

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**CAMPUS OURO PRETO**  
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONSERVAÇÃO E RESTAURO

EMANUELA CRISTINA MOUTINHO

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ADOBES  
PRODUZIDOS COM ADIÇÕES DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Ouro Preto  
2019

Moutinho, Emanuela Cristina.

M934a      Avaliação da resistência à compressão de adobes produzidos com adições de bagaço de cana-de-açúcar. [Manuscrito]. / Emanuela Cristina Moutinho. Ouro Preto, 2019.

39 f. il.

Orientador: Fernando de Paula Cardoso.

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, (Tecnologia em Conservação e Restauro) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campus Ouro Preto.

1. Adobe. – Monografia. 2. Bagaço da cana-de-açúcar. – Monografia. 3. Resistência à compressão. – Monografia. I. Cardoso, Fernando de Paula. II. Título.

CDU 691.12

**EMANUELA CRISTINA MOUTINHO**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ADOBES  
PRODUZIDOS COM ADIÇÕES DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada à diretoria de Pesquisa e Graduação do Instituto Federal de Minas Gerais - Campus Ouro Preto, como requisito para obtenção do título em Tecnologia em Conservação e Restauro.

Orientador: Fernando de Paula Cardoso

Ouro Preto

2019

**EMANUELA CRISTINA MOUTINHO**

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ADOBES  
PRODUZIDOS COM ADIÇÕES DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal Minas Gerais Campus Ouro Preto, como parte das exigências do curso de Tecnologia em Conservação e Restauro para a obtenção do título de *Tecnólogo*.

Aprovado em 14 de agosto de 2019 por:

---

Elizene Veloso Ribeiro

---

Rodrigo Otávio de Marco Meniconi

---

Fernando de Paula Cardoso  
(Orientador)

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela realização deste trabalho, pela força, coragem e determinação que recebi e pela presença constante em minha vida.

A minha família, meus pais Sônia e Geraldo, meus irmãos Emília e Ênio, minhas lindas sobrinhas Ana Beatriz e Sofhia, pelo apoio, amor e paciência.

Aos técnicos de laboratório Edna Paula da Costa Reis, Igor Amaral Neves de Nicolau e principalmente ao meu Coorientador Mestre Cláudio Fernando de Souza pela ajuda no decorrer da pesquisa.

Ao professor Fernando de Paulo Cardoso, pela orientação e apoio.

A vida e aos meus amigos da graduação, a Ludmila, Natália, Michele, Camila, Luana, Jéssica, Sabrina, Ítalo e a Juliana Vieira, pelo incentivo à realização de mais uma etapa.

Obrigada a todos.

## **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à compressão de adobes produzidos com adições de fibra de bagaço de cana-de-açúcar. Foram produzidos corpos de prova com e sem adições da fibra para, em seguida, serem realizados os ensaios de avaliação da resistência à compressão. Os resultados obtidos permitiram concluir que a adição da fibra aumenta a resistência à compressão dos adobes, sendo este material, portanto, passível de utilização para a referida finalidade.

Palavras-chave: adobe, bagaço da cana-de-açúcar, resistência à compressão.

## **ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the compressive strength of adobe produced with sugarcane bagasse fiber additions. Test specimens were produced with and without fiber additions, and then the compression strength tests were performed. The results obtained allowed us to conclude that the addition of fiber increases the compressive strength of adobes, and this material is therefore usable for this purpose.

Keywords: adobe, sugarcane bagasse, compressive strength.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arquiteturas em terra no mundo (ALEXANDRIA, 2008).....	13
Figura 2: Igreja de Nossa Senhora do Rosário e São Benedito, Estrela do Sul – MG. .....	15
Figura 3: Procedimentos adotados para a realização do trabalho. ....	20
Figura 4: Preparação do bagaço da cana-de-açúcar. ....	24
Figura 5: Pesagem da terra e do bagaço. ....	26
Figura 6: Confeção dos adobes. ....	26
Figura 7: Moldagem e secagem dos adobes. ....	26
Figura 8. Aquecimento do enxofre. ....	27
Figura 9. Forma metálica e procedimento de capeamento. ....	28
Figura 10: Máquina Universal computadorizada .....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Tipos de corpos de prova com e sem adição de fibras.....	27
Tabela 2. Resultado do ensaio de avaliação da resistência à compressão. ....	32

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Resultados da análise granulométrica por peneiramento. ....30

Gráfico 2. Resultado do ensaio de avaliação do limite de liquidez. ....31

## **LISTA DE FOTOS**

Foto 2. Forma de adobe. ....	16
Foto 3. Local de onde foi retirada a terra. ....	20
Foto 4: Amostras retidas em cada peneira. ....	22
Foto 5. Capeamento. ....	28

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	12
2.1. A construção em terra .....	12
2.2. As técnicas de construção com terra .....	13
2.3. O adobe .....	14
2.4. As fibras na construção civil .....	16
2.5. O uso de fibras nas construções históricas de terra .....	17
2.6. O bagaço de cana de açúcar .....	17
3. OBJETIVOS .....	19
3.1. Geral .....	19
3.2. Específicos .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	20
4.2. Seleção, coleta, preparação e caracterização da terra .....	20
4.4 Confeção dos adobes .....	25
4.5. Avaliação do desempenho: resistência à compressão .....	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
5.1. Composição granulométrica .....	30
6. CONCLUSÃO .....	34
7. REFERÊNCIAS .....	35

## 1. INTRODUÇÃO

A arquitetura de terra compreende as edificações que utilizam a terra como matéria-prima, sem modificação das suas características naturais.

Existem várias técnicas construtivas em terra, e uma delas é o adobe, que consiste da confecção artesanal de blocos compostos por terra, materiais fibrosos, (como o capim seco, esterco de boi, cinzas, palha de milho), e água.

Trata-se de uma técnica econômica, sendo a terra um material abundante e de baixo custo. E o processo de produção, diferentemente dos tijolos cerâmicos, não demanda a queima em fornos, reduzindo, portanto, os diversos impactos ambientais decorrentes da queima da madeira.

