



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI  
UNIVATES  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE  
HIPERADOBE NA CIDADE DE GUAPORÉ, RS – CIDADE ESCOLA  
AYNI**

Josué Cristóvão Benvegnú

Lajeado, novembro de 2017

Josué Cristóvão Benvegnú

**AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE  
HIPERADOBE NA CIDADE DE GUAPORÉ, RS – CIDADE ESCOLA  
AYNI**

Trabalho de graduação em Engenharia Civil apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Me. Rafael Mascolo

Lajeado, novembro de 2017

## RESUMO

O impacto ambiental causado pela execução de uma edificação é algo consideravelmente agressivo no ramo da construção civil. Um dos pontos que vem ganhando espaço nos últimos anos é a utilização de materiais com baixo impacto ambiental para esta finalidade. Considerando este conceito, o presente trabalho consiste em realizar um estudo sobre a resistência mecânica à compressão do material utilizado em uma série de edificações que estão sendo construídas em uma área arborizada localizada na cidade de Guaporé – RS, onde será instalada uma escola para crianças, denominada Cidade Escola Ayni. Estas edificações estão sendo construídas pelo método de hiperadobe, ou seja, a utilização de terra crua úmida ensacada, a qual é utilizada como paredes estruturais para as edificações. Com o estudo proposto, se tem a intenção de agregar ao meio acadêmico informações reais de um método pouco conhecido e de grande valor para edificações na região. Pela baixa oferta de informações técnicas e acadêmicas referente a este método construtivo, optou-se em moldar uma série de corpos de prova utilizando os mesmos materiais que estão sendo utilizados no local, com variações nos teores de areia e argila para definição da mistura mais econômica com adequado desempenho mecânico. Através do estudo proposto, concluiu-se que a mescla utilizada atualmente possui os resultados mais favoráveis em comparação as demais mesclas apresentadas.

**Palavras-chave:** Hiperadobe. Terra crua. Construção civil. Métodos alternativos de construção. Guaporé. Cidade Escola Ayni. Resistência mecânica à compressão.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edificação construída com método de taipa de pilão, localizada em São Paulo, com aproximadamente 250 anos. ....	14
Figura 2 – Teste do pote. ....	16
Figura 3 – Ensaio limite de liquidez, aparelho de Casagrande.....	17
Figura 4 – Ensaio limite de plasticidade. ....	17
Figura 5 – Diagrama de classificação das diferentes técnicas construtivas em função do seu tipo de estrutura.....	18
Figura 6 – Construção na forma vertical pelo método de terra escavada .....	19
Figura 7 – Construção na forma horizontal pelo método de terra escavada .....	19
Figura 8 – Trama utilizada para estrutura do pau-a-pique. ....	20
Figura 9 – Execução do método pau-a-pique.....	20
Figura 10 – Residência feita em pau-a-pique, São Paulo. ....	21
Figura 11 – Edificação executada pelo método COB. ....	22
Figura 12 – Residência executada pelo método COB.....	22
Figura 13 – Igreja executada pelo método taipa de pilão.....	23
Figura 14 – Edifício residencial com 5 pavimentos, feito com método taipa de pilão, localizada na Inglaterra. ....	24
Figura 15 – Materiais para construção com a técnica taipa de pilão. (a) fôrmas para taipa de pilão. (b) socadores para compactação.....	25
Figura 16 – Execução do método taipa de pilão. ....	26
Figura 17 – Confecção de tijolos de adobe. (a) moldagem dos adobes nas fôrmas de madeira. (b) adobes secando ao sol. ....	27
Figura 18 – Casas antigas em adobe, Piauí.....	28
Figura 19 – Construção com adobes, pela empresa BIOhabitate .....	29
Figura 20 – Pilão para compactação das fiadas de superadobe.....	31
Figura 21 – Colocação de arame farpado para junção das fiadas. ....	31

