the industrial residue of SBA can be used as a substitute for PC and that the inclusion of EPS in the mortar formulation of the product increases its volume and decreases its apparent density.

Keywords: Industrial waste, expanded polystyrene, dry construction technology, lightweight product.

INTRODUÇÃO

Diante do cenário ambiental, a emergência do desenvolvimento sustentável tem promovido a orientação de esforços no sentido de encontrar soluções, principalmente do setor da construção civil, que além de ser um dos principais setores que utilizam recursos naturais, gera grande quantidade de resíduos agravando a degradação ambiental.

A melhor maneira de diminuir a utilização desses recursos e conservar o meio ambiente é o emprego de formas alternativas, entre as quais está à substituição dos métodos tradicionais por métodos de construção mais eficientes e menor produção de resíduos e o uso de resíduos industriais como matéria prima (MARHANI; JAAPAR; BARI, 2012; ALWAELI, 2013).

Sarhan e Fox (2013) ressaltam que a inovação da construção civil deve estar focada no processo mais limpo em que todos os desperdícios possam ser minimizados, métodos construtivos sejam mais eficientes, modulares e, possa ser aplicados no canteiro para mitigar o desperdício, mão de obra e riscos de acidentes, aperfeiçoar o processo, viabilizar o

atendimento de prazos, diminuir os custos e maximizar os lucros. Os processos pré-fabricados em substituição a métodos mais tradicionais de construção, tem-se utilizado de modelos construtivos de madeira (*wood frame*), de aço (*steel frame*), e modelos industriais, comerciais e residenciais feitos de concreto armado.

Castro e Martins (2016) e Favara e Gamlin (2017) discutem a importância da inclusão de materiais de caráter reciclável, pois além da redução da demanda da extração de recursos naturais, ainda há a possibilidade de obtenção de produtos com propriedades superiores, resultando em tecnologias inovadoras. Um exemplo são as argamassas produzidas a partir de compósitos, que são uma alternativa para minimizar custos, energia, reduzirem o volume de resíduos e em alguns casos os materiais produzidos a partir de compósitos tendem a ser melhores do que a matriz original (SANTANA et al., 2001). A incorporação de polímeros para produção de argamassas tende a aumentar a resistência mecânica do material composto, principalmente se usada como materiais de vedação (BATAYNEH; MARIE; ASI, 2007).

Um exemplo de polímero a ser utilizado é o poliestireno expandido (EPS) que é um plástico rígido, e quando utilizado como agregado graúdo na argamassa de concreto produz um material altamente resistente com propriedades de baixa condutividade térmica tornando o produto mais eficiente como um isolante térmico, acústico e impermeável. Este material incluído ao compósito das argamassas de concreto produz um material mais leve, aumentando sua importância na obra por exigir menor desempenho estrutural, diminuindo sua carga incidente e tornando-o um excelente material para a fabricação de placas cimentícias (ABRAPEX, 2012).

A utilização de placas cimentícias na construção civil tornou-se viável pela redução de resíduos e a velocidade de finalização da obra ao adotar o modelo industrializado (CAMPOS et al., 2014). Quando as placas cimentícias são utilizadas como elemento de vedação em modelos construtivos inovadores sendo fixado em montantes de aço *Ligth Steel Frame* (LSF) ou montantes de madeira *Ligth Wood Frame* (LWF), permite que as unidades físicas possam ser repetidas, além de aperfeiçoar todo o processo, minimiza a complexidade no canteiro de obras e viabilizando uma maior conectividade entre os agentes projetista, projeto, construtor e elemento construtivo, norteador as repetições que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto (GOSLING et al., 2016). A procura pelas placas cimentícias no Brasil cresceu significativamente, visto que seu método de produção e seu potencial de vedação vertical foram aceito pelo mercado consumidor tanto pela qualidade do produto como por sua facilidade de manutenção e construção (MOURA; MATOS, 2015).

A incorporação de resíduos nas placas cimentícias, é alternativa que tem mostrado resultados satisfatórios na literatura, principalmente na utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CASTRO; MARTINS, 2016; GONZÁLEZ-LÓPEZ et al., 2015; CHEN et al., 2013; LIMA et al., 2012). Graças ao teor de (SiO_2) encontrado em grande quantidade em sua massa a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) consegue adentrar a construção civil como compósito, podendo substituir parcialmente o cimento *Portland* (CP).

Por possuir propriedades inertes, a CBC passou a ser dispensada na lavoura como se fosse um adubo, contudo este resíduo industrial por possuir a presença de sílica em sua composição proporciona uma utilização mais nobre se incorporada na produção de materiais para a construção civil (LIMA, et al. 2009; FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011). Por exemplo, a CBC por ter grande potencial pozolânicas pode ser utilizado para substituição parcial do CP ou até utilizado como agregado miúdo para produção de concretos (SOUZA et al., 2007).