Além disso, apresenta a vantagem de ter um bom isolamento térmico e acústico e resistência ao fogo. Por outro lado, apresenta algumas desvantagens, como as altas taxas de contração e expansão; baixa resistência à abrasão e sensibilidade à água.

Devido à preocupação com a restauração do patrimônio arquitetônico construído em adobe, ocorreu a possibilidade de desenvolver um estudo com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico do adobe, controlando os efeitos da retração e aumentando sua resistência à compressão.

Portanto, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da adição do bagaço de cana de açúcar na resistência de adobes.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A construção em terra

A partir da necessidade de abrigo, surgiu uma rica diversidade de edifícios que refletem a vida e a cultura dos povos que os construíram. A preservação da cultura de um povo é fundamental, para garantir a proteção da sua memória e pode ser representada pelos sistemas construtivos desenvolvidos ao longo do tempo.

Conforme Nolasco (2001),

os sistemas construtivos empregados pelo homem através dos tempos são elementos antropológicos que precisam ser estudados e preservados, pois, refletem o modo de vida dos povos em cada época e em cada lugar. São resultantes da evolução da humanidade, onde, a cada desafio, soluções criativas e inovadoras surgiram, impondo novos parâmetros de qualidade, conforto, segurança, beleza, economia e durabilidade (NOLASCO, 2001, p.1).

Neste contexto, destaca-se a arquitetura em terra, que compreende todas as construções que utilizam a terra como matéria-prima, sem modificação das suas características naturais, uma vez que o processo de secagem é natural (FERNANDES, 2015).

Conforme Fernandes (2015), a partir de uma matéria-prima inicialmente frágil como a terra, pode-se confeccionar materiais com resistências elevadas e, portanto, construir sistemas quase inabaláveis. Existem vários modos de construir com terra, com abundância de variantes adaptadas às características das culturas e dos lugares.

Não se sabe ao certo quando a terra passou a ser usada como material de construção, mas as primeiras construções de adobe descobertas datam de mais de 9.000 anos e foram encontradas na Ásia Central (TORGAL, 2009).

Em quase todos os países do mundo são encontradas construções em terra. A terra foi um dos materiais mais utilizados na construção e atualmente 30% da população mundial ainda reside em construções de terra (ALEXANDRIA, 2008).



Figura 1. Arquiteturas em terra no mundo (ALEXANDRIA, 2008).

Algumas construções milenares alcançaram o século XXI, como o Templo de Ramsés II no Egito, com 3200 anos e construído com adobe; a Grande Muralha da China, construída parcialmente em taipa há 3000 anos; as Pirâmides de Uxmal e do Sol, no México, construídas com terra compactada entre os anos 100 e 150 d.C.; e a cidade de Chan Chan, no Peru, erguida 1000 e 1500 d.C., cujas paredes são de terra misturada com fibras vegetais (TORGAL, 2009).

No Brasil, as construções com terra conhecidas datam do início da colonização, sendo empregadas técnicas como o adobe, a taipa de pilão e o pau a pique (TINOCO, 2007).

Alguns exemplos de edificações do período colonial construídas com terra são: a Igreja de Nossa Senhora da Ajuda em Salvador, de 1549, feita de taipa e coberta de palha; a casa grande do Sítio Padre Inácio, localizado em Cotia - SP, construída com taipa de pilão no final do século XVII; e a Igreja de Nossa Senhora do Rosário e São Benedito, localizada em Estrela do Sul - MG, construída em adobe em 1870 (VELOSO, 2018).

## 2.2. As técnicas de construção com terra

A terra apresenta vantagens e desvantagens como material de construção, sendo as principais vantagens o baixo custo, as boas características de isolamento térmico e acústico, a trabalhabilidade e a resistência ao fogo. E, dentre as desvantagens, destacam-se as altas taxas de contração e expansão,

a baixa resistência à abrasão e a sensibilidade à água (FREIRE, 2003), sendo estes alguns dos fatores que levaram ao seu desuso ao longo do tempo.

As técnicas de construção com terra se desenvolveram em várias civilizações, a partir do encontro entre as técnicas nativas com as trazidas pelos estrangeiros e de adaptações de acordo com os contextos locais de disponibilidade de recursos, clima, etc., ainda assim havendo, no entanto, muitas semelhanças entre as principais técnicas (NEVES, 2011).

Outra técnica muito utilizada foi a taipa de pilão, ou taipa, que consiste em paredes monolíticas de terra compactada em formas de madeira, denominados taipais (TELLI, 2014).

E outra técnica, provavelmente a mais versátil, é conhecida como pau a pique, taipa de mão ou taipa de sopapo, que consiste de um sistema misto no qual a madeira estruturada na forma de trama é o elemento portante e a terra o elemento de vedação (SANTIAGO, 2001).

Uma das primeiras técnicas a serem utilizadas foi a do adobe, que consiste em blocos moldados em formas de madeira em diversos tamanhos e secos naturalmente (VARUM, 2008).

### **2.3. O adobe**

A técnica do adobe é trazida ao Brasil pelos portugueses e foi muito utilizada em construções de várias regiões, principalmente em Igrejas, prevalecendo em lugares onde a disponibilidade de pedra e madeira era pequena (NOLASCO, [sem data]).

Sua composição é simples: terra em estado plástico, adições de materiais fibrosos, quando necessário, e água. As construções em adobe têm boas propriedades térmicas e acústicas devido às características da terra crua, que tende a equilibrar a temperatura do ambiente, absorvendo até 30 vezes mais umidade em relação ao tijolo cozido devido à sua elevada porosidade (OLIVEIRA, 2003).