Figura 22 – Cavalete para execução das fiadas no método de superadobe.....	32
Figura 23 – Edificação sendo executada pelo método de superadobe. ....	32
Figura 24 – Saco inferior de superadobe e saco superior para hiperadobe.....	33
Figura 25 – Construção com paredes e cobertura com método de hiperadobe.....	35
Figura 26 – Corpos de prova na prensa. (a) capeamento de argamassa. (b) corpo de prova na prensa. ....	36
Figura 27 – Entrada da Cidade Escola Ayni.....	37
Figura 28 – Croquis das edificações. (a) pousada. (b) sala de aula. (c) hostel. (d) local de convenções. (e) e (f) restaurante. ....	39
Figura 29 – Construção com método cordwood.....	40
Figura 30 – Construção com método pau-a-pique. ....	40
Figura 31 – Malha Raschel em rolo de 1000 metros.....	42
Figura 32 – Compactador.....	43
Figura 33 – Fiadas de hiperadobe. (a) fiadas executadas para muro de arrimo. (b) fiadas executadas em uma edificação. ....	44
Figura 34 – Solo inicial sendo peneirado. ....	48
Figura 35 – Solo peneirado. ....	48
Figura 36 – Amostra úmida do solo.....	49
Figura 37 – Amostra seca após 4 dias em estufa. ....	49
Figura 38 – Série de peneiras para o ensaio de granulometria do solo. ....	51
Figura 39 – Aparelho de Casagrande utilizado para ensaio do Limite de liquidez do solo utilizado.....	53
Figura 40 – Solo submetido ao teste com a ranhura aberta inicialmente.....	53
Figura 41 – Cordão com 100 mm de comprimento, para determinação do Limite de plasticidade. ....	55
Figura 42 – Cordão com 3 mm de espessura, para determinação do Limite de plasticidade. ....	56
Figura 43 – Agitador do solo para caracterização em relação a massa específica do solo.....	57
Figura 44 – Areia peneirada para os ensaios.....	58
Figura 45 – Areia úmida. ....	59
Figura 46 – Areia seca após secagem em estufa. ....	60
Figura 47 – Série de peneiras para ensaio de granulometria da areia.....	61
Figura 48 – Fôrma de madeira desenvolvida para este trabalho. ....	65

Figura 49 – Fôrma de madeira desenvolvida para este trabalho. ....	65
Figura 50 – Mistura dos materiais sem adição de água. ....	66
Figura 51 – Material homogêneo com areia e a argila. ....	67
Figura 52 – Teor de cimento adicionado. ....	67
Figura 53 – Mistura com o cimento. ....	68
Figura 54 – Teste do bolo, para determinar umidade em campo, marcação dos dedos. ....	69
Figura 55 – Teste do bolo, para determinar umidade em campo, queda em material plano e rígido.....	69
Figura 56 – Moldagem dos corpos de prova. ....	71
Figura 57 – Proctor utilizado na compactação do material.....	71
Figura 58 – Corpo de prova desformado após a compactação.....	72
Figura 59 – Série de corpos de prova no seu tempo de cura.....	72
Figura 60 – Corpo de prova sendo submetido a resistência a compressão.....	73
Figura 61 – Rompimento do corpo de prova. ....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição granulométrica dos solos conforme NBR 6502/1995. ....	15
Tabela 2 – Resumo explicativo dos tipos de sacarias.....	34
Tabela 3 – Valores de resistência à compressão pelo experimento de Duarte e Azevedo, 2016. ....	35
Tabela 4 – Relação dos corpos de prova.....	47
Tabela 5 – Ensaio de granulometria do solo.....	51
Tabela 6 – Relação de teores de umidade para limite de plasticidade. ....	55
Tabela 7 – Relação de valores para determinar a massa específica dos sólidos. ...	57
Tabela 8 – Ensaio de granulometria da areia.....	61
Tabela 9 – Relação dos materiais utilizados nos corpos de prova. ....	64
Tabela 10 – Quantidade de corpos de prova por mescla e data.....	70
Tabela 11 – Relação das resistências mecânicas à compressão.....	74

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica do solo .....	52
Gráfico 2 – Limite de Liquidez (LL).....	54
Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia.....	62
Gráfico 4 - Resultados dos corpos de prova unitários.....	75
Gráfico 5 - Resultados dos corpos de prova pela média.....	76



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 Justificativa.....	10
1.2 Objetivos .....	10
1.2.1 Objetivos gerais .....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
1.3 Delimitações do estudo .....	11
1.4 Limitações do estudo.....	11
1.5 Estrutura da pesquisa.....	12
<b>2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Histórico da construção com terra em edificações .....	13
2.2 A terra como material de construção .....	14
2.2.1 Composição granulométrica .....	14
2.2.2 Plasticidade .....	16
2.3 Tipos de construção com terra crua.....	17
2.3.1 Construção com terra sob a forma monolítica .....	18
2.3.1.1 Terra escavada .....	18
2.3.1.2 Terra plástica – Pau-a-pique.....	19
2.3.1.3 Terra empilhada.....	21
2.3.1.4 Terra prensada – taipa de pilão.....	23
2.3.2 Construção com terra sob a forma de alvenaria .....	26
Adobe prensado ou moldado:.....	27
2.3.3 Construção com terra sob a forma de enchimento de algum material de suporte .....	29
2.4 Superadobe.....	30
2.5 Hiperadobe.....	33
Resistência à compressão em paredes estruturais de hiperadobe.....	35
<b>3 OBJETO DE ESTUDO</b> .....	<b>37</b>
3.1 Sistemas utilizados .....	39
3.2 Materiais.....	40
3.2.1 Terra crua.....	40
3.2.2 Sacaria (local para armazenar a terra crua) .....	41
3.2.3 Compactador .....	42

