

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**MARIELLE SILVA RODRIGUÊS
RAFAEL BRANDÃO SANTIAGO AMARAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DAS CINZAS DO BAGAÇO DA
CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO NA
FABRICAÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

**ANÁPOLIS / GO
2019**

**MARIELLE SILVA RODRIGUÊS
RAFAEL BRANDÃO SANTIAGO AMARAL**

**ESTUDO EXPERIMENTAL DAS CINZAS DO BAGAÇO DA
CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO NA
FABRICAÇÃO DE TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES

ANÁPOLIS / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

RODRIGUÊS, MARIELLE SILVA/ AMARAL, RAFAEL BRANDÃO SANTIAGO

Estudo experimental do uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto na fabricação de tijolo de solo-cimento

67P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-----------------------------|---------------------------------|
| 1. Solo-Cimento | 2. Tijolo ecológico |
| 3. Bagaço da cana-de-açúcar | 4. Cavaco de eucalipto |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel (10 ^º) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

RODRIGUÊS, Marielle Silva; AMARAL, Rafael Brandão Santiago. Estudo experimental do uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto na fabricação de tijolo de solo-cimento. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 67p. 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marielle Silva Rodriguês

Rafael Brandão Santiago Amaral

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo do uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto na fabricação de tijolo de solo-cimento

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Marielle Silva Rodriguês

Marielle Silva Rodriguês

marielle.mf.brandao@gmail.com

Rafael Brandão Santiago Amaral

Rafael Brandão Santiago Amaral

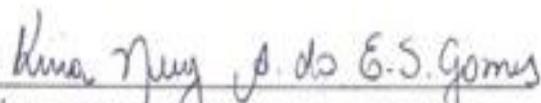
rafaelbsamaral@icloud.com

MARIELLE SILVA RODRIGUÊS
RAFAEL BRANDÃO SANTIAGO AMARAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO
AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
UNIEVANGÉLICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL

APROVADO POR:



KÍRIA NERY ALVES DO E. S. GOMES, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)



CARLOS EDUARDO FERNANDES, Especialista (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)



EDUARDO MARTINS TOLEDO, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 27 DE MAIO DE 2019.

AGRADECIMENTOS

Parar e pensar nas palavras certas para agradecer a todos que fizeram parte dessa jornada árdua que foi chegar até aqui, não é fácil. Muitos contribuíram de forma direta e indiretamente para que eu conquistasse o título de bacharel em Engenharia Civil, mas humildemente gostaria de destacar algumas.

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, por ser luz para o meu caminho e lâmpada para meus pés. A fé me trouxe até aqui mesmo em momentos em que nada parecia ter sentido. À minha família, irmãos, primos, tios, avós que todo o tempo foram meu alicerce, acreditando no meu potencial e me motivando. À minha madrinha e tia, Lúcia, que Deus escolheu para ser minha apoiadora em tudo e foi meu braço direito no momento mais difícil que vivi. Aos meus pais que sempre foram a minha base de amor nessa vida e, saudosamente à minha mãe que mesmo não estando aqui fisicamente para celebrar conosco essa vitória, trago sua memória dentro de mim pra sempre. A todos os meus amigos em especial a Gabriela Araújo, ao grupo B.P. e meu parceiro de trabalho Rafael Brandão, quem tem amigos tem tudo e sem vocês essa jornada seria muito mais difícil.

Dedico essa vitória especialmente a minha filha que muito além de ser a razão pela qual estou aqui, foi minha principal parceira e sempre a primeira a acreditar que eu era capaz de ser/fazer tudo o que eu acreditasse, além de me acompanhar inúmeras vezes às aulas, trabalhos acadêmicos e entender minha ausência em tantos outros momentos de necessidade.

Agradeço com enorme carinho a nossa orientadora Ma. Kíria Nery por toda a paciência e confiança a nós depositada, ela acreditou na nossa capacidade para a conclusão desse trabalho.

Agradeço a Granol e a Tijoleko pela contribuição em nosso trabalho de conclusão de curso.

Por último, meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram de alguma forma para o meu crescimento durante esses cinco anos, dentro e fora do âmbito acadêmico.

Marielle Silva Rodriguês.

AGRADECIMENTOS

E mais uma fase da minha vida está sendo concluída, e isso só foi possível graças a todo o apoio que recebi durante esses 5 anos.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus quem me concedeu o dom da vida e permitiu que eu chegasse até aqui, sem Ele nada disso seria possível. Aos meus pais que mesmo distantes, sempre me deram forças e lutaram arduamente para que eu pudesse permanecer com meus estudos. Ao meu irmão que esteve ao meu lado durante todo esse tempo me ajudando no que fosse possível para que eu não falhasse.

Agradeço aos meus familiares e amigos pelas palavras de conforto quando eu precisava, acreditando sempre no meu potencial para alcançar os meus objetivos.

Agradeço e parablenizo os professores do Curso de Engenharia Civil por todo o conhecimento transmitido e pela paciência pra nos ensinar.

Agradeço também as empresas Tijoleko e Granol por nos apoiar neste estudo.

Agradeço a nossa orientadora Ma. Kiria Nery por toda a ajuda dada e paciência para nos ensinar.

E para finalizar, gostaria de agradecer de todo o meu coração a minha parceira Marielle Rodrigues por estar ao meu lado nesses 5 anos e por ter me dado a honra de ter feito esse trabalho juntos.

Rafael Brandão Santiago Amaral

RESUMO

O ramo da construção civil é responsável por parte significativa (40 a 60%) do montante de resíduos sólidos urbanos, o que gera preocupação quando se pensa em sustentabilidade. Um dos meios de se amenizar os impactos gerados, é a aplicação de métodos que aproveitam esses resíduos. O tijolo de solo cimento ou tijolo ecológico já trás a idéia de sustentabilidade e nesse trabalho apresenta-se a adição de resíduos em sua composição, para um estudo a fim de melhorar suas propriedades quanto a resistência mecânica. O tijolo ecológico é composto por solo (saibro), cimento e água, com a adição dos resíduos foram dispostos quatro amostras, sendo três com substituição parcial do cimento Portland. Os tijolos de solo-cimento foram fabricados, seguindo as prescrições normativas contidas na NBR 10833, com variadas proporções de cimento por substituição com resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto variando entre teores de 0%, 6%, 8% e 10%. Foram aplicados parâmetros para ensaio de compressão conforme NBR 8492, onde apresenta valores médios não satisfatórios para atender a normativa, no entanto alguns valores individuais são satisfatórios. Para o teste de absorção de água, todos os valores encontrados, médios e individuais estão em conformidade como preconiza a NBR 8491. Entende-se a relevância desse trabalho para disseminar trabalhos futuros que visam melhorias na construção civil quanto a sustentabilidade, portanto foram indicados alguns tópicos a serem melhor avaliados para trazer um estudo mais minucioso.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento. Tijolo ecológico. Bagaço da cana-de-açúcar. Cavaco de eucalipto.

ABSTRACT

The branch of civil construction is responsible for significant part (40 to 60%) The amount of urban solid waste, which raises concern when thinking about sustainability. One of the means of mitigating the impacts generated is the application of methods that take advantage of these residues. The brick of soil cement or ecological brick already brings the idea of sustainability and in this work presents the addition of residues in its composition, for a study in order to improve its properties as the mechanical resistance. Basically the ecological brick is composed of soil (clay), cement and water, with the addition of the residues were arranged four samples, three with partial substitution of Portland cement. The soil-cement bricks were manufactured, following the normative prescriptions contained in NBR 10833 (ABNT, 2013), with varying proportions of cement by substitution with residue of sugarcane bagasse ash and eucalyptus chip varying between levels of 0%, 6%, 8% and 10%. Parameters were applied for compression test according to NBR 8492 (ABNT, 2012), where it presents unsatisfactory average values to meet the normative, however some individual values are satisfactory. For the water absorption test, all the values found, mean and individual are in conformity as recommended by NBR 8491 (ABNT, 2012). It is understood the relevance of this work to disseminate future works aimed at improvements in civil construction and sustainability, so some topics were indicated to be better evaluated to bring a more thorough study.

KEYWORDS: Soil-cement. Ecological brick. Sugarcane bagasse. Eucalyptus chip.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tijolo de Solo-Cimento com Dois Furos.....	18
Figura 2 - Instalação Hidráulica Embutida nos Tijolos Ecológicos	18
Figura 3 - Habitação simples construída apenas com uso de solos	19
Figura 4 - Composição do tijolo solo-cimento	20
Figura 5 - Prensa automática para produção de tijolo de solo-cimento.....	26
Figura 6 - Esteira transportadora	26
Figura 7 - Multiprocessador	27
Figura 8 - Tijolo maciço de solo-cimento (dir.) e tijolo vazado de solo-cimento (esq.).....	27
Figura 9 - Entulho em uma Obra	30
Figura 10 - Canavial	34
Figura 11 - Cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar após peneiramento.....	35
Figura 12 - Eucalipto	37
Figura 13 - Solo utilizado na pesquisa (Saibro)	40
Figura 14 - Cinzas	41
Figura 15 - Mistura solo, cimento e cinzas.....	43
Figura 16 - Misturador automático	43
Figura 17 - Esteira de transporte do solo-cimento.....	44
Figura 18 - Tijolo solo-cimento acabado.....	45
Figura 19 - Tijolos empilhados para a cura	46
Figura 20 - Cura dos tijolos	47
Figura 21 - Análise Dimensional.....	48
Figura 22 - Corte perpendicular	49
Figura 23 - Faces sobrepostas.....	49
Figura 24 - Capeamento	50
Figura 25 - Corpos submersos	50
Figura 26 - Rompimento dos corpos de prova	51
Figura 27 - Corpos de prova na estufa.....	52
Figura 28 - Imersão dos corpos de prova	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores médios das amostras	57
Gráfico 2 - Valores médios do ensaio à compressão.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de análise	53
---------------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas granulométricas consideradas ideais.....	22
Tabela 2 - Características geotécnicas dos solos adequados	22
Tabela 3 - Limites especificados para controle de qualidade de tijolos de solo-cimento	25
Tabela 4 - Tipos e dimensões de tijolos ecológicos	27
Tabela 5 - Perdas médias de alguns materiais em canteiros brasileiros.....	30
Tabela 6 - Exemplos de cidades com usinas de reciclagem, aterros de inertes e/ou ATT (continua).....	31
Tabela 7 - Composição química da CBC realizada por espectroscopia de fluorescência de raios-X	36
Tabela 8 - Resistência média à compressão em MPa da argamassa aos 28 dias e respectivos índices de atividade pozolânica (IAP) para as diferentes misturas de cimento e CBC.....	36
Tabela 9 - Análise granulométrica saibro.....	39
Tabela 10 - Porcentagens de cinzas	42
Tabela 11 - Traços produzidos	45
Tabela 12 - Análise dimensional - Traço 0.....	53
Tabela 13 - Análise dimensional - Traço 6.....	54
Tabela 14 - Análise dimensional - Traço 8.....	54
Tabela 15 - Análise dimensional - Traço 10.....	55
Tabela 16 - Valores individuais das amostras	56
Tabela 17 - Valores médios das amostras	57
Tabela 18 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 0.....	58
Tabela 19 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 6.....	59
Tabela 20 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 8.....	59
Tabela 21 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 10.....	60
Tabela 22 - Valores médios do ensaio à compressão	60

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
Abrecon	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
ARI	Alta Resistência Inicial
ATT	Áreas de Transbordo e Triagem
C ₂ S	Silicato dicálcico ou belita
C ₃ S	Silicato tricálcico ou alita
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₄ AF	Ferroaluminato tetracálcico ou ferrita
CCE	Cinzas do cavaco de eucalipto
CEPED	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia
CH	Hidróxido de cálcio
CINVA	Centro Interamericano de Vivienda e Planeamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
CT	Centro Tecnológico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMO	European Mortar Industry Organization
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia
HCIA	Hellenic Cement Industry Association
ICPA	Instituto del Cemento Portland Argentino
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
MF	Módulo de finura
NBR	Norma Brasileira
PCA	Portland Cement Association
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO.....	17
2.1 HISTÓRIA DO SOLO-CIMENTO	18
2.2 COMPOSIÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO.....	20
2.2.1 Características do solo	21
2.2.2 Característica do cimento	22
2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO.....	24
3 SUSTENTABILIDADE.....	28
3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	28
3.1.1 Desperdício em obras.....	29
3.1.2 Reciclagem	30
4 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO	
33	
4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA	33
4.2 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	33
4.3 CINZAS DO CAVACO DE EUCALIPTO	37
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	39
5.1 CONFECÇÃO TIJOLO SOLO-CIMENTO	39
5.1.1 Saibro.....	39
5.1.2 Cimento	41
5.1.3 Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto.....	41
5.1.4 Traços	42
5.1.5 Cura	46
5.2 ENSAIOS.....	47

5.2.1	Análise dimensional.....	47
5.2.3	Ensaio de absorção de água.....	51
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	53
6.1	RESULTADOS DOS ENSAIOS	53
6.1.1	Análise dimensional.....	53
6.1.2	Absorção de água.....	56
6.1.3	Resistência à compressão.....	58
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

O ramo da construção civil é responsável por parte significativa (40 a 60%) do montante de resíduos sólidos urbanos, que se descartados de forma incorreta podem acarretarem graves danos ao meio ambiente, poluindo cursos d'água, solos e o ar. Devido a este fator preocupante, tornou-se necessário optar por métodos construtivos sustentáveis (BEDIM, 2011)

Os sistemas construtivos sustentáveis contam com meios de construção que asseguram a produção e a racionalização de obras ambientalmente corretas e mais limpas, mediante os materiais empregados ou seus métodos operacionais (LOPES, 2018), algo que vem crescendo bastante durante os anos, como a utilização do tijolo de solo-cimento substituindo o uso de materiais convencionais.