Assim, visando o desenvolvimento sustentável, o objetivo deste estudo é produzir uma placa cimentícia com a incorporação de diferentes quantidades de CBC em substituição parcial do CP, aliado a incorporação de EPS a argamassa.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção da placa cimentícia foram coletadas as CBCs pesadas depositadas em um cinzeiro abaixo da grelha da caldeira produzidas por uma Usina localizada na (Latitude 23°23'49.71"S, Longitude 52° 5'37.21"O), no Noroeste do Estado do Paraná. As matérias-primas cimento *Portland* CPV-ARI, malha de fibra de vidro 4x4mm, poliestireno expandido (EPS), areia fina (sílica) natural lavada e vermiculita expandida, foram adquiridos no mercado local.

Todas as matérias-primas utilizadas neste trabalho tiveram seu perfil granulométrico caracterizado (ABNT NBR 7181, 2016; ABNT NBR 7211, 2009a, b e ABNT NBR 9230, 1986), para um maior controle de produção da placa cimentícia. A CBC foi peneirada e utilizada com granulometria de 0,044 mm na mistura da argamassa.

Foi utilizado a fibra de vidro da marca ADFORS Vertex com dimensão de malha de 4 x 4 (quatro por quatro) mm sendo aplicada em duas etapas, a primeira, colocado na base da forma e a segunda fixada sobre a argamassa. Esse procedimento foi utilizado para aumentar a resistência superficial da placa cimentícia.

Caracterização da CBC

A composição química das CBC foi determinada por Fluorescência de Raios-X modelo S8 TIGER — Bruker (Tokyo, Japan). A amostra foi analisada em He com uma fonte de raios X de Rh operando na faixa de voltagem de 30 - 60 kV. Seu estado morfológico (cristalinidade) foi determinado por Difração de Raios-X, modelo AXS D8 Advance - Bruker, sendo analisada com radiação de Cu $K\alpha_{1,2}$, operando em 40 kV e 40 mA).

Caracterização da Placa Cimentícia

Para a produção da placa cimentícia as quantidades de insumos utilizados foram dimensionadas em quilogramas e estão descritos na Tabela 1. As placas foram produzidas nas dimensões de 600 mm X 1200 mm X 6 mm, atendendo todos os requisitos conforme determinação da norma NBR 15.498 (ABNT, 2016).

A preparação e produção da placa cimentícia foi realizado com a mistura de cimento, cal, área e água, referente a cada composição em estudo (Tabela 1) sob agitação mecanicamente por 3 minutos. Os demais componentes foram incorporados ao preparo adicionando CBC, EPS e o adesivo (diluído em água) e mantidos em agitação por mais 2 minutos, em seguida adicionou-se a vermiculita e agitação por 3 minutos.

Tabela 1 – Composição da mistura da matéria-prima para a produção das placas cimentícias

Amostras	Cimento (kg)	CBC (kg)	Vermiculita (kg)	Cal (kg)	Areia (kg)	EPS (litros)	H ₂ O (litros)	Adesivo (kg)
A	6,420	-	0,480	-	4,740	-	3,00	-
B	3,210	2,550	0,480	-	4,740	-	3,00	-
C	1,070	2,550	0,480	-	1,580	-	3,00	-
D	7,267	4,845	0,480	4,000	4,740	-	3,00	-
E	3,210	2,550	0,480	-	1,580	2,00	3,00	0,030
F	3,210	3,825	0,480	0,500	1,580	3,00	6,00	0,030
G	3,745	1,275	0,480	-	-	1,00	3,00	0,030
H	9,095	1,275	0,480	-	-	1,00	4,00	0,030

Fonte: O autor (2019).

Após a produção da placa cimentícia, os corpos de prova foram divididos em formato retangular para realização do teste de resistência à tração na flexão simples. Os corpos de provas foram extraídos dos moldes confeccionados seguindo recomendação da NBR 15.498/2016. O ensaio foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus de Apucarana. Para o ensaio foi utilizado a máquina universal de testes modelo TIME WDW-300E, da marca TIME-SHIJIM com taxa de carregamento entre 20 e 50 mm/min. Para realizar o teste os apoios foram colocados sobre um suporte, com a face

exposta na instalação voltada para cima, à carga aplicada foi ao longo da linha mediana por meio da barra de carregamento nos intervalos de 10s a 30s.

A densidade aparente da placa cimentícia, seu índice de absorção de água e sua permeabilidade foram analisados de acordo com a NBR 15.498 (ABNT, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultado da caracterização da matéria prima

A Tabela 2 apresenta a composição de CBC realizado por fluorescência de raios-X (FRX). Através dos resultados, é possível observar a presença predominante de dióxido de silício (sílica- SiO_2) na composição química da CBC, estes resultados estão de acordo com os resultados descritos na literatura (MOLIN FILHO et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017; MOISÉS et al., 2013).

Tabela 2 - Composição química da CBC por fluorescência de raios-X

Compostos	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	Outros
Massa (%)	80,2	4,83	5,32	1,26	5,04	2,66	0,69

Fonte: O autor (2019).