3.2.4 Fiadas .....	43
3.3 Acompanhamento .....	44
<b>4 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>46</b>
4.1 Materiais.....	47
4.1.1 Solo.....	47
4.1.1.1 Teor de umidade do solo.....	48
4.1.1.2 Granulometria por peneiramento do solo.....	50
4.1.1.3 Limite de liquidez .....	52
4.1.1.4 Limite de plasticidade.....	54
4.1.1.5 Massa específica dos sólidos .....	56
4.1.2 Areia .....	58
4.1.2.1 Teor de umidade da areia .....	58
4.1.2.2 Granulometria por peneiramento da areia.....	60
4.1.2.3 Massa específica dos sólidos da areia .....	62
4.1.3 Cimento .....	62
4.1.4 Água .....	63
4.1.5 Fôrma .....	64
4.2 Métodos.....	66
4.2.1 Preparação dos materiais.....	66
4.2.2 Determinação da umidade do material.....	68
4.2.3 Moldagem dos corpos de prova .....	70
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>74</b>
5.1 Resultados .....	74
5.1.1 Resistência mecânica à compressão .....	74
5.2 Análises.....	76
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>78</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>82</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o aumento considerável de construções com métodos construtivos convencionais, a demanda por técnicas alternativas começa a ganhar mercado na construção civil. Na década de 70 já se tem registros de construções com terra ensacada. Minke (2005) realizou diversos testes com diferentes materiais, com métodos que consistiam na colocação da terra em sacos feitos de algodão, e compactados somente pelo peso das paredes superiores.

Kahilli (1998) patenteou uma nova técnica que consistia na utilização de terra ensacada compactada, com umidade e compactação ideal, conseguindo um adensamento ideal para criar resistência à compressão, e não obtendo retrações futuras. No Brasil, em 2010, houve uma adequação ao método, que consistiu em utilizar um material denominado malha Raschel, sendo esta utilizada como fôrma para colocação da terra e após compactada. A malha Raschel possui uma grande vantagem em relação aos outros tipos de materiais por ter suas fibras mais espaçadas entre si, possibilitando rugosidade adequada para aplicação do reboco de terra posteriormente. Esta técnica ficou conhecida como hiperadobe.

O uso de terra ensacada compactada para execução de paredes estruturais de edificações está cada vez mais sendo utilizada para a construção de edificações modernas e com alguns benefícios específicos deste método. Esta técnica de construção vem ganhando mercado em diversas áreas, dentre elas, edificações residenciais e locais de ensino, principalmente com foco na sustentabilidade e bioconstrução.

## **1.1 Justificativa**

Considerando que grande parte dos métodos construtivos atuais possuem um bom acervo de normas técnicas para serem seguidas e assim manter um padrão de qualidade técnica dentro das mesmas, optou-se em realizar um estudo experimental sobre um método pouco convencional na área da construção civil. O método em questão é constituído da utilização de terra crua compactada manualmente no local da construção, sendo moldada dentro de diversos tipos de sacos.

Entende-se que este estudo é de grande importância dentro da área da construção com métodos alternativos, pelo fato deste ramo possuir pouca normatização e experimentos técnicos relatados. Com pouca normatização disponível e publicada, este estudo é de grande importância para guiar projetos futuros.

O estudo em questão visa relatar o desempenho mecânico à compressão do hiperadobe, técnica que está sendo utilizada para construir uma série de edificações localizadas na cidade de Guaporé – RS. O estudo poderá servir de base referencial para futuros construtores e curiosos do método construtivo, que optem por uma técnica construtiva menos agressiva no aspecto ambiental.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivos gerais**

O objetivo principal deste estudo é avaliar a influência na resistência mecânica à compressão de diferentes teores de areia e argila na mistura com cimento para definição da mistura ótima a ser utilizada no hiperadobe.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- a) Avaliar a resistência à compressão das misturas utilizadas;
- b) Avaliar o desenvolvimento da resistência mecânica ao longo do tempo;
- c) Ter parâmetros para dimensionar as edificações de maior porte do local do estudo.

### **1.3 Delimitações do estudo**

Foram estabelecidas as seguintes delimitações sobre o estudo em questão:

- a) Estudo referente somente ao método utilizado atualmente no local em questão;
- b) Serão realizados experimentos relacionados somente a resistência mecânica à compressão do material, não será abordado outro parâmetro que o material apresenta em relação a sua estrutura;
- c) Não serão avaliadas informações relacionadas a custos e despesas para a execução das edificações.