O tijolo de solo-cimento, também conhecido como “tijolo ecológico”, é um material bastante útil para uma construção, em todos os sentidos, visto que apresenta a mesma função estrutural (e de vedação, na maioria das vezes) que uma alvenaria convencional, e desde a sua fabricação até a sua utilização em uma obra. É um material financeiramente mais viável e em sua composição contém solo, cimento e água, podendo adicionar resíduos para a melhoria do produto (CORDEIRO; MACHADO, 2017).

Uma das técnicas aplicada na construção é o aproveitamento dos resíduos, seja por reutilização ou reciclagem, na produção de materiais, como no tijolo de solo-cimento. Alguns testes realizados pela Unesp em Ilha Solteira (SP) já mostraram resultados notáveis na confecção de tijolos ecológicos a partir de resíduos de concreto, reduzindo uma quantidade significativa de cimento na sua produção e, conseqüentemente, proporcionou um aumento relevante na resistência (SOUZA *et al.*, 2006).

1.1 JUSTIFICATIVA

O uso do tijolo de solo-cimento, ou tijolo ecológico, é uma solução ambiental e sustentável, com possibilidade de agregar diversos tipos de resíduos dentro do traço, como as cinzas de resíduos do bagaço de cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto, no qual pode substituir parte do cimento Portland, reduzindo o custo e impacto ambiental, já que no Brasil tem um consumo elevado, tornando-o 4º maior consumidor do mundo (FERREIRA, 2009).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa tem como objetivo geral fazer uma análise comparativa entre o tijolo de solo-cimento convencional e com a inclusão das cinzas de resíduos do bagaço de cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto em seu traço. Assim como avaliar a porcentagem de material adequada que possa trazer maior resistência a compressão.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- i. Fazer um estudo bibliográfico acerca do tema e confeccionar um traço experimental para o tijolo de solo-cimento;
- ii. Confeccionar tijolos de solo-cimento substituindo parte do cimento pelas cinzas do bagaço de cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto;
- iii. Analisar as propriedades mecânicas do tratamento e comparar com o tijolo de solo-cimento convencional;

1.3 METODOLOGIA

O estudo será feito através de análise experimental de dados oriundos de ensaios de compressão e absorção, fazendo um comparativo entre resultados obtidos e estimados com tijolo de solo-cimento convencional e com a adição das cinzas de resíduos do bagaço de cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto. A confecção dos tijolos será realizada na empresa Tijoleko, situado na cidade de Anápolis, e os ensaios serão realizados no laboratório na UniEvangélica campus Anápolis.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho divide-se em sete partes, sendo que o capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, conceituando o objeto de estudo e seus segmentos, trazendo a justificativa e objetivo.

No capítulo 2 é englobado conceitos a respeito do principal objeto de estudo, que é tijolo de solo-cimento, trazendo informações sobre sua história, processo de fabricação e usabilidade dentro do âmbito da construção civil no cenário nacional.

O capítulo 3 refere-se à sustentabilidade, a origem desse termo, a sua necessidade para a preservação da natureza e da vida humana e a sua relação com o objeto de estudo.

O capítulo 4, estuda-se a utilidade da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto quanto ao seu resíduo e sua atividade pozolânica na substituição do cimento.

No capítulo 5 inicia-se o programa onde é apresentado, os materiais que foram utilizados para obter os resultados dessa pesquisa, assim como suas caracterizações.

O capítulo 6 apresenta-se a apresentação e análise dos resultados obtidos pelo estudo com o ensaio de resistência a compressão e teste de absorção de água.

Por fim, no capítulo 7, reúne-se considerações do presente trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

O tijolo de solo-cimento vem se mostrando um material versátil com uma grande relevância sustentável e arquitetônica (visto que pela sua modularidade, possibilita formas arredondadas, curvas e espessuras diferentes), além de obter um diferencial na forma e leveza, com um custo baixo e permite a possibilidade do aproveitamento de materiais da região, sendo essas umas das características que comprovam sua contribuição para uma obra mais sustentável (ECOCASA, 2014).

Segundo Lima F. (2016, *apud* OSCAR NETO, 2010) essa técnica construtiva proporciona muitas vantagens, tanto ambiental quanto econômico:

- Comparando com a alvenaria convencional, há uma diminuição de 30% no tempo da construção;
- O uso de madeiras nas caixarias dos pilares e vigas é reduzido em quase zero;
- Economia de 50% de ferro;
- Economia de 70% do concreto e argamassa de assentamento;
- Obra mais limpa e sem entulhos;
- Devido a cura desse produto depender apenas de água e sombra, não apresenta necessidade do processo da queima através de forno a lenha (exigido pelos tijolos comuns), ajudando a reduzir o aquecimento global e o desmatamento de florestas.
- Ajuda a evitar gastos com estacas mais profundas e sapatas maiores, pelo fato da diminuição de peso sobre a fundação por causa de sua leveza.
- Tem fácil acabamento, sendo necessário apenas a aplicação de um impermeabilizante a base de acrílico ou silicone, economizando com reboco e pintura.

“Outra vantagem é que o tijolo pode ser reaproveitado caso quebre, basta moê-lo e reconstruí-lo” (PORTAL EDUCAÇÃO, 2017).

O tijolo ecológico mais utilizado possui dois furos (Figura 1) e por essa característica, o produto possui mais vantagens sobre as alvenarias convencionais, dado que as instalações hidráulicas pode ser toda embutida em seus furos (Figura 2) sem que haja a necessidade de quebrar paredes, juntamente com as instalações elétricas dispensando caixas de luz e conduítes, concedendo ao engenheiro/arquiteto a opção de fixar os interruptores e as tomadas diretamente sobre os tijolos. Com uso desse material, a obra tem um isolamento

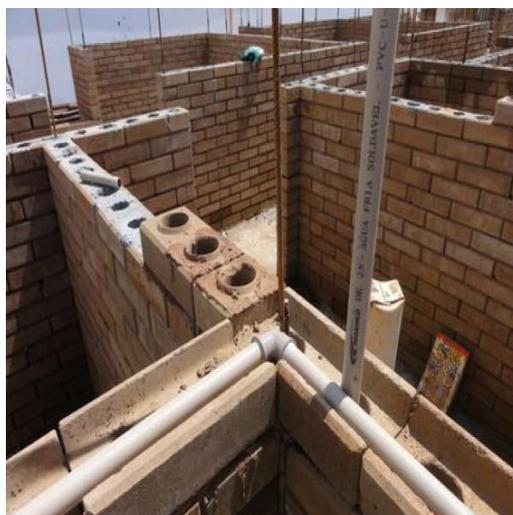
térmico, acústico e proteção de umidade, já que através dos furos há evaporação do ar impedindo a formação de umidade nas paredes (MIELI, 2009).

Figura 1 - Tijolo de Solo-Cimento com Dois Furos



Fonte: CUNHA, 2012

Figura 2 - Instalação Hidráulica Embutida nos Tijolos Ecológicos



Fonte: CASAS RIO, 2015

2.1 HISTÓRIA DO SOLO-CIMENTO

Para Lima R. (2010), o solo se tornou um material bastante utilizado para a construção, por exemplo, de abrigos, por ser extremamente abundante e de fácil obtenção na natureza, especialmente em locais onde o manuseio de rochas e madeira é difícil.

Os solos melhorados é o método mais antigo e popular de construção. Prova disso são as construções na Babilônia executadas há mais de 3.000 anos. A muralha da China, com aproximadamente três mil quilômetros de extensão, é outro exemplo de construção antiga feita com o uso de solos, assim como uma das favelas mais antigas do mundo e que foi declarada como patrimônio pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), Taos Pueblo (Figura 3) no Novo México (LIMA R., 2010).

Apesar de estudos, feitos por Andrade Filho (1989), apontarem que o conceito de solo-cimento teve conhecimento no ano de 1917, em Salzburgo (Áustria), só há provas concretas do seu uso após 1932 em uma pavimentação de 17.000 m² na cidade de Johnsonville, Carolina do Sul, EUA. Os ensaios feitos com solo-cimento começaram a ser normalizados em 1944 pela American Society for Testing Materials (ASTM), logo em seguida pela American Association of State Highway Officials (AASHO) e pela Portland Cement Association (PCA) (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007, p. 833), e assim, começou um processo de pesquisas sobre o solo junto com o cimento e aplicados à pavimentação, em seguida, à construção de casas.

Figura 3 - Habitação simples construída apenas com uso de solos



Fonte: WILMER, 2017

No Brasil, o solo-cimento se tornou alvo de pesquisas apenas após a década de 1970 pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED), da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) conforme Mercado (1990 *apud* GRANDE, 2003), porém há registros do

uso do solo-cimento em algumas construções no país antes da década de 1970, por exemplo, um hospital situado em Manaus (AM) feito apenas por paredes de solo-cimento, construído em 1953.

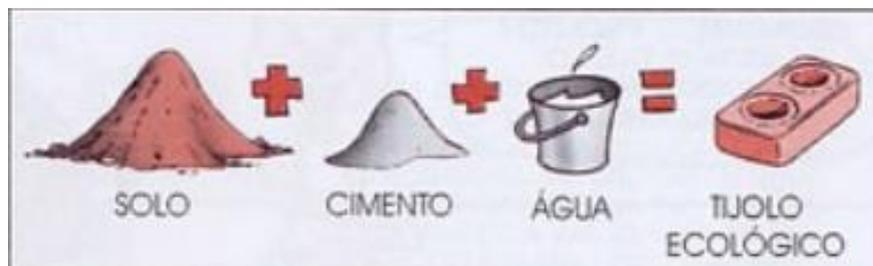
De acordo com Segantini (2000), o solo-cimento é classificado em duas categorias:

- a) Solo-cimento compactado (SCC): deve adicionar a água em quantidade suficiente, de maneira que possibilite a máxima compactação e a ocorrência das reações de hidratação do cimento.
- b) Solo-cimento plástico (SCP): deve adicionar a água até que se obtenha um produto de consistência plástica, de aspecto similar ao de uma argamassa de emboço.

2.2 COMPOSIÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

Solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea de solo, cimento e água (Figura 4), sua cura acontece na sombra, não tendo necessidade de passar pelo processo de queima, e pelo fato da sua matéria-prima principal ser facilmente encontrada na natureza, é também conhecido como tijolo ecológico (MOTTA *et. al*, 2014 *apud* LIMA R., 2010). Tipo de solo, teor de cimento e teor de umidade são umas das principais características que tem influência nas propriedades do solo-cimento, assim como a compactação e homogeneidade da mistura, idade e tempo de cura (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007).

Figura 4 - Composição do tijolo solo-cimento



Fonte: MIELI, 2009

Menor permeabilidade, aumento de resistência à compressão e o fato do material não se danificar ao submergido em água, são algumas características advindas da adição do cimento. Apesar do cimento não influenciar tanto quanto o solo, seu teor elevado pode acabar causando patologias no material, sendo necessário se atentar quanto a compactação (MIELI, 2009).

2.2.1 Características do solo

Na composição do solo-cimento, a proporção do solo é a maior perante aos outros materiais. O cimento e a água são materiais que normalmente apresentam grande uniformidade, ao contrário do solo, que se apresenta bastante variável (MACÊDO, 2004).