Figura 2: Igreja de Nossa Senhora do Rosário e São Benedito, Estrela do Sul –MG.  
Disponível em: <[https://www.tripadvisor.com.br/Attraction\\_Review-g4037923-d7277756-Reviews-Igreja\\_Nossa\\_Senhora\\_do\\_Rosario\\_e\\_Sao\\_Benedito-Estrela\\_do\\_Sul\\_State\\_of\\_Minas\\_Ger.html](https://www.tripadvisor.com.br/Attraction_Review-g4037923-d7277756-Reviews-Igreja_Nossa_Senhora_do_Rosario_e_Sao_Benedito-Estrela_do_Sul_State_of_Minas_Ger.html)>. Acesso em: 20-02-2019.

Oliveira (2003) afirma que o adobe é um material sustentável, porque depende de matérias-primas que podem ser encontradas no próprio local onde será executada a obra e também por necessitar de pouca quantidade de energia para sua produção.

A confecção do adobe é artesanal, utilizando terra com textura areno-argilosa, de coloração amarelada ou avermelhada, composta por 70 a 80% de areia e 20 a 30% de argila. Para o preparo da massa podem ser adicionados materiais fibrosos, como o capim seco, esterco de boi, cinzas, palha de milho entre outros. A água é acrescentada aos poucos durante o amassamento até atingir o estado plástico (GALVÃO [sem data]).

Para a moldagem, são utilizadas formas de madeira ou metal sem fundo, sendo suas dimensões variáveis de região para região. Para realizar a moldagem, a terra em estado plástico deve estar bem homogeneizada e a forma deve estar molhada e polvilhada com areia, para facilitar a desmoldagem. A secagem deve ser feita naturalmente (NOLASCO [sem data]).



Foto 1. Forma de adobe.

Disponível em: < <https://www.assimquefaz.com/faca-voce-mesmo-a-sua-casa-parte-iii-adobe-a-tecnica-de-construcao-natural/>>. Acesso em: 27-06-2019.

Para construir uma parede, os adobes precisam estar totalmente secos, mas ao realizar o assentamento o adobe deve ser levemente umedecido para não absorver a água da argamassa. A altura da parede não deve passar de 1 m em cada jornada, para não causar fissuras nas juntas. O revestimento é o principal responsável pela durabilidade dos adobes e deve ser realizado com argamassas à base de cal, devido à compatibilidade físico-química entre os materiais (NOLASCO [sem data]).

#### **2.4. As fibras na construção civil**

O uso das fibras na construção civil começou a tomar uma proporção maior no século XX, com a utilização do cimento-amianto, que é um produto da mistura do cimento com fibras de amianto, elaborado pelo método Hatschek (FREIRE, 2003).

Os estudos relacionados ao uso das fibras na construção civil tiveram início na Inglaterra em 1970. No Brasil iniciaram-se em 1980, por iniciativa do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, um centro multidisciplinar que trabalha em cinco áreas, entre elas os materiais cerâmicos e poliméricos, meio ambiente e alimentos. Suas pesquisas focaram em fibras vegetais, materiais de baixo custo e fácil acesso, como o sisal e o coco, com o objetivo de reforçar as matrizes frágeis (FREIRE, 2003).

Além das fibras vegetais, hoje são utilizadas as fibras artificiais e as sintéticas, sendo artificiais confeccionadas com materiais naturais e as sintéticas com uso de produtos químicos.

As fibras, naturais e sintéticas, mais empregadas são as de coco, sisal, piaçava, polpa de algodão e de celulose de eucalipto, rami, banana, malva, polipropileno, aço, vidro, nylon, poliéster, carbono, celulose e amianto (FREIRE, 2003).

Além de aumentar a resistência mecânicas das matrizes, a utilização das fibras apresenta grandes vantagens, como: a redução da fissuração por retração; aumento da força da aderência; isolamento acústico; baixo custo; baixa densidade; resistência aos ataques de bactérias e fungos; e resistência à umidade e apodrecimento.

## **2.5. O uso de fibras nas construções históricas de terra**

A utilização das fibras como materiais de reforço em construções com terra data de 3000 anos. No Egito, por exemplo, foram usadas palhas e crinas de cavalo como materiais de reforço e na muralha da China há indícios de fibras nos tijolos (NEVES, 2011).

As fibras utilizadas na construção em terra são os naturais, que podem ser de origem animal, vegetal e mineral. Essas fibras têm uma finalidade de aumentar a resistência mecânica (FREIRE, 2003).

## **2.6. O bagaço de cana de açúcar**

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola de grande importância no Brasil, que atualmente é o maior produtor mundial e principal exportador de seus derivados - açúcar e etanol (BESSA, 2011).

O bagaço é uma matéria orgânica vegetal, rica em polissacarídeos (açúcares complexos) e em suas paredes celulares encontra-se a celulose, a hemicelulose e a lignina. Essas três moléculas correspondem a 75% da biomassa vegetal e proporcionam resistência mecânica à planta. O restante são substâncias como proteínas, óleos vegetais e minerais (SOARES, 2012).

De acordo com Costa e Bocchi (2012), o bagaço de cana é o resíduo agroindustrial mais abundante no país e a estimativa é que a cada ano sejam produzidos de 5 a 12 milhões de toneladas desse material o que corresponde a cerca de 30% do total da cana moída (FARIA, 2011).

O bagaço é o resíduo da moagem da cana-de-açúcar e na metade do século XX iniciou-se a sua utilização em diversas aplicações (KANAI, 2012) como: absorção de contaminantes ambientais; alimentação animal (ração); bioplásticos; cosméticos; adubo; energia elétrica; etanol de 2<sup>o</sup> geração; fibrocimento e concreto; forragem; madeira; e papel.

O bagaço da cana-de-açúcar vem sendo estudado para a utilização como material de construção e algumas pesquisas tratam, por exemplo, a confecção de blocos de concreto para pavimentação a partir das cinzas do bagaço, com o objetivo de diminuir a quantidade de material descartado inadequadamente e, principalmente, substituir parcialmente a areia, contribuindo para que diminua a sua retirada inadequada nos rios (MARTINS, 2015); para substituir parcialmente o agregado miúdo na produção de argamassas (MACEDO, 2009); para melhorar o desempenho de micro concretos fabricados com cimento Portland (POGGIALI, 2010); para substituir parte do cimento em argamassa para fabricação de tijolos na construção civil (CORREA, 2013); ou ainda como *filler* em compostos de fibrocimento (ZARDO, 2004).