### **1.4 Limitações do estudo**

O estudo se resume nas seguintes limitações:

Falta de trabalhos científicos e normas técnicas sobre o estudo proposto.

## **1.5 Estrutura da pesquisa**

O primeiro capítulo introduz ao trabalho, onde, além da introdução, encontram-se os objetivos (gerais e específicos), a justificativa, as delimitações e limitações do estudo, além da estrutura da pesquisa. O segundo capítulo destina-se à um referencial teórico, a partir de uma revisão bibliográfica do assunto em geral, abordando diversas áreas do assunto para um melhor entendimento, ou seja, descreve brevemente os principais métodos de construção com terra crua.

O terceiro capítulo dedica-se ao método de pesquisa utilizado e descreve as etapas que foram abordadas para execução deste trabalho. O quarto capítulo é destinado ao estudo experimental, tende a descrever e relatar detalhadamente os materiais e métodos utilizados, descreve os materiais e suas quantidades utilizadas nos ensaios, após é feito uma análise sobre todos os resultados obtidos.

O quinto e último capítulo finaliza com algumas considerações finais além da conclusão pessoal do estudo proposto sobre o trabalho, e por fim um referencial bibliográfico para trabalhos futuros.

## **2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 Histórico da construção com terra em edificações**

As primeiras construções com terra tem estimativa de 4000 a 6000 anos a.C., sendo que uma das maiores construções da história da humanidade foi a Muralha da China, a qual de acordo com Minke (2005) foi construída quase totalmente com terra, pelo método de taipa de pilão, e posteriormente revestida com pedras, dando a aparência de que toda a muralha é de pedra. Ainda de acordo com Minke (2005) as técnicas de construção com terra se deram início em locais de deserto, onde se tinha muito pouco acesso à madeira para construção, assim, utilizando seu próprio solo local para as edificações.

A terra crua como matéria prima para edificações, se revelou como um excelente material para ser aplicado em diversos métodos de construção, com isso, de acordo com cada localidade, foram aparecendo diversos métodos de construção com terra crua, pois cada região apresenta uma especificação única em questão de clima e características geológicas. Esta capacidade de adaptação do material conforme o local e o baixo custo da matéria prima foram fatores fundamentais para ser utilizado tais métodos (FERREIRA, 2012).

Como pode-se notar, as técnicas de construção com terra crua surgiram juntamente com as primeiras edificações, sendo o meio mais antigo de construção que se tem registro, o qual se for executado pelo método correto de construção, tende a proporcionar uma vida útil mais longa à construção. No Brasil, de acordo com

Minke (2005), há edificações de grande porte há mais de 250 anos, construídas com o método de taipa de pilão, que até hoje apresentam condições adequadas para utilização (Figura 1).

Figura 1 – Edificação construída com método de taipa de pilão, localizada em São Paulo, com aproximadamente 250 anos.



Fonte: Minke (2005)

## **2.2 A terra como material de construção**

A terra sempre foi o material mais utilizado em locais mais quentes como meio de construção. Em países subdesenvolvidos, a metade das construções são com terra crua, com isso, pode-se notar que nestes países é impossível construir com materiais industrializados como ferro e cimento. A terra é o material mais abundante para construção em quase todos locais do mundo, sendo assim, o material mais barato para construções (MINKE, 2005).

De acordo com Neves (2005), para construção com terra, é dividido a classificação do solo em composição granulométrica, plasticidade, retração e posteriormente na execução a umidade ideal para compactação.

### **2.2.1 Composição granulométrica**

A composição granulométrica do solo é definida por grupos de elementos distintos pelo seu tamanho, sendo eles classificados conforme a sua dimensão em



pedregulho, areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila. Para determinar a porcentagem de cada elemento na amostra de solo é feito um teste de peneiramento para separar pedregulho e as areias, e outro teste de sedimentação para determinar a porcentagem de silte e argila (NEVES, 2005).

A denominação de cada elemento da amostra no Brasil, conforme o seu tamanho, é caracterizada pela NBR 6502/1995 da ABNT, conforme demonstrado a seguir na Tabela 1:

Tabela 1 – Composição granulométrica dos solos conforme NBR 6502/1995.