Há um bom tempo se tem conhecimento de que, tecnicamente, todo solo pode ser melhorado pela adição de cimento, exceto aqueles que contem mica e húmus em abundância. Entretanto, pode-se afirmar que os solos arenosos de boa graduação e com plasticidade de média a baixa são os mais passíveis de serem estabilizados com cimento, pois requerem baixos teores de aditivo; ao mesmo tempo que aqueles com elevada plasticidade são problemáticos ao demandarem altos teores de cimento e enérgicos equipamentos misturadores (CERATTI, 1991).

De forma geral, as propriedades mecânicas dos solos evidenciam melhorias quando misturados com cimento e submetidos a processos de compactação. Existem, no entanto, limitações ao uso de determinados solos, normalmente vinculadas à trabalhabilidade e a aplicação de cimento. Os limites de consistência, LL (limite de liquidez) e LP (limite de plasticidade), são as variáveis que detalhadamente expressam as condições de trabalhabilidade. De forma a ser mais viável, há um entendimento de que, o solo deve apresentar LL entre 45% e 50% (CEPED, 1984 *apud* SEGANTINI, 2000). Quanto à granulometria, considera que os solos mais apropriados seriam os arenosos. A existência de grãos de areia grossa e pedregulhos é favorável, pois além de serem materiais inertes, apresentam apenas a função de enchimento, o que favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores. Os solos devem ter, no entanto, um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento deve-se à coesão da fração fina compactada. Estudos têm demonstrado que quando os solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, impede que a compactação aconteça pois não alcança a resistência inicial para tal ação. Os critérios para a seleção dos melhores solos não apontam muita variação. Apresentam-se, na Tabela 1, as faixas granulométricas consideradas ideais e na Tabela 2 as características geotécnicas dos solos mais adequados para a fabricação de solo-cimento (SEGANTINI, 2000).

Tabela 1 - Faixas granulométricas consideradas ideais

Autores	Areia (%)	Argila (%)	Argila (%)	Silte + Argila (%)	LL (%)
CINVA (1963)	45-80	-	-	20-25	-
ICPA (1973)	60-80	10-20	5-10	-	-
Merril (1949)	>50	-	-	-	-
MAC (1975)	40-70	<30	20-30	-	-
CEPED (1984)	45-90	-	<20	10-55	45-50
PCA (1969)	65	-	-	10-35	-

Fonte: SEGANTINI, 2000

“O solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, já que exigem baixo consumo de cimento.” (SILVA *et al.*, 2008 *apud* LIMA R., 2010).

Tabela 2 - Características geotécnicas dos solos adequados

Características	Tijolos de solo-cimento NBR 10832/13
% passando na peneira ABNT com abertura 4,8mm	100%
% passando na peneira ABNT 0,075mm (n° 200)	10 a 50%
Limite de Liquidez	≤ 45%
Índice de Plasticidade	≤ 18%

Fonte: ABNT, 2013

2.2.2 Característica do cimento

O cimento é o material ligante do solo-cimento. A palavra cimento descende do termo latino *caementun*, utilizado pelos nativos de Roma para denominar a mistura de cal com pozolana, oriunda das cinzas vulcânica das ilhas gregas da região de Pozzuoli. Conforme Grande (2003), cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do

clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo de pega) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento. O clínquer é o resultado da mistura de calcário, argilas e, em menor proporção, minério de ferro submetida a um processo chamado clinquerização.

Afirma Neville (1997) que a fabricação do cimento Portland passa por um processo que consiste em moer a matéria-prima, de forma concisa, então misturá-la em determinadas proporções e submetê-la à queima em forno rotativo a temperaturas extremamente altas. Com a queima, se obtém o clínquer que por final é moído. Para ter um controle da pega e o endurecimento, é adicionado o gesso. Há possibilidade desse material receber outras adições futuramente, como as sílicas ativas, as cinzas volantes, a escória de alto forno, etc.

Grande (2003) relata que o clínquer, quando transformado em pó, tem composição química específica e propriedades físicas de cimento, compondo-se de um conjunto de componentes anidros, sendo os principais: silicato tricálcico – ou alita – (C_3S), silicato dicálcico – ou belita – (C_2S), aluminato de cálcio (C_3A) e ferroaluminato tetracálcico – ou ferrita – (C_4AF). O conhecimento dos produtos formados pela hidratação do cimento, bem como dos vários fatores (calor liberado e velocidade) que constituem essa reação, é de imensa importância para o uso prático do cimento Portland. Por certo, se tratando de um componente do solo-cimento, é necessário entender algumas características tecnológicas desse material. As propriedades dos principais componentes do cimento em hidratação são:

- C_3A – reage nos primeiros minutos e provoca elevado calor de hidratação; proporciona pouco desenvolvimento de resistência e forte retração;
- C_3S – responsável pelo desenvolvimento de resistência nas idades iniciais e proporciona alto desempenho de calor, liberando cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio (CH);
- C_2S – acarreta o desenvolvimento de resistência em idades mais avançadas com baixa liberação de calor, produzindo por volta de 18% em massa de CH;
- C_4AF – desenvolvimento lento e pequeno de resistência mecânica e boa resistência ao ataque por sulfatos.

O processo de hidratação do cimento é muito complexo e representado por diversas reações químicas simultâneas, interferindo umas nas outras. O tamanho dos grãos do cimento (área específica), quantidade de água disponível, procedimentos de mistura e temperatura são responsáveis pelo comportamento da hidratação, sendo esse: velocidade, distribuição e formação dos produtos hidratados (GRANDE, 2003).

Os cimentos brasileiros normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), além do cimento branco, são:

- CP I – cimento Portland comum
- CP I-S – cimento Portland comum com adição;
- CP II-E – cimento Portland composto com escória de alto forno;
- CP II-F – cimento Portland composto com fíller (calcário);
- CP II-Z – cimento Portland composto com pozolana;
- CP III – cimento Portland de alto forno;
- CP IV – cimento Portland pozolânico;
- CP V-ARI – cimento Portland de alta resistência inicial;
- CP RS – cimento Portland resistente ao sulfato;
- CP BC – cimento Portland de baixo calor de hidratação.

Acrescentado o cimento ao solo, suas partículas envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que aumentam de tamanho à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento, ocasionando a obtenção de um material em que a absorção e perda de umidade não causam grandes alterações de volume, e não se deteriora quando submerso em água, há o aumento da resistência a compressão e da durabilidade, visto que há uma diminuição na permeabilidade (LOPES, 2002).

“O tipo mais adequado de Cimento Portland para a produção de tijolo de solo-cimento é o CP II-Z, pois possui em sua composição 6% a 14% de pozolana” (VIEIRA *et al.*, 2007 *apud* CORDEIRO; MACHADO, 2017).

2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Lima R. (2010) afirma que a primeira etapa antes da preparação do solo-cimento é a seleção do traço, isto é, a dosagem dos componentes, a qual deve ser estudada com cautela, tendo por base as propriedades necessárias para cada aplicação, e geralmente, traços 1:9 e 1:10 são suficientes para o preparo do material. A escolha do traço adequado do tijolo de solo-cimento deve ser o que apresenta a menor aplicação de cimento, porém ao passar por ensaios estabelecidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012), que ao ser feito uma análise dimensional do material, com métodos experimentais e possivelmente definindo a sua resistência à compressão e a absorção de água, tem que satisfazer os critérios específicos da NBR 8491

(ABNT, 2012) em que determina a média dos valores, e os valores individuais, referentes a resistência a compressão e absorção de água (Tabela 3).

Tabela 3 - Limites especificados para controle de qualidade de tijolos de solo-cimento

Características	Valores-limite	
	Média	Individual
Resistência à compressão (MPa)	$\geq 2,0$	$> 1,7$
Absorção de água (%)	≤ 20	≤ 22

Fonte: ABNT, 2012

Conforme a ABCP (2000), a produção de tijolos de solo-cimento com o manuseamento de prensas se inicia na preparação do solo, em que o solo, que contém uma baixa umidade, é extraído da jazida e levado para um depósito. É feito o gradeamento do material, e em seguida, faz-se um peneiramento utilizando uma peneira ABNT 4,8mm, descartando o que fica retido. Posteriormente o solo é disperso em um material de superfície lisa, sendo sua camada de até vinte centímetros de espessura, sobre a qual é distribuído o cimento, acompanhado da mistura dos materiais por meio de pás e enxadas, para que assim se alcance a umidade ideal, acrescentando água caso precise. Logo depois, é executada a prensagem do solo-cimento, de acordo com o ajustamento determinado da prensa, é a parte em que a mistura é distribuída nos moldes, prensando-os e fabricando os tijolos. Ademais, a ABCP (2000) determina também um tempo de cura de sete dias, no qual os tijolos serão frequentemente umedecidos até alcançar a cura que o material necessita.

Segundo Lima F. (2016), a produção automatizada de tijolos de solo-cimento mantém essencialmente os mesmos estágios de fabricação manual, e faz uso de equipamentos como betoneira, peneira vibratória e prensas. Os estágios fundamentais irão consistir em: peneiração do solo e areia; cálculo de volume e/ou massa dos componentes; abastecimento da betoneira para proceder com o processo de mistura; acréscimo de água; alimentação das prensas e realização de prensagem; a remoção dos moldes e colocá-los em mesas de transporte; e por final, dispor as peças em uma área apropriada para a secagem.

O fabricante Alroma – empresa que fornece máquinas para produção de tijolos de solo-cimento – afirma que as prensas automáticas podem ter uma produção efetiva de 3000 unidades de tijolos por dia, de fácil execução e com equipamentos de pequenas dimensões, sendo possível fazer sua instalação em áreas de três a cinco metros quadrados e pé direito de dois metros e meio (CORDEIRO; MACHADO, 2017). Ainda, conforme Pisani (2002), há

também os destorreadores (também conhecidos como trituradores mecanizados), que viabilizam maior homogeneidade da mistura e racionamento de cimento, visto que o peneiramento do solo é uma ação desnecessária nesse caso.

A tecnologia utilizada no processo de produção vai de um simples equipamento de prensagem (Figura 5) até itens de produção compostos de esteira transportadora (Figura 6) e multiprocessador comendo-se de um triturador, peneira vibratória, funil de armazenamento, sistema de concha para carregamento e acertamento da dosagem (Figura 7) (CORDEIRO; MACHADO, 2017).

O mercado no Brasil disponibiliza diversos tipos e modelos de tijolos de solo-cimento, que são empregados nas construções conforme o projeto, mão-de-obra, materiais, equipamentos locais, e outras especificidades, relata Pisani (2002). Alguns tipos predominantes são descritos no Tabela 4, e “podem ser confeccionados tanto para serem revestidos como para serem utilizados à vista, com finalidade de vedação ou estrutural, conforme a dosagem estabelecida e a prensagem aplicada.” (CORDEIRO; MACHADO, 2017).

Figura 5 - Prensa automática para produção de tijolo de solo-cimento



Fonte: CORDEIRO; MACHADO, 2017

Figura 6 - Esteira transportadora



Fonte: CORDEIRO; MACHADO, 2017

Figura 7 - Multiprocessador



Fonte: CORDEIRO; MACHADO, 2017

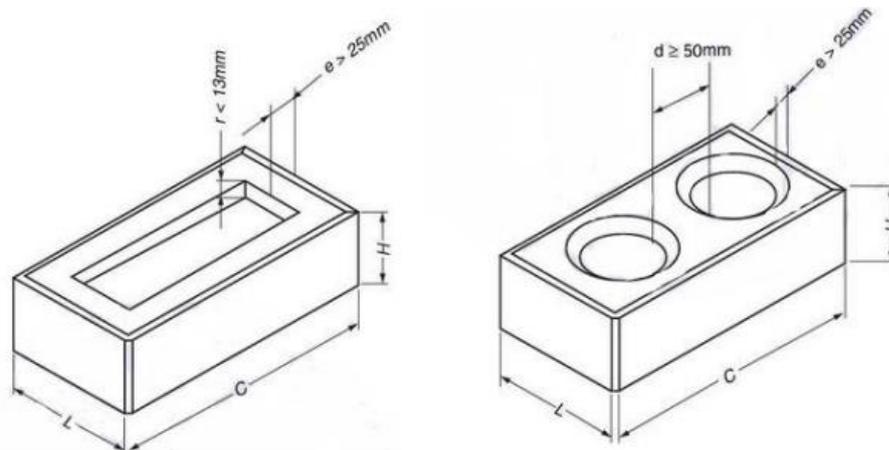
Tabela 4 - Tipos e dimensões de tijolos ecológicos

Tipos	Comprimento (C)	Largura (L)	Altura (H)
A	200mm	100mm	50mm
B	240mm	120mm	70mm

Fonte: ABNT, 2012

A ABNT NBR 8491 (2012) preconiza que os tijolos de solo-cimento devem possuir forma de paralelepípedo, nas dimensões (em milímetros) indicadas na Figura 8.