Diversos estudos como os de MARTINS, (2015); MACEDO, (2009); VALENCIANO, (2004); POGGIALI, (2010); NASCIMENTO, (2010); ZARDO, (2004), comprovam o potencial do bagaço de cana de açúcar como material de construção, como na resistência a compressão, abrasão, tração e ainda a redução dos impactos ambientais a partir de sua exploração.

É neste contexto que, no presente trabalho, propõe-se o uso do bagaço de cana de açúcar como uma alternativa para a melhoria da qualidade dos adobes produzidos para a aplicação em obras de restauração.

Já que, tradicionalmente, o adobe era produzido com adição de fibras, com o objetivo de obter um bom desempenho mecânico, por que não utilizar a fibra do bagaço da cana de açúcar?

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Geral**

Avaliar a resistência à compressão de adobes produzidos com adições de bagaço de cana-de-açúcar.

#### **3.2. Específicos**

- a) Comparar a resistência à compressão de adobes produzidos sem e com adições do bagaço de cana-de-açúcar.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Descrição geral do estudo

O estudo consistiu dos seguintes procedimentos:

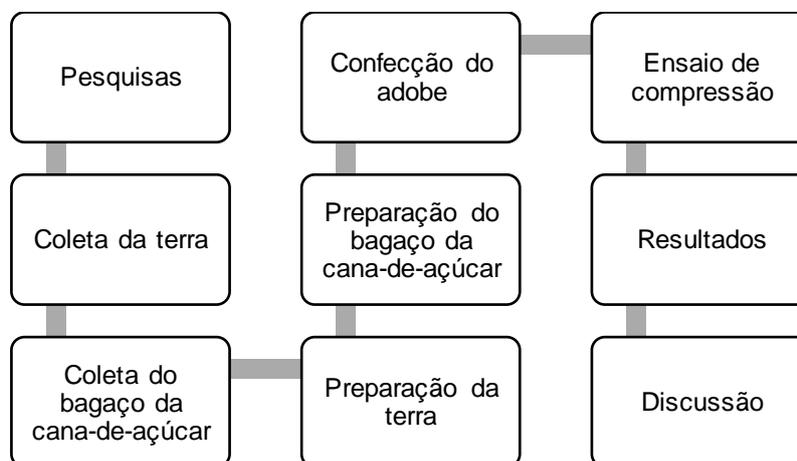


Figura 3: Procedimentos adotados para a realização do trabalho.

### 4.2. Seleção, coleta, preparação e caracterização da terra

#### 4.2.1 Seleção e coleta da terra

Foi utilizada terra da região de Cachoeira do Campo - MG, distrito da cidade de Ouro Preto MG. A coleta foi realizada em um terreno que estava sendo preparado para construção de uma edificação, de onde foi retirada uma amostra de 60 kg.



Foto 2. Local de onde foi retirada a terra.

#### 4.2.2. Preparação e caracterização (ABNT, 1986)

A terra foi seca ao ar, moída em almofariz e em seguida levada ao quarteador para retirada de amostra para realizar a caracterização.

A terra foi caracterizada quanto à composição granulométrica por peneiramento, conforme a ABNT NBR 7181: 1984 e sedimentação, conforme Embrapa (1997); e os de limites de liquidez e plasticidade conforme as NBRs 6459: 1984 e 7180: 1984, respectivamente.

Todos os ensaios supracitados foram realizados no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto MG.

##### 4.2.2.1. Análise granulométrica por peneiramento

Este ensaio é realizado por meio do peneiramento em peneiras com diversas aberturas numa série padrão, podendo ser realizado a mão ou agitando todas as peneiras de uma só vez, até que todas as partículas passem por meio do agitador (CAPUTO, 1983). A representação da distribuição granulométrica é feita por meio de uma curva granulométrica, que é traçada em um diagrama logarítmico com as dimensões das partículas sobre o eixo das abscissas e a porcentagem que passa em cada peneira no eixo das ordenadas. (CAPUTO, 1983).