Dimensão dos grãos d (mm)	Classificação das partículas	Características principais
$2 \leq d \leq 20$	pedregulho	Elemento inerte e resistente
$0,06 \leq d < 2$	areia	Elemento inerte, sem coesão
$0,002 \leq d < 0,06$	silte	sem coesão, diminui a resistência da areia
$d < 0,002$	argila	possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença da água; apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem

Fonte: Adaptado por Neves, 2005 de ABNT, 1995

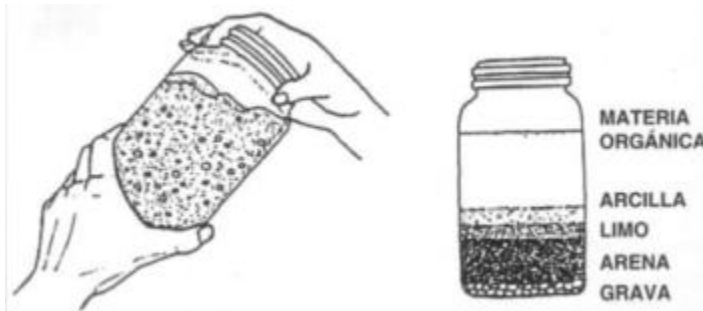
Para construção com terra, cada partícula exerce uma função. A argila exerce a função de ligante natural, enquanto o silte é considerado peso morto na mescla, e a areia exerce função de resistência e estabilidade para a mescla. O ideal é uma quantidade de argila de 5% a 30% para a terra corrigida pronta para construir, segundo Houben e Guillaud (1994, apud Santos, 2015).

Para construções com terra, não é necessário que sejam feitos testes precisos para estabelecer a quantidade de cada elemento. Geralmente são utilizados testes de campo práticos, que já oferecem uma base adequada para identificar as porcentagens aproximadas de areia, silte e argila. Para determinar a porcentagem aproximada de cada elemento em teste prático de campo, pode-se utilizar o teste do pote (SANTOS, 2015).

No teste do pote (Figura 2), são recolhidas três amostras do solo a ser utilizado para construção, abaixo da camada superficial, onde possui grande parte de matéria orgânica. É importante sempre recolher amostras abaixo da superfície,

entre 30 a 50 cm. Estas amostras devem ser colocadas em um pote de vidro até encher 50% do pote, e o restante é preenchido com água. Em seguida agita-se bastante o pote, e aguarda-se a areia decantar. Para ser utilizado em construções, é necessário que a areia ocupe de dois terços a três quartos do pote (HUNTER E KIFFMEYER, 2004).

Figura 2 – Teste do pote.



Fonte: Minke (2005)

### 2.2.2 Plasticidade

A plasticidade do material pode ser caracterizada por dois termos: limite de liquidez e limite de plasticidade. O limite de liquidez é determinado pelo aparelho de Casagrande, que consiste em colocar uma parcela do solo úmido dentro de uma concha metálica e uma manivela acoplada a concha, e fazer uma ranhura de 1 cm de largura. Gira-se a manivela, fazendo a concha bater em uma superfície sólida, assim, nota-se de quantas batidas a concha precisa dar para fechar a ranhura de 1 cm. Para atingir o limite de liquidez é necessário atingir a umidade para que a ranhura de 1 cm feche com 25 golpes (Figura 3).

Já o limite de plasticidade é determinado sem nenhum aparelho, sendo necessário fazer um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento, rolando com a palma da mão sobre uma superfície de vidro. Executa-se esse procedimento no mínimo 3 vezes com quantidades diferentes de umidade, após secar as amostras em estufa, e identificar os teores de umidade que foram ideais para a realização do ensaio (Figura 4) (NEVES, 2005).

Figura 3 – Ensaio limite de liquidez, aparelho de Casagrande.



Fonte: Neves (2005)

Figura 4 – Ensaio limite de plasticidade.



Fonte: Neves (2005)