A Figura 1 mostra o difratograma de raios-X (DRX) obtido para a CBC, onde foi possível evidenciar picos que caracterizam o material como cristalino. Através do comparativo com as fichas cristalográficas de referência de materiais puro do JCPDS-ICCD (International Centre for Diffraction Data, 1996 *apud* Freitas, 2005), pode-se afirmar que há presença predominante (> 98%) da estrutura cristalina de α -quartzo e uma pequena proporção (< 2%) da mistura de trimidita e cristobalita.

Diversos autores na literatura (MOLIN FILHO et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017; SALES, 2010; SILVA, 2008; SOUZA, 2011) descreveram a incorporação de cinza de bagaço de cana em materiais aplicados a construção civil, onde obtiveram resultados promissores na questão da resistência à compressão, tração por compressão diametral, tração por flexão e absorção de água. Assim, a incorporação de CBC como um substituto parcial do cimento, mostra-se relevante frente às necessidades de desenvolvimento de ações capazes de contribuir para a sustentabilidade do planeta.

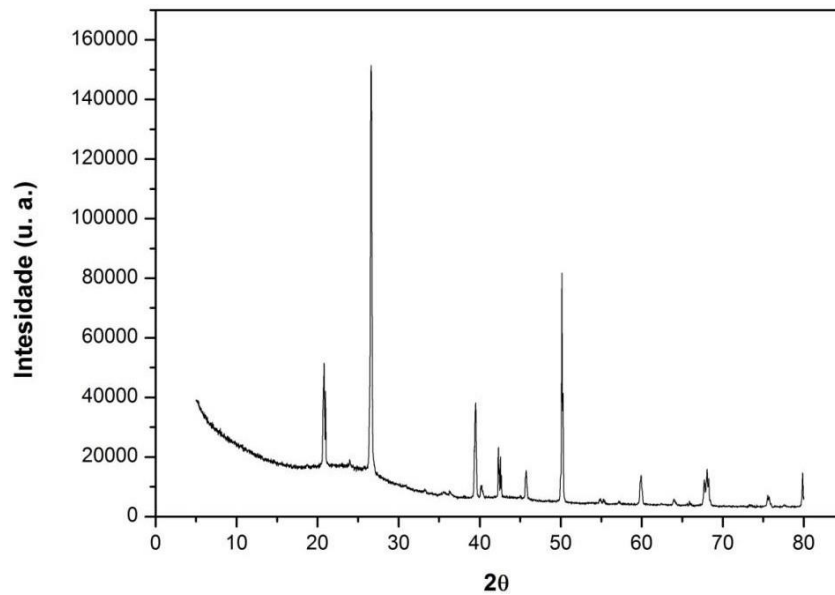


Figura 1: Difratograma de raios-X da CBC
 Fonte: O autor (2019).

As diferentes composições (Tabelas 1) foram preparadas com o interesse de avaliar o efeito do aumento da porcentagem de CBC e a diminuição do cimento na resistência da placa cimentícia, bem como avaliar suas características físicas e mecânicas.

Para a produção das placas cimentícias foram utilizados CBC com granulometria de 0,044 mm. De acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014), para um material ser avaliado como material pozolânico em substituição ao cimento Portland, pelo menos 80% de suas partículas precisam ser menores que 0,045 mm. Assim, o controle granulométrico é importante para a reprodução das características físicas e mecânicas da placa cimentícia.

Resultado mecânico da placa cimentícia

A NBR 15.498 (ABNT, 2016) classifica a placa cimentícia de fibro cimento de acordo com a sua aplicação. Para determinar se a aplicação da placa é adequada para ambientes externos ou internos a placa cimentícia tem que apresentar propriedades físicas medidas em Mega Paschoal (MPa).

Após os testes mecânicos realizados nos corpos de provas obtiveram-se os resultados de resistência à tração na flexão simples, deformidade, densidade e índice de absorção de água, apresentados na Tabela 3.

A Tabela 3 mostra que todas as amostras apresentaram propriedades plásticas, quando submetidas à força de resistência a tração, elevando assim seu desempenho, uma vez que as mesmas não apresentaram rupturas repentinas, permitindo um deslocamento de deformidade e

evitando, assim o cisalhamento imediato. O trabalho de Martins et al. (2007) também obteve êxito em seu experimento ao substituir 100% da CBC por agregados miúdos elevando o desempenho mecânico do material produzido.

Tabela 3 - Resultados do ensaio mecânico

Amostras	Resistência		Densidade (g/cm ³)	Absorção de água (%)	(CBC) utilizado na argamasa (%)
	a tração (MPa)	Deformidade (mm)			
A	1,9342	0,8413	1,13	28,42	0,00
B	13,5758	3,3568	1,20	25,00	44,27
C	1,8478	10,0726	1,14	28,26	70,44
D	1,7977	6,7114	1,16	37,25	40,00
E	1,7466	15,1209	0,70	51,61	44,27
F	1,3041	10,0821	0,71	53,12	54,37
G	4,1976	10,0844	0,71	39,39	25,40
H	5,2863	10,0832	1,12	22,73	12,30

Fonte: O autor (2019).