Figura 8 - Tijolo maciço de solo-cimento (dir.) e tijolo vazado de solo-cimento (esq.)



Fonte: ABNT, 2012

3 SUSTENTABILIDADE

O conceito de “sustentabilidade” surgiu da silvicultura, ciência com o principal objetivo manejar as florestas. Até meados da Idade Moderna, na construção de casa e barcos, a matéria prima mais utilizada era a madeira, que também tinha função de combustível para cozinhar. O aproveitamento da madeira aconteceu de forma tão excessiva, principalmente em Portugal e na Espanha, por serem as maiores potências marítimas no século XVI, que as florestas começaram a escassear. No entanto, o cuidado com o uso das florestas de forma responsável, não impedindo que as mesmas se regenerassem, seu deu na Alemanha, em 1560, surgindo assim, a palavra alemã *Nachhaltigkeit* (sustentabilidade) (BOFF, 2012).

3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sustentabilidade aplicada na engenharia civil, ou construção sustentável, é algo recente na área e que pode ser empregado nos projetos de estrutura de qualquer tipo através das cinco ideias básicas que reforçam o conceito de construção sustentável: redução da poluição, eficiência energética, aproveitamento da água, projetos inteligentes e materiais ecológicos. O objetivo que um arquiteto ou engenheiro busca ao desenvolver um projeto sustentável é reduzir a utilização de recursos naturais e conservar o meio ambiente usando tecnologias ecológicas, como o reaproveitamento ou reciclagem de resíduos sólidos (LÊDO, 2015).

De acordo com Lásaro Roberto Corrêa (2009), a iniciativa para a sustentabilidade na construção ter sucesso é o comprometimento das empresas ao estabelecer suporte para criação de projetos sustentáveis, assegurando três fatores fundamentais:

- **Qualidade:** A qualidade dos projetos deve ser garantida pelas empresas por ser um dos fatores essenciais para evitar desperdício e assegurar a boa produtividade e durabilidade.
- **Fornecedores:** É de grande importância, tanto para a empresa quanto para o projeto, pesquisar sobre a formalidade dos fornecedores para garantir a qualidade da mão-de-obra, materiais e serviços.
- **Inovações:** Através de novas tecnologias, consegue-se materiais de alto desempenho e mão-de-obra capacitada, e, devido as inovações, conseqüentemente, consegue-se favorecer os interesses econômicos, ambientais e sociais.

Ao elaborar um projeto sustentável de uma edificação, deve ser feita uma análise sobre o clima do local em questão, e assim obter conhecimento sobre a umidade, potência de ventos, entre outras características microclimáticas, e adquirir um bom desempenho energético mediante técnicas arquitetônicas apropriadas (CORRÊA, 2009).

3.1.1 Desperdício em obras

Conforme a Mobuss Construção (2018), há quatro tipos de desperdício que ocorre com mais frequência:

- **Mão de obra:** deve ser pensado sobre a logística, gerenciamento e treinamento da equipe que irá participar do processo de construção da obra, e para que não ocorra um atraso na produtividade dos trabalhadores, tem que haver um planejamento prático na localização dos refeitórios, banheiros e, inclusive, do canteiro de obras para facilitar o deslocamento dos materiais.
- **Equipamentos e maquinários:** máquinas sem serem utilizadas pela divergência de horários ou datas de processos, erros no dimensionamento de frota, falha na orientação e aluguel fora do prazo, com presença de falhas ou quebradas.
- **Financeiro:** as perdas financeiras são consequências de outros desperdícios, logo, um bom gerenciamento de toda a obra (desde a criação do projeto à entrega da mesma) é essencial para evitar prejuízos.
- **Materiais:** os RCD (Resíduos de Construção e Demolição), ou entulho (Figura 9), são resultantes do desperdício em obras, representando 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, sendo sobras de telha, cimento, aço, entre outros materiais.

No Brasil, a taxa de desperdício na construção civil é preocupante. Uma pesquisa realizada por 16 faculdades brasileiras (USP, UFBA, UFSCar, entre outras) e financiada pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia), chegou-se à conclusão que, em média, há até 8% de gastos a mais em materiais por motivos de perdas e se tratando de blocos e tijolos, por exemplo, o desperdício ultrapassa 10% (Tabela 5) (CONSTRUCT, 2016).

Figura 9 - Entulho em uma Obra

Fonte: CONSTRUCT, 2016

Tabela 5 - Perdas médias de alguns materiais em canteiros brasileiros.

Material	%
Cimento	56
Aço	9
Blocos e tijolos	13
Areia	44
Concreto	9

Fonte: JOHN; AGOPYAN, 2015

O artigo 4º da Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307 afirma “Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.”, então a utilização dos tijolos de solo-cimento é um método para evitar a produção de resíduos nas construções, diferente dos materiais convencionais.

3.1.2 Reciclagem

O objetivo principal da reciclagem é controlar o uso de recursos naturais e que no processo de produção haja uma preservação da matéria-prima. Para que os resíduos sejam reciclados com qualidade, os mesmos têm que ser qualificados, então é importante que haja

consciência do profissional responsável pelo entulho da obra da sua importância quando for segregar os resíduos. Uma forma prática para a seleção dos resíduos com qualidade para serem reciclados é coordenar os seus fluxos e aplicar uma prática de segregação ou armazenamento (CORRÊA, 2009).

O coprocessamento (reciclagem de resíduos provenientes de indústrias), após o aterro industrial, é o procedimento que mais se utiliza para a finalidade desses resíduos. O método de coprocessar é basicamente utilizar os resíduos industriais na fabricação do clínquer (componente do cimento) substituindo a matéria-prima e/ou combustível. Para agilizar a compra e venda do material já reciclado, surgiu em 2006, a bolsa de recicláveis, um site experimental que classifica o material, disponibiliza na própria página e permite a negociação para que seja feita a compra/venda (CORRÊA, 2009). Porém, mesmo com tantos métodos e ajuda de algumas empresas para facilitar o processo de reciclagem, ainda falta tornar essa prática um hábito comum, sendo esse o maior empecilho.

Em 2015, foi realizada uma pesquisa setorial para a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON) sobre a condição da reciclagem no país e as empresas responsáveis (usinas) por tal ação. Há pelo menos 310 usinas espalhadas por todo o país e algumas delas não listadas, como da Região Norte. Não se sabe ao certo se o fato de ter a maior atividade de construção civil que gera maior quantidade de RCD ou devido a ótima fiscalização quanto ao destino do mesmo, mas o estado de São Paulo tem a maior parcela de usinas instaladas, no entanto, a representatividade do estado era de 58% em 2013, tendo uma queda de 4% até 2015, ao mesmo tempo que no estado do Rio de Janeiro teve um acréscimo de 4%, passando a ter 7%. Segue na Tabela 6 algumas das cidades brasileiras nas quais tem-se instaladas usinas de reciclagem, aterros de inertes e/ou áreas de transbordo e triagem (ATT). (MIRANDA; BORCARDO, 2015)

Tabela 6 - Exemplos de cidades com usinas de reciclagem, aterros de inertes e/ou ATT (continua)

Cidade(s)	Estado
Salvador	Bahia
Cajazeiras, Timbu	Ceará
Sobradinho	Distrito Federal
Serra	Espírito Santo
Aparecida de Goiânia	Goiás
Cuiabá	Mato Grosso

Tabela 6 - Exemplos de cidades com usinas de reciclagem, aterros de inertes e/ou ATT (conclusão)	
Passos, Coronel Fabriciano, Sete Lagoas	Minas Gerais
Curitiba, Almirante Tamandaré, Campo Largo, Ponta Grossa, Foz do Iguaçu, Prudentópolis, Cascavel	Paraná
Camaragibe, Petrolina	Pernambuco
Rio de Janeiro, Nova Iguaçu, Macaé	Rio de Janeiro
São Gonçalo do Amarante, São José do Mipibu	Rio Grande do Norte
Santa Rosa, Santa Maria, Canoas, Passo Fundo, São Leopoldo	Rio Grande do Sul
Gaspar, Tubarão, Camboriú	Santa Catarina
São Paulo, São Bernardo do Campo, Guarulhos, Socorro, Jundiaí, Taubaté, etc	São Paulo

Fonte: MIRANDA; BORCARD, 2015

4 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO

4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA

Material silicioso encontrado de forma natural ou artificial, a pozolana tem potencial cimentício quando bem fino e em contato com água expostos à temperatura normal.

De acordo com Oliveira *et al.* (2017), a pozolana tem como característica importante o poder aglomerante, já que sua composição tem alta capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis. A não adição de água nesses materiais acarreta em pouca ou nenhuma propriedade aglomerante.

“Registros históricos comprovam que pozolanas misturadas com água e cal já eram usadas a cerca de 2000 anos atrás pelos romanos em construções que continuam praticamente intactas até os dias atuais” (MASSAZZA, 1998 *apud* BARROSO, 2011, p. 9).

Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014) há classes de materiais pozolânicos como a cinza da casca do arroz, cinza volante, cinzas vulcânicas e o nosso material de estudo, cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto.

4.2 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

“A cana-de-açúcar pertence ao gênero *Saccharum* e à família *Poaceae*, que compreende cerca de 700 gêneros e 10.000 espécies com distribuição cosmopolita” (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Em 1532 o militar português, comandante da primeira expedição colonizadora enviada ao Brasil, Martin Afonso de Souza trouxe a primeira muda de cana-de-açúcar (Figura 10) por se tratar de um produto bem quisto e muito consumido no comércio europeu (PAULA *et al.*, 2009).

Mesmo com origem do sudeste asiático, sua adaptação climática e ambiental foi considerada fácil e fortaleceu-se nas extensões do litoral nordestino. De acordo com Gouvêa (2008), a cana-de-açúcar é atualmente uma das culturas mais utilizadas e adaptáveis em clima tropical.

Recurso agrícola natural e renovável, seu cultivo tem grande importância para o Brasil por ser matéria prima para produtos como etanol, açúcar e energia.

Figura 10 - Canavial

Fonte: VALOR ECONÔMICO, 2018

Mesmo com origem do sudeste asiático, sua adaptação climática e ambiental foi considerada fácil e fortaleceu-se nas extensões do litoral nordestino. De acordo com Gouvêa (2008), a cana-de-açúcar é atualmente uma das culturas mais utilizadas e adaptáveis em clima tropical.

Recurso agrícola natural e renovável, seu cultivo tem grande importância para o Brasil por ser matéria prima para produtos como etanol, açúcar e energia.

Para a geração de energia são utilizados os resíduos da biomassa da cana-de-açúcar conhecido como bagaço, de onde provém as cinzas constituídas, principalmente, de sílica (SiO_2), gerando uma atividade pozolânica. Em valores aproximados, a biomassa é composta por apenas 3% de teor de cinzas, 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade e 2,5% de sólidos solúveis em água (BORTOLETTO, 2014).

Sendo assim mesmo em percentual baixo, havendo a queima adequada para manter a sílica composta no bagaço em estado amorfo, as cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) (Figura 11) apresenta potencial para ser utilizada como aditivo mineral, com finalidade de substituir parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO *et al.*, 2008), no caso, tijolo de solo-cimento.

O tijolo de solo-cimento feito em parte com CBC pode ser considerado como ecológico, já que não se faz necessário a queima do tijolo e tão pouco a retirada de argila, poupando o meio ambiente e elevando a construção civil para algo mais sustentável.

Figura 11 - Cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar após peneiramento



Fonte: LOPES *et al.*, 2014

Com o aumento das atividades agroindustriais no Brasil, a geração de subprodutos também teve expressiva evolução, conseqüentemente nasce um problema: o destino dos resíduos sólidos obtidos com essas atividades, como, por exemplo, a sucroalcooleira. Tanto a produção de cana-de-açúcar, cada vez mais de alto padrão, sem impurezas e cristais uniformes, quanto à fabricação do etano são processos altamente geradores de resíduos sólidos. Para cada tonelada de cana esmagada ou moída, obtêm-se 120 kg de açúcar e 14 L de álcool, porém o número de resíduos também é significativo: 100 a 400 kg de torta de filtro, 800 a 1000 L de vinhaça e 260 kg de bagaço de cana. Ou seja, o resíduo industrial, caso não seja gerenciado de maneira adequada, pode gerar problemas para o meio ambiente. Esse fato criou um cenário de necessidade de tratamento desses e de outros tipos de resíduos sólidos, bem como a de uma legislação para normatizar as formas de tratamento desses resíduos (FERREIRA, 2009 *apud* OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A CBC possui uma atividade pozolânica que se compara ao comportamento do composto pozolana na composição do cimento Portland, entretanto, alguns fatores contribuem para sua viabilidade, tais como o tipo de solo (CINCOTTO, 1983).