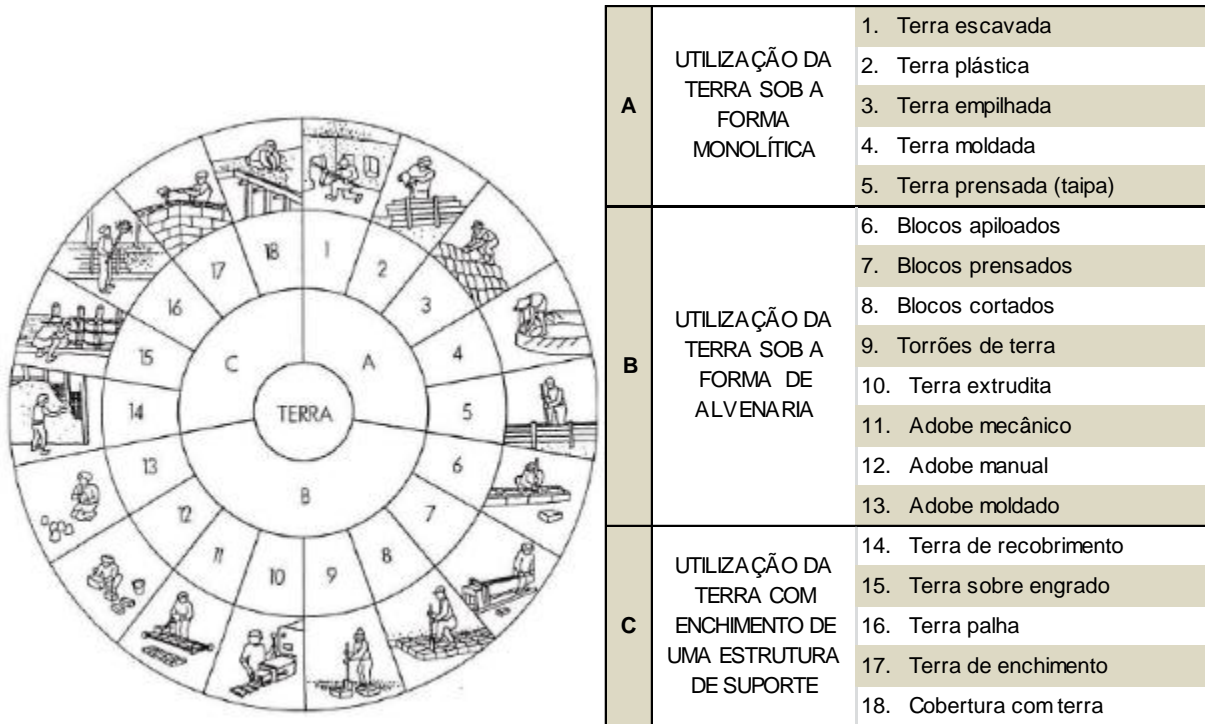
### 2.3 Tipos de construção com terra crua

De acordo com Ferreira (2012), um grupo conhecido como CRATerre<sup>1</sup>, criou em 1986 um esquema com as características dos tipos de construção com terra conhecidos até a determinada data. Se subdividem em três grupos de construção com terra: a) sistemas monolíticos; b) sistemas de alvenaria; e c) sistemas de enchimento ou revestimento (Figura 5).

---

<sup>1</sup> ONG (Organização Não Governamental) internacional que se dedica à investigação e formação na área da construção em terra.

Figura 5 – Diagrama de classificação das diferentes técnicas construtivas em função do seu tipo de estrutura.



Fonte: Houben & Guillaud (1989, apud Ferreira, 2012)

### 2.3.1 Construção com terra sob a forma monolítica

Nos sistemas monolíticos é utilizada a matéria prima do próprio local para a execução desses métodos. Pertencem a este grupo cinco tipos de construção com terra: terra escavada, terra plástica, terra empilhada, terra moldada e terra prensada.

#### 2.3.1.1 Terra escavada

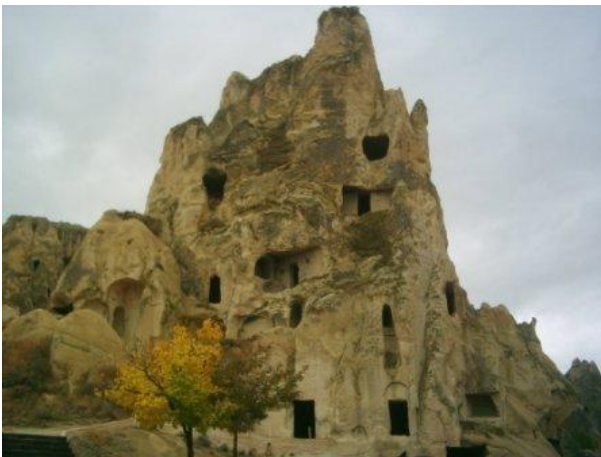
Neste método a construção é feita a partir de um local que apresente estrutura do solo resistente para poder ser escavado e não sofrer deformações, podendo ser utilizado na forma de escavações subterrâneas (Figura 6), ou em forma de grutas em montes sobre a superfície (Figura 7) (FERREIRA, 2012).

Figura 6 – Construção na forma vertical pelo método de terra escavada



Fonte: Melo (2011)

Figura 7 – Construção na forma horizontal pelo método de terra escavada



Fonte: Mikasmi (2009)

Este método depende muito do local para ser utilizado, com preferência em locais que não apresentem água subterrânea, e que apresentem resistência do solo considerável, para poder escavar e que o solo no entorno não gere deformações.

### **2.3.1.2 Terra plástica – Pau-a-pique**

Neste método construtivo é utilizada a terra bastante úmida. Um dos pontos negativos deste método é a retração, que acontece por causa do excesso de água. O método da terra plástica ou pau-a-pique, diferente das demais técnicas, serve apenas como elemento de vedação, não suportando nenhuma carga aplicada pela

edificação, com isso, sempre será aplicado em conjunto com outro método, como por exemplo a estrutura em madeira (OLENDER, 2006).