O melhor desempenho de resistência mecânica (Tabela 3) foi obtido pela amostra B, enquanto que G e H ficaram acima do mínimo exigido pela NBR 15.498 (ABNT, 2016) além de atingirem variáveis pertinentes a materiais com matriz cimentícia. Algumas destas variáveis são: adesão inicial, plasticidade, consistência, retenção de água, início e final de pega (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014). O corpo de prova F foi o que apresentou menor resistência à flexão simples (Tabela 3), esse resultado deve-se ao excesso de hidratação da argamassa (Tabela 1), ao alto volume de EPS e ao baixo índice de areia fina na composição da argamassa.

A amostra que apresentou maior deformidade foi a E, já as amostras C, F, G e H obtiveram resultados de deformidade aproximados (Tabela 3). O corpo de prova com menor deformidade foi a amostra A, este resultado pode ser atribuído a ausência de CBC e EPS em sua composição (Tabela 1). Após a incorporação de CBC na composição da argamassa aliado a adição de EPS é possível observar o aumento da plasticidade (Tabela 3), este resultado é corroborado pelo trabalho de Catoia (2012) que avaliou o desempenho de lajes leves de concreto utilizando o EPS incorporado à argamassa e pelo trabalho de Straker; Silva; Panzera (2014) que relacionou a inclusão de EPS para a produção de placas cimentícias.

Após realização do ensaio de densidade (Tabela 3) notou-se que quanto maior a proporção de areia fina na amostra, maior a densidade do material analisado, sendo a amostra

E a de menor densidade, esse desempenho se deu pela presença do EPS e ausência de areia fina em sua composição. A que obteve resultado de maior densidade foi à amostra B atingindo $1,20\text{g/cm}^3$, atribui-se a esse desempenho a maior proporção de areia fina em sua composição, sendo este também, o material de maior desempenho no teste de resistência a tração na flexão simples (Tabela 3) devido à perfeita distribuição entre os insumos. Já as amostras E, F e G mostraram a menor densidade, uma vez que sua composição apresentam as menores proporções de areia fina. A densidade de massa, também denominada massa específica, é a relação entre as massas da argamassa e o seu volume (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

A absorção de água é caracterizada como um processo físico pelo qual o concreto retém água nos poros, portanto, quanto maior a quantidade de água, maior a impermeabilidade (SOARES, 2014). Após análise dos resultados (Tabela 3), observou-se que os corpos de prova E e F atingiram os maiores índices de absorção de água, esse resultado foi em decorrência do alto volume de EPS na composição da argamassa (Tabela 1) que aumentou seu índice de vazio. Apesar do volume de EPS entre as amostra G e H descritos na Tabela 1 ser iguais, a amostra H obteve melhor resultado no índice de absorção de água por conter em sua argamassa maior volume de CP e ter sido melhor hidratada, aumentando sua trabalhabilidade, aglutinação dos elementos e o preenchimento dos vazios.

Na composição da argamassa para as amostras G e H (Tabela 1) manteve-se constante o percentual de vermiculita e diminuiu o volume de EPS e CBC, o que promoveu um aumento da resistência a tração na flexão simples dos materiais (Tabela 3) e uma diminuição de seus índices de absorção de água. A hidratação do cimento interfere tanto no comportamento da argamassa no estado fresco, quanto afeta as propriedades no estado endurecido. A argamassa precisa que grande parte do percentual da água fique retida para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes ocorram de uma maneira adequada, de modo que as propriedades no estado endurecido sejam satisfatórias (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

A vermiculita pode ser utilizada na construção civil como agregado miúdo na formulação de argamassa para função de isolante térmico e acústico ou para a impermeabilização de lajes de cobertura (UGARTE; SAMPAIO; FRANÇA, 2008). Após análise nas amostras verificou-se que quanto maior for à concentração de EPS na composição da argamassa maior torna-se o índice de absorção de água, devido ao aumento da porosidade do material, já a vermiculita por ser um mineral formado por silicatos hidratados auxilia na

impermeabilização destes materiais, auxiliando assim na formulação de argamassas que buscam desempenho térmicos, acústicos e de permeabilidade.

O ensaio de permeabilidade foi aplicado apenas nas amostras B, G e H sendo essas amostras as que apresentaram maior desempenho no teste de resistência à tração na flexão simples (Tabela 3). Já as demais amostras não atingiram resistência mínima exigida pela NBR 15.498 (ABNT, 2016) de 4 MPa. Neste ensaio, os resultados foram satisfatórios e não apresentaram gotejamento, sendo que a amostra G apresentou umidade na face inferior da placa no período de 24 horas.

Um comparativo entre as amostras B, G e H com 4 (quatro) marcas conhecidas do mercado de produção de placa cimentícia foi realizado para mensurar o desempenho de densidade (Tabela 4) e desempenho mecânico (Tabela 5).