Em mistura homogênea com solo-cimento para obtenção de tijolos para construção civil, obteve resultado de resistência à compressão simples que varia de 1,9 a 2,2 MPa, para traços variando de 1:0:12 a 1:4:8 (FREITAS, 1996).

Conforme os dados da Tabela 7, as cinzas apresentam aproximadamente um teor de 84% sílica (PAULA *et al.*, 2009). Esses valores semelhantes foram encontrados por Villar-Cociña *et al.* (2006). Portanto, de acordo com Massazza (1998), se a proporção do teor de sílica for maior, melhor será a atividade pozolânica da cinza.

Tabela 7 - Composição química da CBC realizada por espectroscopia de fluorescência de raios-X

Composto químico	Composição (%)
SiO ₂	83,707
Fe ₂ O ₄	6,537
K ₂ O ₄	6,146
CaO	1,183
TiO ₂	1,162
SO ₃	0,682
ZrO ₂	0,303
Cr ₂ O ₃	0,094
MnO	0,081
Sc ₂ O ₃	0,040
ZnO	0,037
V ₂ O ₅	0,029

Fonte: PAULA *et. al.*, 2009

De acordo com um estudo feito por Paula *et al.* (2009), avaliando CBC como material de substituição parcial do cimento Portland na argamassa de acordo com a ABNT, obteve-se resultados satisfatórios utilizando quatro corpos de prova, sendo três tratamentos com adição de CBC e uma contraprova com 100% cimento. Esses resultados têm base o teste de *Tukey* aos vinte e oito dias de cura usando a média de 3 corpos de prova, conforme a Tabela 8, com análise de tempo de pega inicial e final, resistência mecânica dentre outros referenciais para análise.

Tabela 8 - Resistência média à compressão em MPa da argamassa aos 28 dias e respectivos índices de atividade pozolânica (IAP) para as diferentes misturas de cimento e CBC

Mistura	Resistência média (MPa) aos 28 dias	IAP (%)
C1	47,8	100
C2	48,0	100
C3	46,9	99
C4	40,7	86

Fonte: PAULA *et. al.*, 2009

Na produção das pastas e argamassas foram empregadas as seguintes taxas de substituição parcial do cimento por CBC: 0, 10, 20 e 30%. As relações entre cimento – CBC nas argamassas e a nomenclatura adotada para as pastas e argamassas, são: C1 (100-0), C2 (90-10), C3 (80-20) e C4 (70-30), em que os valores representam os percentuais de cimento e CBC; foram usados o cimento Portland CPV ARI PLUS da marca Barroso e o traço 1:3, com areia normal brasileira (PAULA *et al.*, 2009).

Esse estudo indica a viabilidade do uso da CBC, sem prejuízo da resistência, em substituição de até 20% do cimento, atendendo o mínimo médio de 2 MPa exigido pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Ainda, a reatividade das cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar tem atividade pozolânica comprovada.

A utilização de CBC em tijolo solo-cimento tem tido gradativa relevância em seu estudo e incorporação por ser um resíduo com disposição em abundância no meio ambiente, além de possuir características singulares dependendo do tipo de cana.

Portanto, por ser uma matéria-prima que apresenta baixo custo e resíduo em grande quantidade no meio ambiente, a CBC é uma nova alternativa para fabricação de tijolos de solo-cimento apresentando vantagens socioeconômicas e ambientais (AMARAL, 2014).

4.3 CINZAS DO CAVACO DE EUCALIPTO

Assim como a cana-de-açúcar, o cultivo do eucalipto (Figura 12) tem grande importância para o Brasil por ser matéria prima para produtos e por ser utilizado como combustível renovável. A madeira de eucalipto tem sido usada como fonte de energia há milhares de anos e atualmente é a matéria-prima brasileira mais utilizada no ramo industrial (GLUITZ; MARAFÃO, 2013 *apud* VALVERDE, 2017).

Figura 12 - Eucalipto



Fonte: CAMARGO, 2017

Conforme Ramos *et al.* (2013), as cinzas do cavaco de eucalipto (CCE) possuem atividade pozolânica, tal qual a CBC, com atributos para serem utilizadas em compostos cimentícios em substituição parcial da areia ou do cimento.

“A composição das cinzas é muito variada, pois depende desde a qualidade da madeira até as condições operacionais da caldeira, mas é possível verificar características

pozolônicas, o que explica a utilização de resíduos sólidos minerais na construção civil” (FOELKEL, 2011).

A CCE pode ser encontrada facilmente e em grande quantidade, questão que influenciou na escolha desse material para também ser objeto de estudo, mesmo que em proporção menor que a CBC.

Pensar em sustentabilidade dentro da construção civil nos leva a buscar por métodos que agredem menos o meio-ambiente ou ajudem a amenizar os impactos causados por resíduos, como as cinzas por exemplo.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental apresentado neste projeto foi realizado no Centro Tecnológico (CT) do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, quanto a confecção dos tijolos de solo-cimento foi desenvolvida na Tijoleko, empresa de cunho sustentável localizada na cidade de Anápolis, com especialização em produzir este material. Com os ensaios e testes nos corpos de prova verificou-se as alterações de resistência à compressão e absorção de água seguindo a norma vigente para essas especificações, trazendo novas informações que podem contribuir para estudos futuros para esse método construtivo.

Neste tópico será apresentado, os materiais que foram utilizados para obter os resultados dessa pesquisa, assim como suas caracterizações.

5.1 CONFECÇÃO TIJOLO SOLO-CIMENTO

O tijolo terá as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto como substituinte parcial do cimento, o qual irá consistir em diferentes percentagens da composição em três traços, e assim será realizada uma conclusão quanto sua influência relacionada as solicitações mecânicas.

5.1.1 Saibro

Para a confecção foi utilizado o saibro (Figura 13), que é o solo de uso comum da empresa na fabricação dos tijolos. O saibro é originado pelo intemperismo incipiente de rochas graníticas, que, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), possui em sua composição minerais parcialmente decompostos, arenoso ou siltoso, além de ter um baixo teor de argila e variação de cor.

O resumo associando as dimensões características do agregado ao material retido em cada peneira se encontra na Tabela 9. Dessa forma é comprovado que, em proporção ao material passante nas peneiras, o solo atende em partes as recomendações exigidas pela norma apresentadas no tópico 2.2.1.

Tabela 9 - Análise granulométrica saibro

(continua)

Peneiras	Mm	Peso retido (g)	% Retida	% Acumulada	% Passante
3/8"	9,52	0	0	0	100

Tabela 9 - Análise granulométrica saibro					(conclusão)
4	4,76	5,34	0,27	0,27	99,7
10	2	17,27	0,9	1,17	98,9
16	1,2	0,67	0,7	1,87	98,2
30	0,6	1,79	1,8	3,67	96,4
40	0,42	3,7	3,7	7,37	92,7
60	0,25	28,52	28,4	35,77	64,4
100	0,15	25,67	25,5	61,27	38,8
200	0,074	15,2	15,1	76,37	23,7
Fundo	0	23,8	23,72	100	0
Amostra seca (g): 1987,9		Módulo de finura (MF): 2,75		Dimensão máx. Característica (mm): 9,52	

Fonte: CAMPOS; PINA, 2018

Figura 13 - Solo utilizado na pesquisa (Saibro)



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Mesmo apresentando um pequeno desvio referente a retenção de material na peneira de 4,76 mm, com uma variação de 0,3%, o recomendado é que haja uma troca de solo para algum que cumpra todas as orientações normativas, porém foi empregado o saibro pelo fato do mesmo ser utilizado pela empresa na obtenção dos tijolos de solo-cimento.

Sendo o limite de liquidez aceitável de um solo para fabricação do solo-cimento menor ou igual a 45%, o saibro atende as orientações da norma por possuir um limite de liquidez de aproximadamente 30% (CAMPOS; PINA, 2018).

5.1.2 Cimento

O cimento utilizado para confecção dos tijolos de solo-cimento, foi o mesmo utilizado pela empresa da cidade de Anápolis encarregada pela produção, denominado como CP V – ARI da marca Votorantim (Obras Especiais), recomendado para indústrias de artigos pré-moldados por possuir altas resistências iniciais após sua aplicação, auxiliando no manuseio assim como nos procedimentos de transporte e cura.

5.1.3 Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto

A empresa Granol, situada na cidade de Anápolis, na qual é totalmente voltada para o agronegócio, faz o uso do bagaço da cana-de-açúcar misturado com cavaco de eucalipto (numa proporção de 80% para 20%) como combustível de maquinários para a produção ser realizada, e assim, após a queima desses materiais, origina as cinzas (Figura 14), na qual a empresa disponibilizou uma quantidade para a realização desta pesquisa. O resíduo foi utilizado da mesma maneira que proveio do seu processamento.

Figura 14 - Cinzas



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

5.1.4 Traços

Utilizando-se como base a NBR 10833 (ABNT, 2013), ao ser produzido um traço para confecção do tijolo solo-cimento, deverá ser moldado no mínimo 20 unidades de tijolos ou blocos e assim, para a realização dos ensaios, devem ser retiradas dez amostras de forma aleatória. Serão confeccionados quatro traços de solo-cimento. Após preparados, as amostras serão ensaiadas conforme requisita NBR 8492 (ABNT, 2012) que aborda os procedimentos de ensaio utilizados para a caracterização do tijolo solo-cimento.

Para a fabricação dos tijolos submetidos aos ensaios, foram realizadas substituições parciais do cimento pelas cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto em três dos quatro traços, com a finalidade de reduzir a quantidade utilizada de cimento.

As percentagens escolhidas para substituição parcial do cimento Portland foram baseadas em estudos já realizados em artigos científicos, mas com valores distintos para aumentar a gama de informações e possibilidades, principalmente, almejar uma maior resistência à compressão com esses valores.

Para um melhor entendimento dos resultados, foram substituídas em percentagem em relação ao peso do cimento segundo o apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Porcentagens de cinzas	
Cimento + Cinzas	Traço
100% de cimento + 0% de cinzas	T0
94% de cimento + 6% de cinzas	T6
92% de cimento + 8% de cinzas	T8
90% de cimento + 10% de cinzas	T10

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Como demonstrado na Figura 15, todo o material deve ser despejado dentro de um recipiente, chamado skip, para que o lançamento no misturador automático (Figura 16) possa ser efetivo. Conforme apresenta a NBR 10833 (ABNT, 2013), que informa a respeito da fabricação dos tijolos de solo-cimento, a mistura dos materiais deve ser realizada de forma manual ou mecânica, esse processo deve ocorrer até os materiais atingirem coloração uniforme exibindo uma homogeneização dos constituintes. A água, deve ser aplicada gradualmente, misturando os materiais até que alcancem a umidade ideal para prosseguir com a produção.

Após a mistura ser sucedida, o material deverá ser transportado para a efetuação da prensagem (Figura 17), para que as interações de hidratação do cimento não comprometam os requisitos mecânicos do produto.

Figura 15 - Mistura solo, cimento e cinzas



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Figura 16 - Misturador automático



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Figura 17 - Esteira de transporte do solo-cimento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

De acordo com a empresa de Anápolis fabricante dos tijolos de solo-cimento, o parâmetro de fabricação que eles utilizam é embasado na aplicação de 300 litros de solo, 40 quilogramas de cimento, sendo que há uma variação da quantidade de água pois depende da umidade do solo, portanto, sua aplicação é baseada nos aspetos visuais do componente, dado que tal relação permite a confecção de 120 tijolos.

Com as informações adquiridas, foi usado uma associação proporcional para chegarmos ao traço T0 que é o padrão, no qual foi estabelecido a fabricação de 25 tijolos de cada traço para seguir adiante com a análise e os ensaios regulamentares.

Com as propriedades matemáticas da regra de três simples, sucedeu na relação resultante de 62,5 litros de solo e 8,33 quilogramas de cimento, não havendo necessidade de implementar os atributos do arredondamento, e para prosseguir, a aplicação da água, no valor de 5 litros, deu-se através de uma análise visual de um dos técnicos da empresa pelo fato do aglomerado ter chegado a condições parecidas com as usuais.