Ainda de acordo com Olender (2006), o método do pau-a-pique consiste em uma trama vertical de algum material, como ripas de madeira ou uma trama de bambu, no método mais usual. Essa trama serve de estrutura para fixar a terra úmida com palha, essa mescla (trama de madeira ou bambu com terra crua e palha), forma o pau-a-pique (Figura 8 e Figura 9).

Figura 8 – Trama utilizada para estrutura do pau-a-pique.



Fonte: Olender (2006)

Figura 9 – Execução do método pau-a-pique.



Fonte: Site ARQAR – Arquitetura e Construção Civil<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<http://arqrodriguedes.blogspot.com.br/2016/02>> Acesso em jun. De 2017

Ainda de acordo com Olender (2006), a mescla deve possuir uma relação entre areia, argila e silte que possa acompanhar a dilatação natural da madeira sem ocasionar fissuras. A aplicação da mescla sobre a trama é feita manualmente, com duas pessoas juntas, uma em cada lado da parede, pressionando a mescla contra a trama de baixo pra cima, destaca Olender (2006). As fibras colocadas na terra são de total importância para diminuir a fissuração da trabalhabilidade da mescla.

O método de pau-a-pique como é conhecido popularmente, possui função apenas de vedação, não podendo ser utilizado como estrutura autoportante. É muito utilizado em áreas pobres do Brasil, onde a única matéria prima é a terra crua e pedaços de madeira. Mas também pode ser utilizado em construções de acabamento mais nobre, conforme Figura 10.

Figura 10 – Residência feita em pau-a-pique, São Paulo.



Fonte: Site Casa Abril<sup>3</sup>

### 2.3.1.3 Terra empilhada

Também conhecido como método COB, é um tipo de construção sem utilização de moldes ou fôrmas, ou seja, o material é “empilhado” e a própria consistência do material se auto sustenta até a sua cura, conforme afirmam Watson

---

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://casa.abril.com.br/casas-apartamentos/um-refugio-de-pau-a-pique/>>, Acesso em jun. De 2017

e McCabe (apud Santos, 2015). De acordo com Santos (2015), a sua mescla para uma boa consistência, deve ter uma porcentagem de material arenoso em torno de 85% e 15% de argila. Vale salientar que cada localidade possui material diferente na sua composição geológica, assim é preciso fazer alguns testes práticos para verificar a porcentagem de cada elemento na sua composição.

Neste método construtivo é possível ter mais liberdade na execução, sendo que para construções que necessitam apresentar algum detalhe artístico na sua estrutura, o método COB apresenta grande vantagem. Pode-se analisar na Figura 11 e Figura 12, que o nível de detalhes arquitetônicos mesclados com visual artístico é predominante neste método.

Figura 11 – Edificação executada pelo método COB.



Fonte: Jensen et al. (2012)

Figura 12 – Residência executada pelo método COB.



Fonte: Site Natural Homes<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Disponível em: <<http://naturalhomes.org/cobcottage.htm>>, Acesso em jun. de 2017.



#### 2.3.1.4 Terra prensada – taipa de pilão.

Esta técnica conhecida também como taipa de pilão consiste em solos mais arenosos com alguns agregados mais graúdos e, neste método, a terra é compactada entre fôrmas de madeira. A técnica denominada taipa de pilão é uma das mais antigas conhecidas. Minke (2005) salienta que se tem registros de elementos construtivos com essa técnica com mais de 5000 anos.

Na Figura 13 apresenta-se uma igreja construída por escravos pelo método de taipa de pilão, com data entre 1732 e 1736, localizada no estado de Goiás (BAYER, 2010).

Figura 13 – Igreja executada pelo método taipa de pilão.



Fonte: Bayer (2010)

Na Figura 14, apresenta-se uma edificação, localizada na Inglaterra com 5 pavimentos, toda em taipa de pilão. Exemplo clássico de que com essa técnica pode-se executar edificações com mais de 02 pavimentos (BAYER, 2010).

Figura 14 – Edifício residencial com 5 pavimentos, feito com método taipa de pilão, localizada na Inglaterra.

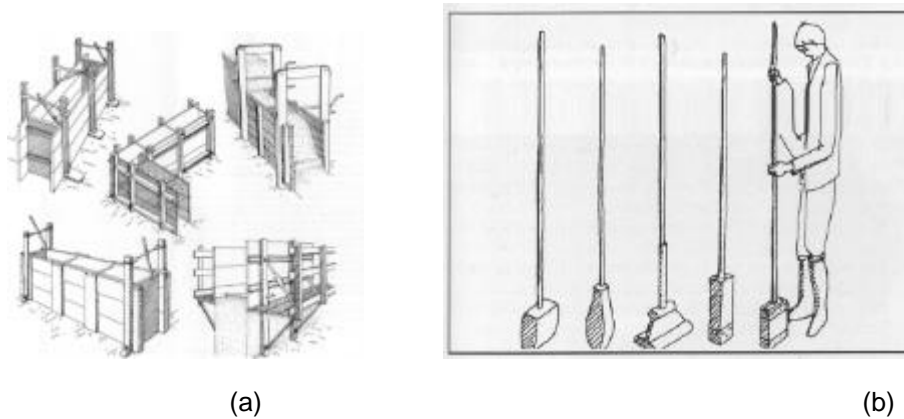


Fonte: Maniatidis e Walker (2003, apud Bayer, 2010)