No comparativo de acordo com os dados da Tabela 4 nota-se que a presença do EPS na amostra G resultou no menor peso por m² chegando a ser 39% mais leve que a placa comercial com maior peso, e 19% mais leve que a placa comercial com menor peso de acordo com as informações do fabricante.

Tabela 4 - Comparativo de peso por m² das amostras B, G e H em relação a placas comerciais

Modelo / Marca	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Peso (Kg)	Peso (Kg/m ³)	Área (m ²)
BrasiPlac / Brasilit ¹	12	240	120	58,80	20,40	2,88
Super Board/ Gypsum ²	12	240	120	44,38	15,41	2,88
Eterplac / Eternit ³	12	240	120	58,75	20,40	2,88
Eco Plac / Decorlit ⁴	12	240	120	44,38	15,41	2,88
Amostra B	06	120	60	22,05	15,30	1,44
Amostra G	06	120	60	18,00	12,51	1,44
Amostra H	06	120	60	25,91	18,00	1,44

Fonte: Autor (2019); ¹ <https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimenticia>; ² <https://www.gypsum.com.br/pt-pt>; ³ <https://www.eternit.com.br/produtos/solucoes-construtivas/placas-cimenticias>; ⁴ <https://www.decorlit.com.br/>.

Em relação às características mecânicas das amostras se comparadas com as principais placas comerciais do mercado brasileiro, observa-se na Tabela 5 que, a amostra B obteve o melhor desempenho, este resultado pode ter ocorrido pelo empacotamento das partículas que causam esse efeito físico (CORDEIRO et al., 2008).

Nota-se que as placas comerciais se usadas como referência diminuem sua resistência em estado saturado, mas o mesmo não aconteceu com as amostras B, G e H, onde foi observado um aumento em sua resistência quando em estado saturado (Tabela 5). Neste

comparativo pode-se destacar que a amostra B apresentou o melhor desempenho na densidade aparente em relação às placas comerciais, e a amostra H o menor índice de absorção de água (Tabela 5).

Tabela 5 - Comparativo de desempenho mecânico em relação a placas comerciais

Modelo / Marca	Resistencia a flexão (MPa)		Densidade Aparente (g/cm ³)		Classificação NBR 15.498	Absorção de Água (%)
	Equilíbrio	Saturado	Equilíbrio	Seca		
BrasiPlac / Brasilit ¹	17	11	1,70	1,40	A3	30,0
Super Board/ Gypsum ²	12	-	-	1,25	B2	30,0
Eterplac / Eternit ³	14	11	1,70	1,40	A3	26,0
Eco Plac / Decorlit ⁴	12	8	1,70	1,54	A3	24,0
Amostra B	13,60	16,70	1,25	1,21	A4	25,0
Amostra G	4,20	6,71	0,76	0,71	A2	39,3
Amostra H	5,00	6,71	1,18	1,11	A2	22,7

Fonte: Autor (2019); ¹<https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimenticia>; ²<https://www.gypsum.com.br/pt-pt>; ³<https://www.eternit.com.br/produtos/solucoes-construtivas/placas-cimenticias>; ⁴<https://www.decorlit.com.br/>.

As amostras B, G e H apresentaram parâmetros exigidos pela NBR 15.498 (ABNT, 2016) para todos os requisitos relacionados a resistência, densidade, absorção de água e permeabilidade, sendo a amostra B que atingiu a melhor classificação de resistência a tração na flexão simples (Tabela 5).

CONCLUSÃO

Somente as amostras B, G e H demonstraram potencial de utilizar a CBC em substituição do CP dentro da classificação definida pela NBR 15.498 (ABNT, 2016). A presença do EPS nas argamassas demonstrou que o produto final fica mais leve, porém perde resistência à compressão na flexão simples, aumenta os índices de vazios e aumentam o índice de absorção de água nas amostras, assim a incorporação da vermiculita expandida na composição da argamassa torna-se uma solução para equilibrar o índice de absorção de água.

Diante do exposto conclui-se que a CBC pode ser utilizada em substituição do CP nas proporções de 13% e 25% com a ausência da areia fina e pode chegar a níveis de até 45% se na composição ter pelo menos 1/3 do volume acrescido de areia fina desde que utilizado uma fibra de vidro para auxiliar na resistência superficial do produto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPEX - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO.
Disponível em: <http://www.abrapex.com.br>. Acessado em: 10/02/2019.

ALWAELI, M. Application of Granulated LeadZinc Slag in Concrete as an Opportunity to Save Natural Resources. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 83, p. 54-60, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498**: placa de fibrocimento sem amianto: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimentos produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. **Exacta**, v.5, n.2, p.223-230, 2007.

BATAYNEH, M.; MARIE, I.; ASI, I. Use of Select Waste Materials in Concrete Mixes. **Waste Management**, v. 27, p. 1870-1876, 2007.