Para obtenção dos tijolos foram produzidos quatro traços, o primeiro fabricado como traço referência e os demais seguindo as variações apresentadas na Tabela 10, substituindo parcialmente os pesos do cimento, adequados de maneira que permitisse a sua execução e implementação detalhadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Traços produzidos

TRAÇO	CINZAS (%)	SOLO (L)	CIMENTO (Kg)	ÁGUA (L)	RESÍDUO (Kg)	TIJOLOS FABRICADOS (UNIDADES)
T0	0	62,5	8,33	5	0	22
T6	6	62,5	7,83	5	0,5	22
T8	8	62,5	7,66	5	0,67	20
T10	10	62,5	7,5	5	0,83	21

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Houve perda do material no decorrer dos processos de fabricação, o que resultou em uma quantidade menor do que o planejado, entretanto como a NBR 10833 (ABNT, 2013) afirma, para que os ensaios sejam efetuados são precisos 20 unidades, seguindo as prescrições normativas da NBR 8492 (ABNT, 2012), sendo que dentre as 20 unidades devem ser escolhidas, aleatoriamente, 10 unidades, nas quais 7 unidades deverão ser submetidas ao ensaio de compressão e as outras 3 unidades submetidas aos ensaios de absorção de água para averiguar se cumprem a norma.

Para os tijolos vazados, os furos precisam estar ordenados em relação ao seu eixo perpendicular a face de assentamento, dado que, além das características estruturais em relação a sua forma tal disposição contribui para que a alvenaria armada seja executada, na estruturação de eletrodutos ou tubulações hidráulicas.

Da mesma maneira que é requisitado pelas normas atuais, o tijolo apresenta arestas vivas e não há fissuras, fraturas ou quaisquer outros defeitos que sejam capazes de afetar sua aplicação ou durabilidade da alvenaria, o resultado é comprovado na Figura 18.

Figura 18 - Tijolo solo-cimento acabado



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

As dimensões nominais do produto fabricado, os tijolos solo-cimento, são de 25 x 12,5 x 7 centímetros, as quais cumprem a NBR 10833 (ABNT, 2013) pela metodologia executada para a aquisição do produto assim como pelas propriedades físicas em relação a suas dimensões.

5.1.5 Cura

Segundo a NBR 10833 (ABNT, 2013), após finalizar o processo de produção, os tijolos ou blocos têm que ser empilhados, em superfície plana e lisa, até uma altura máxima de 1,5 metros, em local coberto assim como mostrado na Figura 19. Quanto a sua aplicação, após se passar 14 dias desde sua confecção, os tijolos de solo-cimento poderão ser utilizados.

Figura 19 - Tijolos empilhados para a cura



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Para dar início ao processo de cura dos tijolos, os mesmos foram empilhados em paletes. De acordo com as determinações normativas, com a finalidade de assegurar a cura necessária, os produtos devem ser umedecidos ao longo dos sete primeiros dias após a moldagem. Para colaborar com o processo de cura, os tijolos foram posicionados em um palete protegido por plástico bolha para que não ocorressem contato entre os tijolos e a madeira e os mesmos conseguissem ter sua umidade absorvida pelo material, o procedimento citado é ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Cura dos tijolos



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

5.2 ENSAIOS

5.2.1 Análise dimensional

Para a efetuação dos ensaios, foi utilizado os tijolos produzidos com dimensões de 25 x 12,5 x 7 centímetros segundo especificado na seção 5.1.4. As dimensões devem cumprir determinações normativas demonstrada na Tabela 4 da seção 2.3.

Apesar das dimensões dos tijolos em estudo não estarem conforme as descritas na Tabela 4 da seção 2.3, a NBR 8491 (ABNT, 2012) permite apresentar diferenças nas suas dimensões, contanto que a largura do tijolo seja maior que a sua altura, sendo este o caso ao qual estará embasada este estudo.

Houve a utilização de um paquímetro digital cedido pelo CT da UniEvangélica (Anápolis) com verificação de calibração para a efetuação das análises dimensionais. Segundo a NBR 8492 (ABNT, 2012), para cada dimensão de prova necessitam ser realizadas no mínimo 3 verificações em pontos distintos de cada face, sendo efetuada uma determinação em

cada extremidade e no meio do corpo de prova assim como ilustrado na Figura 21. A resolução do paquímetro foi de 0,5 mm de acordo com o solicitado pela norma.

Figura 21 - Análise Dimensional



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

5.2.2 Ensaio de resistência à compressão

Para dar início aos ensaios de resistência à compressão foram seguidas as prescrições apresentadas na NBR 8492 (ABNT, 2012). As solicitações mecânicas de cada amostra serão estabelecidas com o ensaio de sete unidades, as quais precisarão passar por processos para autenticar sua resistência à compressão.

Os ensaios de resistência as solicitações de compressão foram baseados na norma referida no parágrafo antecedente. Conforme as especificações fundamentais para a aceitação dos tijolos determinadas pela NBR 8491 (ABNT, 2012), é estabelecido uma resistência mínima individual de 1,7 MPa para cada tijolo ensaiado.

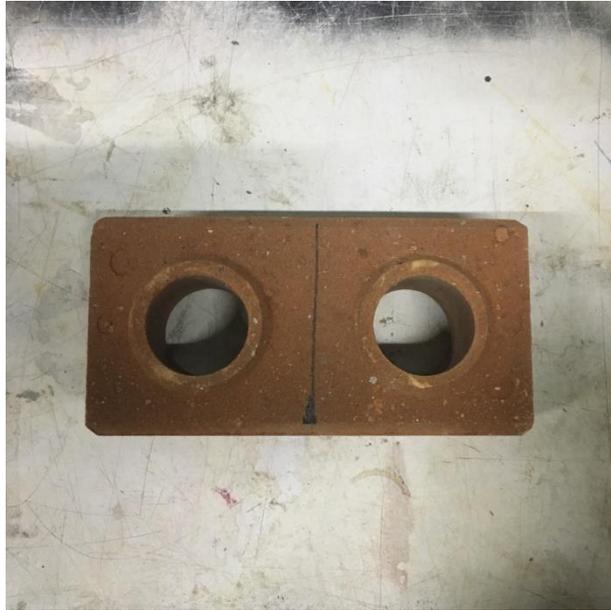
“Os valores individuais de resistência à compressão são obtidos através da divisão da carga máxima de ruptura pela área da seção de trabalho” (CAMPOS; PINA, 2018). O rompimento foi realizado após 30 dias da data de fabricação.

Em seguida serão exibidas as etapas, baseadas nas determinações estabelecidas na norma NBR 8492 (ABNT, 2012), a serem desenvolvidas para a aquisição do corpo de prova, o qual será utilizado no ensaio de compressão.

- a) Efetuar um corte perpendicular à sua maior dimensão (Figura 22), dividindo o tijolo ao meio;
- b) Superpor suas faces de maneira que suas dimensões de maior proporção estejam perpendiculares no sentido horizontal assim como exibido na Figura 23. Efetuar a união das partes com a aplicação de pasta de cimento Portland;

- c) Se o tijolo apresentar rebaixos, deve sobrepor as faces de forma que as reentrâncias fiquem situadas nas faces de trabalho e preenchê-las com pasta de cimento Portland para regularizar, e assim, não prejudicar os resultados;

Figura 22 - Corte perpendicular



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Figura 23 - Faces sobrepostas



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- d) Como explicado na NBR 8492 (ABNT, 2012), deve-se utilizar pasta de cimento Portland com espessura de 3 milímetros para obter a pasta de capeamento para efetuar o ensaio de compressão. Após finalizar o capeamento (Figura 24), foi averiguado o nivelamento dos corpos de prova com um nível de bolha, dado que seu desnível pode afetar na etapa de rompimento, na qual determinará sua resistência as solicitações mecânicas;

Figura 24 - Capeamento



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- e) Após todos os tijolos serem capeados e a pasta adquirir o endurecimento necessário, os mesmos deverão ser submersos em água por no mínimo 6 horas como descrito na NBR 8492. Para garantir o devido índice de absorção os corpos de prova foram deixados submersos em 7 horas antes da realização do ensaio à compressão, conforme ilustra Figura 25;

Figura 25 - Corpos submersos



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- f) Os corpos de provas foram rompidos através da prensa mecânica Universal Pavitest Contenco, a qual é encarregada pela distribuição das solicitações ao corpo de prova de forma contínua gerando nenhum impacto que seja capaz de atrapalhar a análise dos resultados. O corpo de prova precisará ser posicionado no prato inferior do equipamento e estar centralizado para que haja melhores distribuições das solicitações, como ilustra a Figura 26. A carga foi elevada gradativamente até haver a ruptura do corpo de prova.

Figura 26 - Rompimento dos corpos de prova



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

No decorrer do ensaio de resistência à compressão, os tijolos de solo-cimento mostraram uma forma de ruptura similar em todas as amostras, identificada por fissuras no sentido vertical.

5.2.3 Ensaio de absorção de água

Para efetuação do ensaio de absorção de água de acordo com as prescrições da NBR 8492 (ABNT, 2012), utiliza-se a parte equivalente aos 30% da amostra representativa. No caso estudado, para desenvolver o ensaio, foram utilizados três corpos de prova de cada traço (Figura 27). Os corpos de prova foram dispostos em uma estufa em temperatura de 110 °C, o qual é pedido pela a NBR 8492 (ABNT, 2012), já que a mesma afirma que é necessário a estufa estar de 105 °C a 110 °C. Os corpos de provas deverão ser mantidos na estufa até alcançarem uma massa permanente, adquirindo assim a massa M1 do corpos de provas secos.

Após obter estabilidade de massa, os corpos de prova deverão ser retirados da estufa. Como serão submergidos em água, e assim sofrerão uma rápida alteração de temperatura, não poderá ocasionar nenhum efeito em sua estrutura, assim sendo, os tijolos devem atingir a temperatura ambiente antes de serem submetidos a submersão no tanque.

Os tijolos deverão ser submergidos (Figura 28) em um tanque por um período de 24 horas. Após retirados da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e proceder com a pesagem dos tijolos antes de decorridos 3 minutos, e assim obter a massa M2 equivalente ao corpo de prova saturado.

Figura 27 - Corpos de prova na estufa



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Figura 28 - Imersão dos corpos de prova



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados atingidos serão avaliados de acordo com os critérios descritos na NBR 8491 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo cimento – Requisitos. No Quadro 1 apresenta-se os critérios atendidos para que os resultados apresentados pelos ensaios estejam de acordo com a norma e assim, serem aceitos.

Quadro 1 - Critérios de análise

Classificação		Requisito
Tolerâncias dimensionais	Largura	± 1 mm
	Altura	
	Comprimento	
Resistência à compressão	Valores médios	≥ 2,0 MPa
	Valores individuais	Não inferior a 1,7 MPa
Absorção de água	Valores médios	≤ 20% para valores médios
	Valores individuais	≤ 22% para valores individuais

Fonte: ABNT, 2012

6.1.1 Análise dimensional

Análise referente ao Traço 0 (T0), o qual não apresenta em sua composição adição de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto, resultados demonstrados na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise dimensional - Traço 0

(continua)

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
0A	249,45	249,41	249,74	249,52	125,95	126,38	125,54	125,96	69,54	69,54	69,78	69,62
0B	249,37	249,44	249,47	249,41	126,32	125,57	125,8	125,9	68,9	69,67	69,31	69,29
0C	250,09	249,35	249,32	249,59	126,3	125,5	125,28	125,69	70,33	70,34	71,8	70,82
0D	249,35	249,43	249,52	249,43	125,32	126	125,86	125,73	69,70	69,78	69,79	69,76
0E	249,4	249,47	249,82	249,56	126,09	126,08	125,56	125,91	70,48	70,65	70,03	70,39
0F	249,39	249,37	249,41	249,39	125,93	126,01	126,03	125,99	69,5	68,58	69,65	69,24
0G	249,3	249,4	249,31	249,34	126	125,88	126	125,96	69,15	68,71	69,17	69,01

Tabela 12 - Análise dimensional - Traço 0 (conclusão)

0H	249,43	249,43	249,51	249,46	125,84	126,16	125,7	125,9	69,26	69,85	70,21	69,77
0I	249,5	249,61	249,61	249,57	125,76	125,8	125,95	125,84	69,14	69,42	68,51	69,02
0J	249,33	249,66	249,45	249,48	125,71	125,85	125,82	125,79	69,14	69,42	68,51	69,02

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Análise referente ao Traço 6, o qual apresenta em sua composição adição de 6% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto, resultados demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 - Análise dimensional - Traço 6

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
6A	249,42	249,58	250,1	249,7	125,87	126,16	125,84	125,96	69,65	68,98	69,08	69,24
6B	249,3	249,14	249,67	249,37	125,7	126,07	125,94	125,68	69,47	69,66	69	69,38
6C	249,56	249,75	249,6	249,64	125,98	126,02	125,97	125,99	69,66	69	69,46	69,37
6D	249,59	249,98	249,51	249,69	125,93	125,88	126,04	125,95	69,38	69,53	69,86	69,59
6E	249,3	249,48	249,58	249,45	126	125,15	125,36	125,5	69,12	69,42	69,57	69,37
6F	249,48	249,6	250	249,69	126,05	125,94	125,88	125,96	69,32	69,63	69,84	69,6
6G	249,12	249,27	249,4	249,26	125,75	126,04	125,92	125,9	69,11	69,08	69,52	69,24
6H	249,17	249,21	249,31	249,23	125,7	125,81	125,99	125,83	69,81	69,75	69,91	69,82
6I	249,13	249,1	249,1	249,11	126,01	125,85	125,72	125,86	70,24	70,2	69,46	69,97
6J	249,11	249,08	249,1	249,1	125,82	125,84	126,09	125,92	69,67	69,43	69,14	69,41

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Análise referente ao Traço 8, o qual apresenta em sua composição adição de 8% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto, resultados demonstrados na Tabela 14.