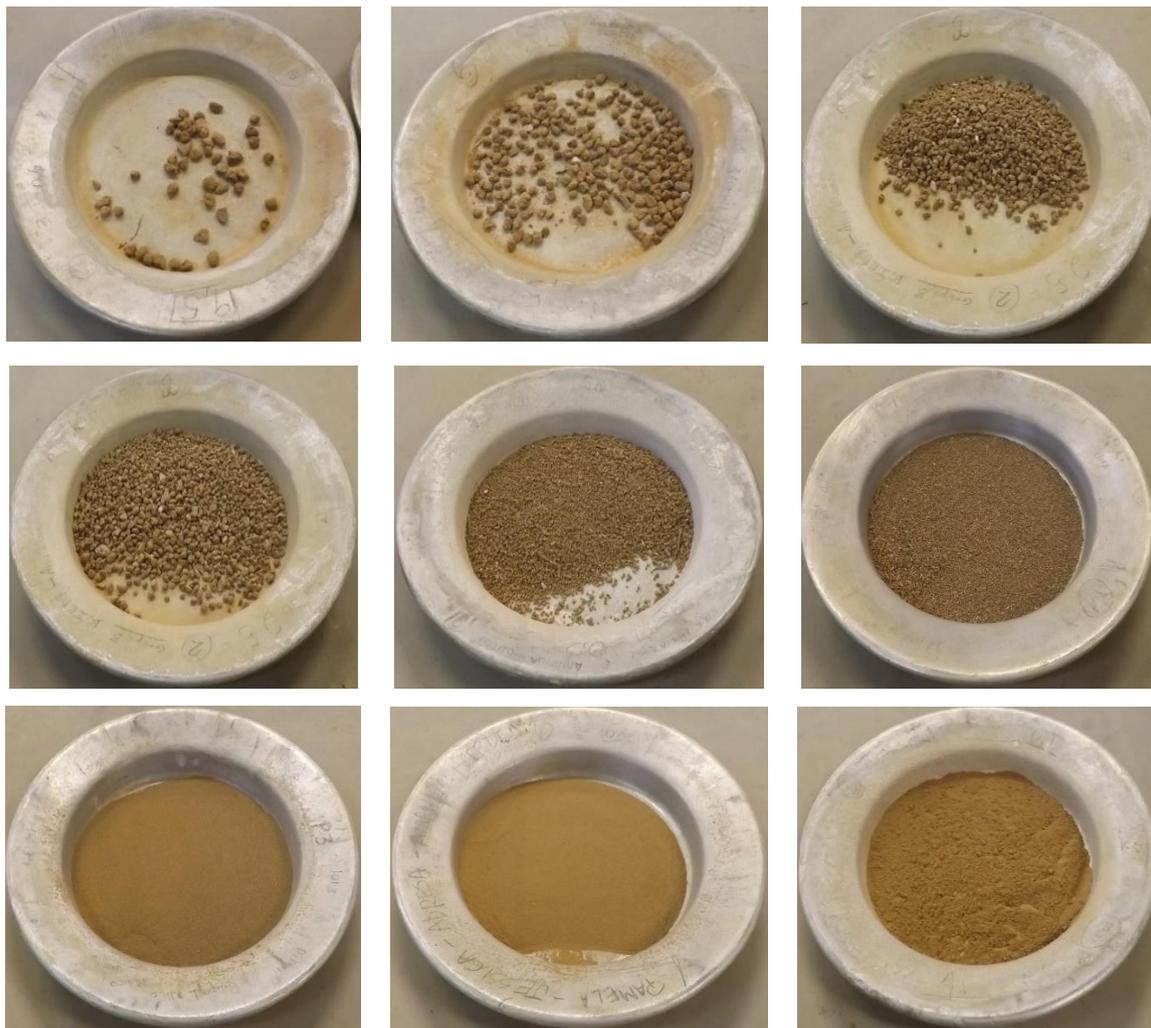


Foto 3: Amostras retidas em cada peneira.

#### 4.2.2.2. Análise granulométrica por sedimentação (EMBRAPA, 1997)

A análise granulométrica por sedimentação é realizada para determinar a composição granulométrica baseando-se na Lei de Stokes, que relaciona o tamanho da partícula com a velocidade com que ela sedimenta em um meio líquido. Quanto maior for a partícula, mais rápido ela se depositará no fundo da proveta (CAPUTO,1983).

Para a realização do ensaio, uma amostra do solo seco ao ar foi moída em almofariz de cerâmica e depois pesada em balança de precisão.

Primeiramente, a amostra foi peneirada em peneira de 2 mm. Desta, foi retirada uma alíquota de 20g à qual foram adicionados 25ml de hidróxido de sódio NaOH e 100 ml de água deionizada. A solução foi agitada em agitador mecânico por 16 horas. Em seguida, a amostra foi retirada do agitador e passada

pela peneira 0,053mm. A parte que ficou retida (a fração areia) foi colocada em um recipiente e levada à 100°C para secagem. A parte que passou pela peneira e ficou retida na proveta recebeu água deionizada até atingir os 1000 ml e, em seguida, foi levada ao agitador elétrico “*stirrer*” durante 5 minutos. Passado esse tempo, foi retirada em plena agitação com o auxílio de uma pipeta, uma quantidade de 50 ml de amostra correspondente à fração silte. Com o restante da amostra, foi medida a temperatura para, por meio da equação de Stokes, calcular o tempo de sedimentação da argila em suspensão aquosa, para uma determinada profundidade. Com base nisso, foram retirados 50ml da amostra correspondente à fração argila, que foi levada à estufa a uma temperatura de 100°C.

Após a secagem em estufa, as frações silte e argila foram calculadas a partir da pesagem do material seco.

#### 4.2.4. Limites de liquidez e plasticidade

O limite de liquidez é o valor de umidade no qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico. Esse limite é determinado com auxílio do aparelho de Casagrande no qual se determina o teor de umidade que, com 25 golpes, une os bordos inferiores de uma canelura (um centímetro de comprimento) aberta, na massa de solo, por um cinzel de dimensões padronizadas (CAPUTO,1983).

O limite de plasticidade é o valor de umidade na qual o solo passa do estado plástico para o estado semi-sólido. É o limite no qual o solo começa a se quebrar em pequenas peças, quando enrolado em bastões de 3 mm de diâmetro. Ou seja, é o menor teor de umidade em que o solo se comporta plasticamente (CAPUTO,1983).

Para medir o limite de liquidez, foram utilizados 70g da amostra foram misturados com água destilada até atingir o estado plástico. A massa foi inserida na concha do aparelho de Casagrande até atingir uma espessura de 1cm. Com o auxílio de um cinzel, abriu-se uma ranhura no centro, dividindo em duas partes. Logo em seguida iniciou-se o golpeamento da concha contra a base do aparelho até o centro da ranhura se fechar, registrando-se o número de golpes necessários. Em seguida, foi retirada uma parte da amostra para determinação

da umidade. O procedimento foi adicionando água destilada gradativamente até alcançar o número de repetições necessário para a medição do limite de liquidez correspondente a 25 golpes

Para medir o limite de plasticidade uma amostra da terra é misturada com água destilada até atingir o estado plástico. Em seguida, é retirada uma pequena quantidade da massa, que é enrolada sobre uma placa de vidro até formar um cilindro de 3mm de diâmetro por 10cm de comprimento. Ao atingir esse comprimento continua-se o movimento de enrolar até a perda da umidade superficial. Quando o cilindro começar a se fragmentar, atingiu-se o estado desejado. Este material é então levado à estufa para determinação da umidade. Este procedimento foi repetido até obter-se 3 valores para a umidade.