BRASILIT placas cimentícias disponível em: <https://www.brasilit.com.br/produtos/placa-cimentici>. Acessado em setembro de 2018.

CAMPOS, P. F. **Light Steel Framing: Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento**. 2014. 198 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 137-151, 2016.

CATOIA, T. **Concreto Ultraleve Estrutural com Perolas de EPS: Caracterização do Material e Aplicação em Lajes**. 2012. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CHEN, C. *et al.* The Effects of the MechanicalChemical Stabilization Process for Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash on the Chemical Reactions in Cement Paste. **Waste Management**, v. 33, p. 858-865, 2013.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B.. Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus - Propriedades relevantes. **Cerâmica**, São Paulo, v. 60, n. 353, p. 69-76, 2014.

DECORLIT placas cimentícias disponível em: <https://www.decorlit.com.br/> : Acessado em setembro de 2018.

ETERNIT placas cimentícias disponível em: <https://www.eternit.com.br/produtos/solucoes-construtivas/placas-cimenticias> : Acessado em setembro de 2018.

GOSLING, J. *et al.* -Defining and categorizing modules in building projects: An international perspective. **J. Constr. Eng. Manage**, 2016.

GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. R. *et al.* Small Addition Effect of Agave Biomass Ashes in Cement Mortars. **Fuel Processing Technology**, v. 133, p. 35-42, 2015.

GYMPSUM placas cimentícias disponível em: <https://www.gypsum.com.br/pt-pt> : Acessado em setembro de 2018.

LIMA, S. A. *et al.* Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar em substituição ao agregado miúdo. **Revista Tecnológica**, Maringá, Edição Especial ENTECA, p. 87-97, 2009.

LIMA, S. A. *et al.* Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, 2011.

LIMA, S. A. *et al.* Analysis of the Mechanical Properties of Compressed Earth Block Masonry Using the Sugarcane Bagasse Ash. **Construction and Building Materials**, v. 35, p.829-837, oct. 2012.

MARHANI, M. A.; JAAPAR, A.; BARI, N. A. A. Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. **Procedia - Social And Behavioral Sciences**, v. 68, n.1, p.87-98, 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.12.209>.

MOURA, J. M. B. M.; MATOS, L. F. S. Placas cimentícias à base de resíduos sólidos domiciliares. **Rea – Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 1, n. 17, p.54-63, 30 jun. 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO – PNUD. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.pnud.org.br/ODS.aspx>. Acesso em: 10 jul. 2018.

PROALCOOL. **Programa Brasileiro do Álcool**. Disponível em: <http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>. Acesso em: 18 Maio, 2018.

SANTANA, M. J. A.; CARNEIRO, A. P.; SAMPAIO, T. S. Argamassas de revestimento. In: CASSA, J. C. S.; CAR (org.). *Reciclagem de entulho para a produção de materiais* - EDUFBA; Caixa Econômica Federal, p. 262 - 269, 2001.

SARHAN, S.; FOX, A. Barriers to Implementing Lean Construction in the UK Construction Industry. **The Built & Human Environment Review**, Cidade, v. 6, p. 1-17, 2013.

SILVA, D.K.A. *et al.* Biomassa microbiana do solo e atividade sob florestas naturais e regeneradas e plantações convencionais de cana-de-açúcar no Brasil. **Geoderma**, v 189, pp. 257 - 261, 2012.

SILVA FILHO, L. C. P. da; GARCEZ, M. R. Compósitos de Engenharia Matriz Polimérica. In: ISAIA, G.C. (Org.). *Materiais de Construção Civil e Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACOM, 2010.

SOARES, F. A. M. **Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi, em compósito cimentício**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei. Departamento de Engenharia Mecânica – 65f, 2014.

SOUZA G. N. *et al.* Desenvolvimento de argamassas com substituição parcial do cimento Portland por cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar. In: 49º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Bento Gonçalves. **Anais...**São Paulo : IBRACON, 2007.

STRECKER, K.; SILVA, C. A.; PANZERA, T. H.. Fabricação e caracterização de compósitos a base de cimento com incorporação de poliestireno expandido (isopor). **Cerâmica**, São Paulo , v. 60, n. 354, p. 310-315, 2014 .

UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.. Vermiculita. **Rochas e Minerais Industriais - Cetem**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 8, p.865-887, jan. 2008.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o apoio institucional do Centro Universitário de Maringá (CESUMAR) o qual garantiu bolsa de estudo integral para produção desta pesquisa. Ao Prof. Dr. Emerson Schwingel Ribeiro do Departamento de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ pelas análises de Fluorescência de raios-X e Difração de raios-X. Ao Prof. Ms. Rodolfo Krul Tessari do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Apucarana pelos testes mecânicos realizados nas amostras.

NORMAS DO ARTIGO

As normas apresentadas a seguir são diretrizes para publicação na revista Ambiente Construído da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, podendo ser consultado no site - <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido>

Diretrizes para Autores

Taxas para publicação (APCs charges)

Não são cobradas taxas para submissão e avaliação de artigos.