Tabela 14 - Análise dimensional - Traço 8 (continua)

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
8A	249,73	249,51	249,64	249,63	125,8	125,81	125,87	125,83	69,53	69,53	69,1	69,39
8B	249,26	249,34	249,44	249,35	125,7	125,78	125,74	125,68	69,22	69,52	69,36	69,37
8C	249,41	249,15	239,34	245,97	125,7	125,9	125,92	125,84	69,22	69,34	69	69,19

8D	249,6	249,61	249,61	249,61	125,86	125,89	125,92	125,89	69,15	69,34	69,68	69,39
8E	249,53	249,37	249,42	249,44	125,34	126,05	126	125,8	69,55	68,67	69,4	69,21
8F	249,76	249,62	249,54	249,64	125,5	126,14	126,06	125,9	68,83	69,67	69,79	69,43
8G	249,58	249,58	249,58	249,58	125,89	125,75	125,86	125,83	68,54	69,43	69,32	69,1
8H	249,23	249,61	249,49	249,44	126,33	125,68	125,98	126	69,76	69,83	69	69,53
8I	249,17	249,35	249,61	249,38	125,52	125,73	125,92	125,72	69,05	69,05	69,2	69,1
AJ	249,44	249,37	249,6	249,47	125,9	125,78	125,55	125,74	69,23	69,2	68,85	69,09

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Análise referente ao Traço 10 (T10), o qual apresenta em sua composição adição de 10% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto, resultados demonstrados na Tabela 15.

Amostra	Comprimento (mm)				Largura (mm)				Altura (mm)			
	1	2	3	Média	1	2	3	Média	1	2	3	Média
10A	249,57	249,5	249,68	249,58	126,08	125,36	126,07	125,84	69,15	69	69,78	69,31
10B	249,92	249,74	249,29	249,65	126	126	125,15	125,72	69,43	69,35	68,6	69,13
10C	249,91	249,9	249,69	249,83	126,49	125,47	125,89	125,95	69,58	69,83	69,97	69,79
10D	249,14	249,31	249,24	249,23	126,62	125,81	125,56	126	69,71	69,42	69,44	69,52
10E	249,53	249,37	249,42	249,44	125,34	126,05	126	68,95	69,55	68,67	69,4	69,21
10F	249,76	249,62	249,54	249,64	125,5	126,14	126,06	125,9	68,83	69,67	69,79	69,43
10G	249,58	249,58	249,58	249,58	125,89	125,75	125,86	125,83	68,54	69,43	69,32	69,1
10H	249,75	249,33	249,51	249,53	126,16	125,8	125,42	125,79	69,96	69,54	69,14	69,55
10I	249,79	249,72	249,38	249,63	125,83	125,8	125,8	125,81	69,3	69,47	68,81	69,19
10J	249,7	249,52	249,35	249,52	126,1	125,9	125,42	125,81	68,8	68,96	69,59	69,12

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

As dimensões dos tijolos produzidos para o estudo são de 25 x 12,5 x 7 centímetros, porém ao fazer a aferição houve uma pequena diferença nas dimensões da maioria dos corpos de prova, na qual é permitido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) conforme as informações apresentadas no Quadro 1.

6.1.2 Absorção de água

Para a efetuação da análise dos resultados adquiridos no ensaio de absorção de água estabelecido pela NBR 8492 (ABNT, 2012), utilizou-se a literatura para esclarecer e ensinar a respeito das operações a serem operadas para adquirir os resultados. Estipula-se o índice de absorção do material por:

$$A = \frac{M2-M1}{M1} \times 100 \quad (1)$$

onde:

A – é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

M1 – é a massa do tijolo seco em estufa, dado em gramas (g);

M2 – é a massa do tijolo saturado, dado em gramas (g);

O índice de absorção do material é uma condição que afeta, de forma direta, o desempenho do produto, no qual o ensaio representa o desempenho prático do tijolo em situações a qual será utilizado. Este índice está diretamente ligado a um elemento que tem atuação significativa na vida útil deste material: a porosidade.

Para obter os resultados necessários, utilizou-se a Equação 1 que orienta em relação a definição do índice de absorção de cada amostra. Após os cálculos, os resultados são apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Valores individuais das amostras (continua)

NOMENCLATURA	M1 (g)	M2 (g)a	A (%)
0H	3260	3670	12,58
0I	3130	3520	12,46
0J	3215	3620	12,60
6H	3045	3340	9,69
6I	3260	3645	11,81
6J	3020	3350	10,93
8H	3235	3560	10,05
8I	3285	3615	10,05
8J	2430	2890	18,93

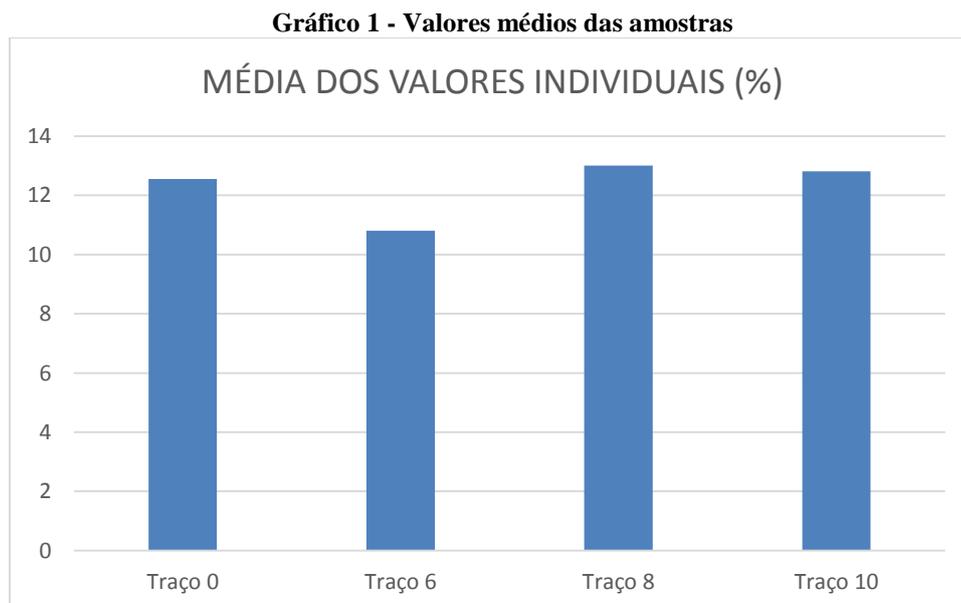
10H	3110	3485	12,06
10I	3110	3525	13,34
10J	3110	3515	13,02

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Após obter os valores individuais, deve-se calcular os valores médios, que foram utilizados para elaborar a Tabela 17 e o Gráfico 1, na qual estão especificadas as médias dos resultados dos traços ensaiados, e assim conferir se estão conforme exemplificado na NBR 8492 (ABNT, 2012).

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (%)
0	12,55
6	10,81
8	13,01
10	12,81

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

As amostras ensaiadas cumprem as solicitações prescritas na NBR 8491 (ABNT, 2012), dado que é estipulado que a média dos valores de absorção de água não devem ultrapassar 20% em relação a seu índice de absorção e nem os valores individuais resultarem em um valor superior a 22%.

6.1.3 Resistência à compressão

Conforme é orientado pela NBR 8492 (ABNT, 2012), os valores individuais relacionados a resistência à compressão de cada amostra dos quatro traços distintos são expressos em megapascals (MPa), tais quais os valores são atingidos dividindo a carga máxima alcançada através do experimento, pela área de contato da face de trabalho conforme ilustrado pela Equação 2.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (2)$$

onde:

f_t – é a resistência à compressão simples, expressa em Mega Pascal (MPa);

F – é a carga de ruptura do corpo de prova, expressa em Newtons (N);

S – é a área de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Se necessário, considera-se 1 MPa = 10 Kgf/cm²

Avaliando os parâmetros de aceitação e rejeição prescritos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), os valores médios resultantes dos ensaios de resistência à compressão não pode apresentar valores menores que 2,0 MPa e resultados individuais inferiores a 1,7 MPa, caso mais da metade das amostras obtenham valores individuais inferiores aos estabelecidos pela norma, o lote deve ser descartado, sendo essa uma recomendação de extrema importância da norma citada anteriormente. Segue, da Tabela 18 a 21, os resultados dos valores individuais da resistência à compressão dos corpos de prova.

- Traço 0 - Composto de 100% cimento

Tabela 18 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 0

(continua)

NOMENCLATURA	Idade (dias)	Carga Ruptura (Kgf)	Carga Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
0A	30	2.820	27654,753	1,6

Tabela 17 – Resultado de ensaio à compressão – Traço 0 (conclusão)

0B	30	3.230	31675,4795	1,9
0C	30	1.990	19515,2335	1,2
0D	30	3.690	36186,5385	2,1
0E	30	3.630	35598,1395	2,1
0F	30	3.370	33048,4105	2,0
0G	30	1.100	10787,315	0,6

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- Traço 6 - Composto de 94% de cimento e 6% de cinzas

Tabela 19 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 6

NOMENCLATURA	Idade (dias)	Carga Ruptura (Kgf)	Carga Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
6A	30	2.530	24810,8245	1,5
6B	30	2.530	24810,8245	1,5
6C	30	860	8433,719	0,5
6D	30	2.080	20397,832	1,2
6E	30	2.380	23339,827	1,4
6F	30	3.900	38245,935	2,3
6G	30	2.980	29223,817	1,7

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- Traço 8 - Composto de 92% de cimento e 8% de cinzas

Tabela 20 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 8

NOMENCLATURA	Idade (dias)	Carga Ruptura (Kgf)	Carga Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
8A	30	3.400	33342,61	2,0
8B	30	2.540	24908,891	1,5
8C	30	2.270	22261,0955	1,3
8D	30	3.100	30400,615	1,8
8E	30	2.910	28537,3515	1,7
8F	30	2.780	27262,487	1,6
8G	30	1.670	16377,1055	1,0

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

- Traço 10 - Composto de 90% de cimento e 10% de cinzas

Tabela 21 - Resultado de ensaio à compressão - Traço 10

NOMENCLATURA	Idade (dias)	Carga Ruptura (Kgf)	Carga Ruptura (N)	Tensão Ruptura (MPa)
10A	30	2.490	24418,5585	1,4
10B	30	2.480	24320,492	1,4
10C	30	3.090	30302,5485	1,8
10D	30	2.760	27066,354	1,6
10E	30	3.040	29812,216	1,6
10F	30	2.750	26968,2875	1,8
10G	30	2.610	25595,3565	1,5

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

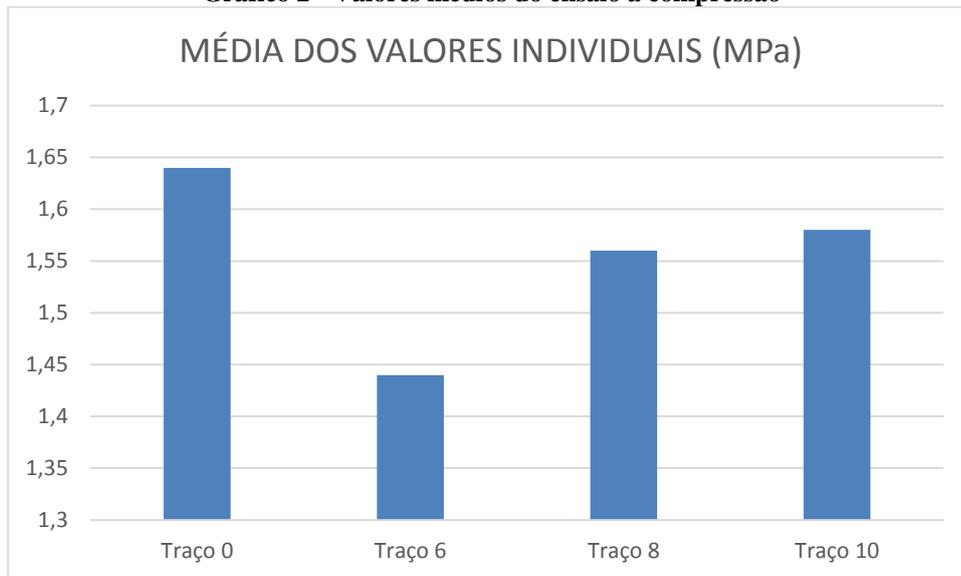
Após obter os resultados dos valores individuais, realizou-se o cálculo da média de resistência de cada traço para verificação. Segundo o determinado pela NBR 8491 (ABNT, 2012), a média dos resultados de resistência à compressão necessitam ser superiores a 2,0 MPa. É possível ver os resultados da média de resistência na Tabela 22 e no Gráfico 2.