#### **4.3. Coleta, preparação e caracterização do bagaço da cana de açúcar**

O bagaço da cana-de-açúcar foi cedido pelo restaurante Garapinha em Ouro Preto MG. A cana-de-açúcar é proveniente de São Gonçalo do Bação, distrito de Itabirito MG.

O bagaço foi submetido à secagem natural pelo período de três semanas e em seguida, foi cortado em um liquidificador, gerando fragmentos com comprimento aproximado de 6 cm.



Figura 4: Preparação do bagaço da cana-de-açúcar.

#### **4.4 Confeção dos adobes**

##### **4.4.1. Sem adição de bagaço de cana de açúcar**

Foi separada uma amostra de terra suficiente para a produção de três corpos de prova (três adobes), de acordo com os seguintes procedimentos: o solo foi misturado com água e amassado com os pés até atingir o estado plástico; em seguida, a massa foi inserida em uma forma de madeira (10 cm x 10 cm x 10 cm) previamente umedecida e polvilhada com areia fina; e, por fim, o adobe foi retirado da forma e disposto em superfície plana para secagem natural pelo prazo de 30 dias.

##### **4.4.2. Com adição de bagaço de cana-de-açúcar**

Foi separada uma amostra suficiente de terra para a produção de três corpos de prova (três adobes), de acordo com os seguintes procedimentos: o solo foi misturado com água e a fibra do bagaço de cana-de-açúcar para a produção do primeiro corpo de prova (T1) ao qual foram adicionados 0,1 kg de bagaço; ao segundo corpo de prova (T2) foram adicionados 0,2 kg; e só terceiro 0,3 kg. O material foi amassado com os pés até atingir o estado plástico; em seguida, a massa foi inserida em uma forma de madeira de (10 cm x 10 cm x 10 cm) previamente umedecida e polvilhada com areia fina; por fim, o adobe foi retirado da forma e disposto em superfície plana para secagem natural pelo prazo de 30 dias.



Figura 5: Pesagem da terra e do bagaço.



Figura 6: Confeção dos adobes.



Figura 7: Moldagem e secagem dos adobes.

A tabela a seguir apresenta os corpos de prova, com e sem adição de fibras.

Tabela 1. Tipos de corpos de prova com e sem adição de fibras.

TIPO	IDENTIFICAÇÃO	TERRA (kg)	BAGAÇO (kg)
0	1	3,45	0,0
	2		
	3		
1	1		0,1
	2		
	3		
2	1		0,2
	2		
	3		
3	1		0,3
	2		
	3		

#### 4.4.3. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova, foram capeados conforme os seguintes procedimentos: primeiramente, foi confeccionada uma forma metálica no tamanho de 15 cm x 15 cm para a aplicação da base de capeamento; em seguida, foi aplicado o desmoldante óleo queimado em suas superfícies internas; depois o enxofre em pó foi aquecido e quando ele atingiu o estado líquido foi vertido na forma metálica para, em seguida fixar o corpo de prova, que foi retirado após o endurecimento. Esse procedimento foi realizado na parte inferior e superior de todos os corpos de prova.



Figura 8. Aquecimento do enxofre.

Esse procedimento é realizado para deixar as superfícies plana e no momento do rompimento no ensaio de compressão, romper os corpos de prova por completo.

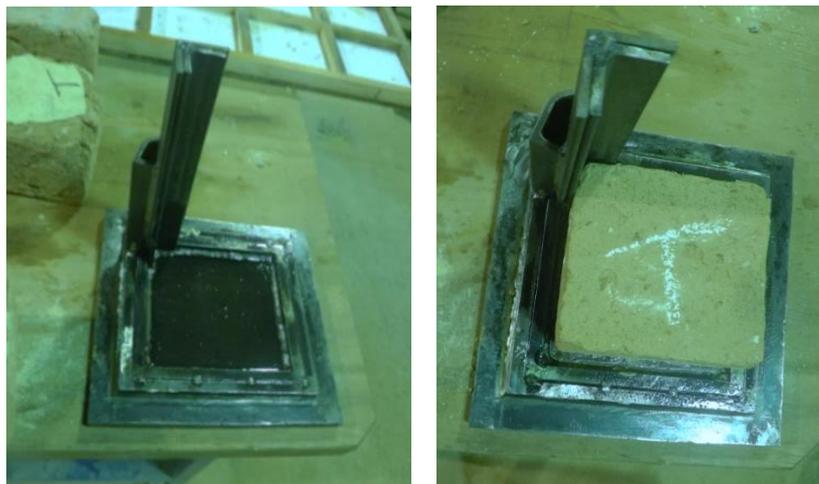


Figura 9. Forma metálica e procedimento de capeamento.



Foto 4. Capeamento.

#### 4.5. Avaliação do desempenho: resistência à compressão

O ensaio de avaliação da resistência à compressão foi realizado no laboratório de materiais de construção da UFOP — (Universidade Federal de Ouro Preto) por meio de uma prensa hidráulica universal EMIC DL 20000 computadorizada, seguindo as normas ABNT NBR 6156: 1983, e ABNT NBR 7680: 2015.

A máquina universal faz uma pressão vertical sobre o corpo de prova até ele se romper, registrando a resistência instantânea. O equipamento é controlado pelo software *Bluehill* da *Instron*, que faz o gerenciamento de dados e registra os resultados.

Para realizar o ensaio, os pratos da máquina foram limpos e ajustados de acordo com o tamanho dos corpos de prova. Cada corpo de prova foi medido

para determinação da área exata e, em seguida, a força foi aplicada até a ruptura.



Figura 10: Máquina Universal computadorizada

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Composição granulométrica

#### 5.1.1. Por peneiramento

O solo utilizado possui 60% de areia média, 30% de pedregulhos e 10% grosso, conforme a curva de distribuição granulométrica (Gráfico 1).