No entanto, após a conclusão do processo de avaliação por pares, os artigos aceitos passarão por revisão normativa, ortográfica e gramatical, executada por profissionais credenciados pela revista. Os custos dos serviços de revisão ortográfica e gramatical serão cobrados diretamente dos autores, pelos profissionais credenciados.

Ética (*Ethics and malpractice*)

São aceitos para publicação apenas artigos originais e inéditos, necessariamente fruto de um trabalho de pesquisa. Os artigos são primeiramente avaliados pelo editor-chefe, para verificar a pertinência do assunto e o atendimento às diretrizes editoriais da revista. Se aceito nesta etapa, faz-se a verificação quanto à existência de informações de autoria do artigo no texto e no arquivo, de forma a garantir a avaliação duplamente cega, e quanto à originalidade do texto, para evitar publicação de artigos que firam a ética na produção acadêmica.

Ainda com relação à ética, é essencial que os autores observem os seguintes requisitos:

- devem constar como autores apenas pessoas que contribuíram significativamente para o conteúdo e produção do artigo. O reconhecimento por contribuições assessoriais pode ser efetuado por meio de agradecimentos, ao final do artigo;
- os autores devem se certificar que todas fontes utilizadas para a produção do artigo foram devidamente citadas, garantindo a originalidade do texto e a inexistência de plágios e auto-plágios.

Política de plágio

De acordo com a Política Editorial da revista Ambiente Construído, –são aceitos para publicação artigos originais e inéditos, necessariamente fruto de um trabalho de pesquisa. Os textos submetidos são rastreados com uso das ferramentas Plagiarisma.net e Plagium.

Estrutura do artigo (*Preparing your manuscript*)

Título: O título do trabalho deve ser breve (máximo de 15 palavras) e suficientemente específico e descritivo, contendo as palavras-chave que representem o conteúdo do texto.

Indicação de Responsabilidade: Indicação de autoria do artigo deve ser feita **apenas no**

Sistema (nunca no arquivo submetido), apresentando o nome completo, a sua principal ocupação atual, principal instituição à qual está vinculada, endereço profissional, telefone e e-mail, de todos os autores, conforme exemplo abaixo:

FULANO DE TAL, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Caixa Postal 7100; CEP 03999-999, Porto Alegre - RS, Tel. 51 33169000, E-mail: fulano@ufrgs.br

Resumo: Deve conter de 100 a 200 palavras, em português, acompanhado de sua tradução para o inglês. O resumo deve apresentar clara e sucintamente o contexto, o problema de

pesquisa, objetivo, uma descrição sucinta do método, e resultados alcançados, caracterizando a contribuição para o conhecimento científico.

Palavras-chave: Após o resumo (abstract), devem ser incluídas, no mínimo, três e, no máximo, seis palavras-chave (Keywords) que auxiliem na identificação dos principais assuntos tratados no artigo.

Artigo: O texto deve conter um item de introdução com o objetivo de informar o leitor sobre o tema que será abordado e colocá-lo a par do conhecimento já existente. Deverá ser apresentada uma breve revisão bibliográfica, referenciando as principais referências nas quais o trabalho foi fundamentado.

Uma parte substancial do artigo deverá ser dedicada à descrição do desenvolvimento da pesquisa e discussão dos resultados obtidos. A descrição, apesar de sucinta, deverá ser clara, permitindo ao leitor compreender perfeitamente o procedimento adotado, ou ter acesso a ele por referências citadas. O método de pesquisa deve ser detalhadamente apresentado, incluindo delineamento ou estratégias utilizadas, e instrumentos de coleta e análise de dados claramente especificados.

Considera-se imprescindível um item contendo comentários conclusivos, destacando-se os principais produtos da pesquisa e suas contribuições para o conhecimento existente.

As referências devem ser apresentadas conforme as instruções, mas sua quantidade não deve ser excessiva. Deve-se evitar, se possível:

- referências para conhecimento geral do tema abordado;
- referências secundárias (*apud*);
- muitas referências para um único argumento;
- predominância de referências próprias.

Referências: As referências devem ser reunidas no final do artigo em uma única ordem alfabética, de acordo com NBR 6023 - Referências – Elaboração (2002).

Exemplos:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-780: standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry. Philadelphia, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6461: blocos cerâmicos para alvenaria: verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983a.

BARROS, M. M. B. Metodologia Para Implantação de Tecnologias Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios. 1996. 410 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

BLEDZIK, A. K. et al. A Comparison of Compounding Process and Wood Type For Wood Fibre-pp Composites. Composites Part A: applied Science and Manufacturing, v. 36, p. 789-797, 2005.

BRANDÃO, D. Q.; HEINECK, L. F. M. Classificação das Formas de Aplicação da Flexibilidade Arquitetônica Planejada em Projetos de Edifícios Residenciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., Florianópolis, 1998. Anais... Florianópolis: UFSC, ANTAC, 1998. v. 2, p. 215-222.