Tabela 22 - Valores médios do ensaio à compressão

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (MPa)
0	1,64
6	1,44
8	1,56
10	1,58

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

Observa-se que a adição de resíduo não apresentou resultados positivos perante a resistência à compressão, havendo um declínio conforme o aumento da proporção do resíduo, sendo todos inferiores ao traço de referência, o qual não tem em sua composição nenhum tipo de resíduo e cujo a maioria dos valores individuais atendem as normativas exigidas.

Gráfico 2 - Valores médios do ensaio à compressão

Fonte: PRÓPRIOS AUTORES, 2019

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto foi executado dentro das conformidades tanto da norma quanto as orientações do processo executivo.

As dimensões dos objetos em estudo estão de acordo com o que é pedido pela NBR 8491 (ABNT, 2012), o que se confere nas Tabelas 12 a 15.

Os ensaios de absorção de umidade foram realizados no padrão normativo, sendo possível encontrar valores médios e individuais aceitos para os quatro corpos de prova, conforme as Tabelas 16 e 17, cumprindo com as solicitações prescritas pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Em comparação com o tijolo ecológico convencional, os resultados obtidos com as amostras com substituição parcial do cimento Portland por cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto não demonstraram valores médios satisfatórios, vistos os resultados na Tabela 22, os quais não atendem a NBR 8491 (ABNT, 2012). A média mínima prevista de acordo com a norma citada anteriormente é de 2,0 MPa para valores médios e de 1,7 MPa para valores individuais, resultados a serem conferidos nas Tabelas 18 a 21, sendo que a maioria dos corpos de prova do traço referência atendem aos valores individuais mínimos exigidos.

O objetivo do trabalho de analisar e estudar de forma comparativa foi satisfatório, uma vez que a necessidade de encontrar métodos sustentáveis na construção civil é cada vez mais requisitado.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista a necessidade de busca por métodos construtivos mais sustentáveis, para trabalhos futuros sugerimos:

- Adicionar as cinzas como parte do traço do tijolo solo-cimento para uma gama maior de comparativos;
- Uma avaliação quanto à composição do tijolo solo-cimento, uma vez que foram encontrados nos testes de resistência à compressão valores inferiores estabelecidos pela norma técnica, tanto nas amostras com resíduos quanto nas usuais utilizada pela empresa que apoiou o trabalho;
- Utilizar-se de minúcias na produção da argamassa assim como na execução do capeamento.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, M.C. **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/disserta%C3%A7%C3%A3o-completa.pdf>. Acesso em: 04 dez. de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16p. (BT-111).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. NBR 10833. Rio de Janeiro, 2013. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural**. NBR 10834. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos**. NBR 12653. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia**. NBR 13529. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. NBR 8492. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. NBR 8491. Rio de Janeiro, 2012.
- ALVENARIA: Tijolo Ecológico x Bloco Cerâmico. **Comparativo de Custo**, Tijolo Ponto Eco, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.tijolo.eco.br/tijolo-ecologico/comparativo-de-custo/>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- BARROSO, T. R. **Estudo da atividade pozolânica e da aplicação em concreto de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes características físico-químicas**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/Tha%C3%ADs-Ribeiro-Barroso.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018.
- BEDIM, Carolina Machado e. Aproveitamento de resíduos sólidos para uso na construção civil. **Centro Nacional de Educação a Distância**, Porto Alegre, 7 abr. 2011. Disponível em: <http://www.cenedcursos.com.br/meio-ambiente/residuos-solidos-uso-construcao-civil/>. Acesso em: 25 set. 2018.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: O que é - O que não é**. Petrópolis: Vozes, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=px46DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=sustentabilidade&ots=bDtjpc9oe&sig=39don1-YbbM3PyKynRxj0XUjcyA#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 06 nov. 2018.

BORTOLETTO, M. M. F.; CARNEIRO, A. A.; SOUSA, A. O.; FERNANDES, L. C.; NAVES, L.D.; NOGUEIRA, M. M.; PINTO, C. O. **Confecção de concreto utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo**. Universidade de Uberaba, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/biochemistryproceedings/8entec/007.pdf>. Acesso em: 08 de abr. 2019.

BRASIL, **Resolução CONAMA n°307**, de 5 de julho de 2002. Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos. Publicado no D.O.U. de 17 de julho de 2002.

CAMPOS, I. C.; PINA, R. C. A. d. **Estudo da viabilidade de utilização de resíduo de construção e demolição na fabricação de tijolos solo-cimento**. 2018. 85 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, Anápolis, 2018. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/jspui/handle/aee/878>. Acesso em: 08 mar. 2019.

CERATTI, J. A. P. **Estudo do Comportamento a Fadiga de Solos Estabilizados com Cimento para Utilização em Pavimentos**. Tese (Doutorado), Rio de Janeiro, 1993.

CINCOTTO, M.A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil**. A Construção, São Paulo, v.1855, p.27-30, 1983. (IPT - Encarte TE, 9)
CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. v.4, p.219-21.

CORDEIRO, Cristine Ribeiro; MACHADO, Vanessa Caires. **Sustentabilidade na fabricação do tijolo solo-cimento: estudo comparativo com blocos convencionais**. 2017. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: http://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc_Cristine%20Cordeiro_Vanessa%20Machado.pdf. Acesso em: 14 nov. 2018.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIM, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. **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.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://especializacaoocivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

CUNHA, Karla. **Tijolo Solo-Cimento**, São Paulo, 19 abr. 2018. Disponível em: <http://www.karlacunha.com.br/tijolo-solo-cimento/>. Acesso em: 15 nov. 2018.

DESPERDÍCIOS na construção civil e seus impactos. **Mobuss Construção**, Santa Catarina, 19 set. 2018. Disponível em: <https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/desperdicios-na-construcao-civil/>. Acesso em: 8 nov. 2018.

DESPERDÍCIOS na construção civil: impactos no meio ambiente. **Construct**, Minas Gerais, 20 set. 2018. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/desperdicio-na-construcao-civil-impactos-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 8 nov. 2018.

FERREIRA, L.F.R. **Biodegradação de vinhaça proveniente do processo industrial de cana-de-açúcar por fungos**. Piracicaba, Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2009.

FOELKEL, Celso. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto**: Resíduos Minerais. Eucalyptus Online Book. São Paulo, v. 25, n. 5 out. 2011. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.

FREITAS, E.D.G.A. **Obtenção de tijolos de solo-cimento com adição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção civil**. 1996. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1996.

GOUVÊA, Júlia Ribeiro Ferreira. **Mudanças climáticas e a expectativa de seus impactos na cultura da cana-de-açúcar na região de Piracicaba, SP**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

LÊDO, Samantha. O Conceito de Construção Sustentável na Engenharia Civil. **Revista da Sustentabilidade**, 30 jun. 2015. Disponível em: <https://revistadasustentabilidade.wordpress.com/2015/06/30/o-conceito-de-construcao-sustentavel-dentro-da-engenharia-civil/>. Acesso em: 25 set. 2018.

LIMA, F. L. S. Como Montar uma Fábrica de Tijolos Ecológicos. **Ideias de Negócios**, SEBRAE, p. 1-2, 2016. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 14 nov. 2018.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 f. Monografia (Pós-Graduação) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp127154.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2018.

LOPES, Michele. Sistemas construtivos sustentáveis: opções modernas e cada vez mais aplicadas. **TEM Sustentável**, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.temsustentavel.com.br/sistemas-construtivos-sustentaveis-opcoes/>. Acesso em: 26 set. 2018.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257285/1/Lopes_WilzaGomesReis_D.pdf. Acesso em: 27 nov. 2018.

MAGALHÃES, Lana. Sustentabilidade. **TodaMatéria**, 4 mai. 2018. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 25 set. 2018.

MACÊDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. 2004. 289 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5694/1/arquivo6354_1.pdf. Acesso em: 27 nov. 2018.

MASSAZZA, F. **Pozzolana and pozzolanic cements**. In: Hewlett, P. C. (ed.), *Lea's chemistry of cement and concrete*, 4th edition, London: Arnold Publishers, 1998. p.485-500

MERCADO, M.C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MIELI, Priscilla Henriques. **Avaliação do Tijolo Modular de Solo-Cimento como Material na Construção Civil**. 2009. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

MIRANDA, Leonardo F. R.; BORCARDI, Fernanda Louize Monteiro. **A reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil**. São Paulo: Abrecon. 31 p., 2015. Disponível em: https://abrecon.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 15 nov. 2018.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**, Pini, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, E.F.B.; BARROS, S.S.U. **Resíduos e aspectos sustentáveis da cana-de-açúcar**. Dissertação (Pós-Graduação) – Curso de Gestão Ambiental, Centro Universitário da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2017. Disponível em: https://www.unigran.br/ciencias_exatas/conteudo/ed11/artigos/04.pdf. Acesso em: 11 abr. 2019.

PAULA, Marcos O. de *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**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p.353-357, jan. 2009. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/enharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/disserta%C3%A7%C3%A3o-completa.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2018.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**. São Paulo, 2002.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion.** LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal b FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007563>. Acesso em: 04 abr. 2019.

REUTILIZAÇÃO e Reciclagem de Resíduos da Construção Civil. **Instituto Centro de Capacitação e Apoio ao Empreendedor**, Belo Horizonte, BH. Disponível em: <https://www.centrocape.org.br/arquivos/41a3307aa6853f2054ff37d758e3e69d.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2018.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira - SP.** 2000. 206 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Construções Rurais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. M. Solo cimento e solo-cal. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios da ciência e engenharia de materiais.** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v. 2, p. 833.

SOUZA, Márcia Ikarugi Bomfim de; PEREIRA, Joelma Aparecida; SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva. **Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção.** Técnica, Ilha Solteira, SP, ed. 113, p.1-5, ago. 2006. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/113/artigo285544-1.aspx>. Acesso em: 14 nov. 2018.

TIJOLO ecológico. **CasasRio**, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://casaspre-rio.blogspot.com/p/tijolo-ecologico.html>. Acesso em: 15 nov. 2018.

TIJOLO de solo-cimento. **Portal Educação**, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/iniciacao-profissional/tijolo-de-solo-cimento/40435>. Acesso em: 14 nov. 2018.

TIJOLO solo-cimento. **ECOCASA**, São Paulo, 31 ago. 2014. Disponível em: <https://www.ecocasa.com.br/tijolo-solo-cimento>. Acesso em: 8 nov. 2018.

VALVERDE, D. **Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável.** 2017. 103 f. TCC (Graduação) – Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Lins, São Paulo, 2017.

VILLAR-COCIÑA, E.; VALENCIA-MORALES, E.; GONZALES-RODRIGUES, R.; RUÍZ, J. Hernandez. **Kinetics of the pozzolanic reaction between lime and sugar cane straw ash by electrical conductivity measurement: A kinetic-diffusive model.** Cement and Concrete Research, v.33, p. 517-524, 2003.

WILMER, Tom. **New Mexico's Taos Pueblo, inhabited for 1,000 years**, KCBX Central Coast Public Radio, San Luis Obispo, 15 fev. 2017. Disponível em: <http://www.kcbx.org/post/new-mexico-s-taos-pueblo-inhabited-1000-years#stream/0>. Acesso em: 27 nov. 2018.