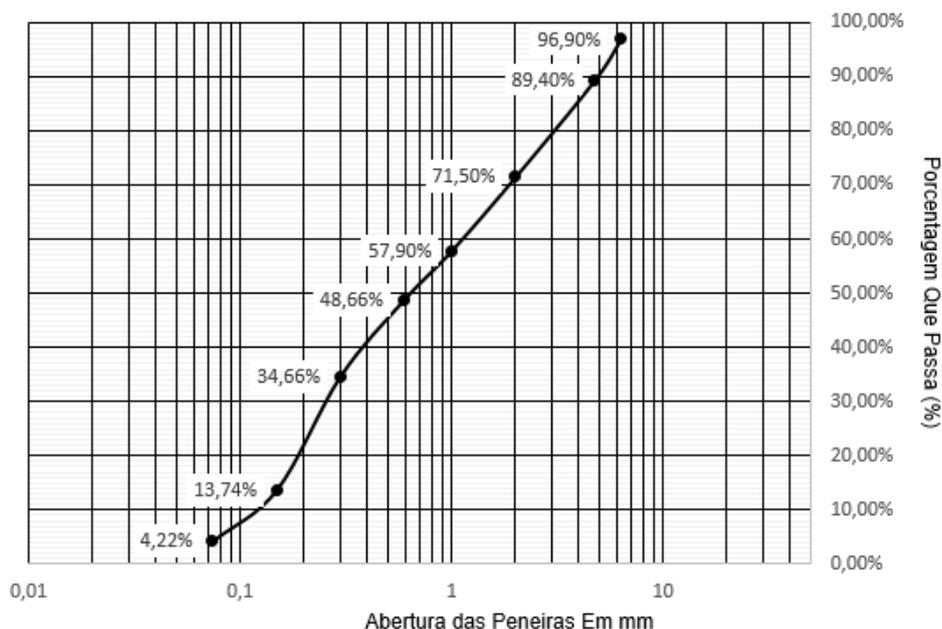


Gráfico 1. Resultados da análise de composição granulométrica por peneiramento.

#### 5.1.2. Por sedimentação

Os resultados da análise da composição granulométrica por sedimentação permitiram concluir que o solo é constituído por 30% de areia, 28% de silte e 42% de argila.

Para a determinação da textura do solo, foi utilizado o triângulo textural, que classifica o solo conforme sua composição granulométrica. Por meio do diagrama foi possível concluir que o solo é franco arenoso, um solo que contém mais argila do que areia. (Figura 19).

#### 5.1.3. Limite de Liquidez e Plasticidade

O resultado do Limite de Liquidez foi representado por um gráfico em escala logarítmica (Gráfico 2), que apresenta a umidade correspondente aos 25

golpes. O limite de liquidez foi de 48,5%. O resultado do limite de plasticidade do solo é igual a 33,6%.

O índice de plasticidade, que é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, resultou em 14,9%, o que permite concluir que o solo é medianamente plástico.

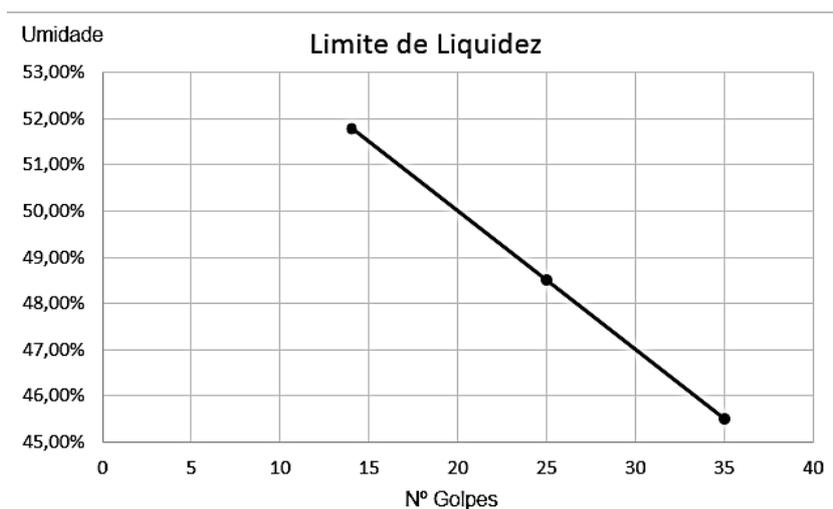


Gráfico 2. Resultado do ensaio de avaliação do limite de liquidez.

#### 5.1.4. Resistência à compressão

Os resultados<sup>1</sup> obtidos no ensaio de determinação da resistência à compressão dos adobes foram:

---

<sup>1</sup> Relatório de ensaio (Apêndice I).

Tabela 2: Resultado do ensaio de avaliação da resistência à compressão.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Bagaço (kg)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
T0 (1)	-	1,6
T0 (2)	-	1,4
T0 (3)	-	1,4
T1 (1)	0,1	1,3
T1 (2)	0,1	1,2
T1 (3)	0,1	1,1
T2 (1)	0,2	1,8
T2 (2)	0,2	2,9
T2 (3)	0,2	2,9
T3 (1)	0,3	8,7
T3 (2)	0,3	5,8
T3 (3)	0,3	5,3

O solo utilizado é argiloso, portanto menos permeável, com capacidade de armazenar mais água e com uma boa resistência mecânica devido à coesão das partículas de argila que, por outro lado, apontam para uma tendência à retração, o que pode ser controlado ou minimizado com a adição de fibras.

Com base nos resultados, pode-se observar que houve uma diminuição da resistência (22%) entre o adobe sem fibras e com adição de 0,1 kg de fibras. Por outro lado, os adobes com adições de 0,2 e 0,3 kg de fibras apresentaram aumento de resistência em relação àqueles sem adições de fibras de, respectivamente, 72% e 450%.