MORAES, R. C.; ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Efeitos da Cinza de Casca de Arroz e Fíler Calcário Sobre a Resistência Mecânica do Concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 43., Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: IBRACOM, 2000.

Citações: as citações no corpo do texto devem obedecer à forma adotada na referência, conforme NBR 10520: Apresentação de citações em documentos (2001), como por exemplo:

Conforme Moraes et al. (2000) ...

... (BRANDÃO; HEINECK, 1998).

A NBR 6461 (ABNT, 1983a) especifica

Sakai e Sugita (1995) sugerem ...

... (SILVA; ROMAN, 2001; LAVELLE, 1998).

... bem como proposto na ASTM C-780 (ASTM, 1991).

Agradecimentos: Agradecimentos para agências de fomento à pesquisa, a instituições que não a do(s) autor(es) e a eventuais orientadores ou inspiradores do trabalho poderão ser mencionados no final do artigo, apenas na versão final, após aprovação do artigo para publicação.

Notas: Notas inseridas no corpo do artigo devem ser indicadas por meio de algarismos romanos, em formato sobrescrito, imediatamente depois da frase a que diz respeito. As notas deverão vir no rodapé do texto, na página em que aparecem.

Ilustrações: Figuras e fotografias nítidas e gráficas (estritamente indispensáveis para à clareza do texto) poderão ser aceitas e deverão ser assinaladas, no texto, pelo seu número de ordem e pela sua legenda, os locais onde devem ser intercalados. Se as ilustrações enviadas já tiverem sido publicadas, mencionar a fonte e a permissão para reprodução.

Quadros e tabelas: deverão ser acompanhados de legenda que permita compreender o significado dos dados reunidos. Assinalar, no texto, pelo seu número de ordem e sua legenda, os locais onde devem ser intercalados. Preferencialmente, quadros e tabelas devem ser feitas no próprio documento do Word.

Fórmulas: as fórmulas deverão ser numeradas e inseridas ao longo do texto.

Estilo: o texto deve ser claro, direto e preciso, evitando-se linguagem rebuscada, excesso de adjetivos ou frases longas.

Formato (Formating your manuscript)

A minuta do artigo deve ter o máximo de 7.000 palavras e 5MB, contando-se a partir da introdução do artigo, até as conclusões. O original deverá ser formatado em folha A4, com espaço simples, fonte Times New Roman, tamanho 12. As margens superior e esquerda devem apresentar 3 cm e as margens inferior e direita, 2 cm. Na primeira página deve estar o título em português e em inglês, o resumo, o abstract e palavras-chave em cada um dos idiomas. Os títulos e subtítulos não devem ser numerados e os formatos das fontes dos títulos do artigo podem ser:

Título 1: Times New Roman, tamanho 14, em negrito e maiúsculas. Deverá receber numeração progressiva com um dígito.

Ex.: RESULTADOS

Título 2: Times New Roman, tamanho 12, negrito.

Ex.: Características e apropriação dos espaços abertos

Título 3: Times New Roman, tamanho 12, sem negrito.

Ex.: Sobrados

Dúvidas, escreva para ambienteconstruido@ufrgs.br

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados apresentados tem-se que: a amostra C, D, E e F não atenderam os requisitos mínimos da NBR 15.498 (ABNT, 2016); a amostra B atingiu potencial para classificação de estagio 4 de acordo com a norma supracitada; as amostras G e H atingiram potencial para classificação de estagio 3 dentro da recomendação de resistência determinada pela NBR 15.498 (ABNT, 2016).

Para o teor de CBC nas amostras conclui-se que quanto maior a concentração menor a capacidade de argamassa em aglutinar os elementos, onde 45% é o percentual CBC a ser utilizado em substituição do CP para um resultado satisfatório quando utilizado em conjunto a fibra de vidro para auxiliar na resistência superficial do produto.

A ausência da areia fina nas amostras G e H e a presença de EPS em sua argamassa permitiram um bom resultado com o teor de 13% e 25% respectivamente de CBC.

Todas as mostras demonstraram potencial de utilizar a CBC em substituição do CP, sendo que apenas as amostras A, C, D, E e F não atenderam as diretrizes da NBR 15.498 (ABNT,2016) , e somente as amostras B, G e H se enquadraram dentro da classificação definida pela normativa.

A presença do EPS nas argamassas demonstrou que o produto final torna-se mais leve, porém perde resistência à compressão na flexão simples, aumenta os índices de vazio e aumentam o índice de absorção de água nas amostras e um elemento que pode balancear o índice de absorção de água é a inclusão de vermiculita na argamassa.

Para trabalhos futuros recomendam-se utilizar 20% de areia fina, 30% de CBC em substituição de CP e 30% de vermiculita para argamassa com potencial de alta resistência a tração na flexão simples. Para argamassas que resultem baixa densidade e não necessite de produtos de elevado resistência à tração na flexão simples substituir a areia fina por EPS na mesma proporção de substituição 30%.