Na ausência de estudos específicos sobre o uso de fibras do bagaço da cana de açúcar para a produção de adobes, foram feitas comparações dos resultados obtidos neste estudo com os de outros estudos, baseado no uso de outros tipos de fibras. O estudo de PINHEIRO (2009), baseado na adição da fibra do coco verde ao adobe, resultou em aumento de 40% da resistência à compressão dos adobes, comparando-se com adobes sem fibras; o estudo de LOURENÇONI (2016), baseado na adição do resíduo do café, resultou em aumento de 20% da resistência à compressão; o trabalho de COSTA (2014), sobre a adição de cinzas e fibras do coco teve um resultado o aumento da

resistência à compressão em 18,6%; e GANDIA (2018), obteve um aumento de 13% na resistência à compressão de adobes com incorporação de lodo de estação de tratamento de água.

## **6. CONCLUSÃO**

Devido à preocupação com a restauração do patrimônio arquitetônico construído em adobe, ocorreu a possibilidade de desenvolver um estudo com o objetivo de melhorar o desempenho mecânico do adobe, controlando os efeitos da retração e aumentando sua resistência à compressão.

Com os resultados alcançados neste trabalho, pode-se afirmar que o emprego da fibra do bagaço da cana de açúcar é viável, possibilitando assim sua aplicação no contexto da restauração, e também contribuindo com o desenvolvimento sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. **Associação Brasileira de normas técnicas**. NBR 6156. Máquina de ensaio de tração e compressão – Verificação. Rio de Janeiro, 1983.
- ABNT. **Associação Brasileira de normas técnicas**. NBR 6459. Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. **Associação Brasileira de normas técnicas**. NBR 7180. Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT. **Associação Brasileira de normas técnicas**. NBR 7181. Análise granulométrica dos solos. Rio de Janeiro, 1968.
- ABNT. **Associação Brasileira de normas técnicas**. NBR 7680. Concreto - Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.
- ALEXANDRIA, S. S. S. **A terra na construção civil: edificações de adobe no município de Pedro II**, Piauí. Fortaleza CE, 2008.
- BESSA, S. A. L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. 2011. 182 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de São Carlos, 2011.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações** – 5º edição. Volume 1. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983.
- CORREA, J. C. C. **Tijolos ecológicos de bagaço de cana-de-açúcar**. Centro Universitário Unifafibe – Bebedouro – SP, 2013.
- COSTA, H. N. **Avaliação de tijolos de adobe com adição de cinzas e fibras do coco**. Maceió- AL, 2014.
- COSTA, W. L. S.; BOCCHI, M. L. M. **Aplicações do bagaço da cana de açúcar utilizadas na atualidade**.
- EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

FARIA, K. C. P. **Avaliação da adição de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades e microestruturas de cerâmica vermelha.**

Dissertação de mestrado.

FERNANDES, M (2015). **Técnicas de construção em terra.** Universidade de Coimbra, Portugal, 2006.

FREIRE, W. J. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Editora da Unicamp. Campinas SP, 2003.

GALVÃO, J. L. **O adobe e as arquiteturas.**

GANDIA, R. M. **Resistência à compressão de adobes com incorporação de lodo de estação de tratamento de água.** Rio de Janeiro, RJ, 2018.

KANAI, K. Y. **Utilizações e potenciais usos do bagaço de cana-de-açúcar.** Universidade federal de São Carlos centro de ciências agrárias. Piracicaba, 2012.

LOURENÇONI, D. **Estudo da resistência à compressão do bloco de terra comprimido com adição de resíduos do café.** Foz do Iguaçu – PR, 2016.

MACEDO, P. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar.** Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira – SP, 2009.

MARTINS, C. **Avaliação da utilização da cinza de bagaço de cana de - açúcar na confecção de blocos de concreto para pavimentação.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá (PR), 16.06.2014.

NASCIMENTO, B. **Síntese e caracterização do sulfato de acetato de celulose, obtido do bagaço de cana-de-açúcar, para aplicação como aditivo na construção civil.** Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Química. Uberlândia MG, 2010.

NEVES, C. **Técnicas de construção com terra.** Rede IBERO - Americana proterra. Bauru – SP, 2011.

NOLASCO, N. R. **Sistemas Construtivos I.** Instituto Federal de Minas Gerais- Campus Ouro Preto MG – IFMG, 2001.

NOLASCO, N. R. **Sistemas e Técnicas Construtivas I. CAP II- PAREDES E MUROS.** Instituto Federal de Minas Gerais-Campus Ouro Preto MG – IFMG, (sem data)

OLIVEIRA, L. B. **Introdução ao estudo de adobe: construção de alvenaria.** Projeto Cantoar/FAU, Brasília, 2003.

PINHEIRO, R. **Estudo da resistência do tijolo de adobe com adição de fibras naturais de coco verde para habitações de baixo custo.** Fortaleza, 2009.

POGGIALI, F. S. J. **Desempenho de microconcretos fabricados com cimento portland com adições de cinza de bagaço de cana-de-açúcar.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

SANTIAGO, C. C. 2001. **O Solo como Material de Construção.**

SOARES, L. C. S. R. **Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos.** 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Industrial na Área de Microbiologia Aplicada) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

TELLI, F. H. **Tecnologias, sistemas construtivos e tipologias para habitações de interesse social em reassentamentos - Taipa de pilão.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

TINOCO, J.E.L. **Técnicas tradicionais: A terra crua como material de construção: um método de ensino a distância.** Olinda: CECI - Centro de estudos avançados de conservação integrada, 2007.

TORGAL, F. P. **Construção em terra.** Universidade do Minho. Portugal, 2009. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro- UENF, 2011.

Universidade Federal da Bahia – UFBA, 2001.

VARUM, H. **Caracterização do comportamento estrutural de paredes de alvenaria de adobe.** Universidade de Aveiro, Portugal, 2008.

VELOSO, L. **História da Arquitetura e do Urbanismo Clássico e Barroco.** Materiais de Construção do Período Colonial - Faculdade Ruy Barbosa Wyden. Salvador, BA, 10.10.2018.

ZARDO, A. M. **Utilização da cinza de bagaço cana-de-açúcar como “filler” em compostos de fibrocimento.** Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP) SP, 2004.