De acordo com MINKE (2005), esta técnica foi muito utilizada antigamente para fazer muros, sem função estrutural. A técnica consiste em montar uma estrutura de madeira, como se fosse uma fôrma de concretagem convencional, com uma altura de 60 a 80 cm, com travessas entre as laterais para travar as fôrmas como um material único. A cada 15 cm em média é colocada a terra úmida nessas fôrmas, e então, com um equipamento manual ou pneumático, esse material é socado para ser compactado até quando não tiver mais deformação.

Logo após a compactação, podem ser desmontadas as fôrmas (Figura 15), e assim recolocando as mesmas na parte superior da parte executada anteriormente, para seguir o mesmo método, formando as paredes da altura desejável. É importante ter cuidado quando for fazer as paredes no nível acima do executado, para ficar no prumo de acordo que a carga da própria parede descarregue sem excentricidade (MINKE, 2005).

Figura 15 – Materiais para construção com a técnica taipa de pilão. (a) fôrmas para taipa de pilão. (b) socadores para compactação.



Fonte: Minke (2005)

Ainda de acordo com Minke (2005), este método em comparação aos demais métodos de construção com terra crua, obtém uma grande vantagem pela alta taxa de compactação a que é submetido o material, obtendo uma maior resistência mecânica e maior resistência contra as intempéries.

Em processos de construção, Minke (2005), notou que a cada fileira de terra compactada, a parte mais superior ficava com uma umidade diferente da camada inferior, e com isso após execução, apresentava várias fissuras pela contração da terra. Para resolver essa patologia, utilizou uma camada de cal em cada superfície final de camada, fazendo as fissuras diminuírem consideravelmente.

Na prática de execução pode-se improvisar diversos materiais que não teriam outra utilidade, para a confecção dos socadores para compactação. Por exemplo, conforme a Figura 16, foi adaptado um socador utilizando uma lata de tinta e um bastão de madeira, e chumbados com argamassa, utilizando a lata como fôrma e a argamassa com o seu próprio peso, auxiliando na compactação.

Figura 16 – Execução do método taipa de pilão.



Fonte: Site Ecocentro IPEC – Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado<sup>5</sup>

Dentre os métodos construtivos com terra crua, o método de taipa de pilão apresenta-se como sendo um dos métodos mais seguros a ser utilizado, pois neste método se utiliza fôrmas de madeira, sendo assim a compactação da terra fica com acabamento melhor e mais uniforme.

### **2.3.2 Construção com terra sob a forma de alvenaria**

Nestes métodos utiliza-se a terra sob forma de alvenaria, com fabricação prévia, para depois utilizar nas edificações. São pertencentes deste grupo oito tipos de construção com terra: blocos apilados, blocos prensados, blocos cortados, torrões de terra, terra extrudida, adobe mecânico, adobe manual e adobe moldado. Dentre os diversos tipos, os mais usuais são os métodos classificados como adobes, sendo que o adobe mecânico e o adobe moldado são praticamente iguais. A única diferença é o método de moldagem, sendo que o adobe mecânico é comprimido com uma prensa, enquanto que no adobe moldado essa etapa é feita manualmente.

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<http://www.ecocentro.org/o-ipecc/tecnologias/habitacao/taipa-de-pilao/>>, Acesso em jun. de 2017.

### Adobe prensado ou moldado:

Se obtém registros de construções com adobes localizados em diversos climas e regiões, em construções com adobe de aproximadamente 6000 anos a.C., localizados na Rússia e de 4000 anos a.C. no norte do Egito, Purpelly (1908 apud MINKE, 2005).

Segundo Oliveira (2003 apud ARAÚJO, 2009), a técnica do adobe é um método construtivo classificado nas alvenarias, sendo a principal matéria prima a terra crua. Sua fabricação consiste em amassar a terra, deixar descansar e com uma umidade ideal colocar em fôrmas de madeira (Figura 17), preferencialmente com secagem ao sol. Pode-se classificar o adobe como sendo um bloco moldado com terra crua úmida, que ocasionalmente pode ser misturado com alguma fibra natural, por exemplo a palha.

Figura 17 – Confeção de tijolos de adobe. (a) moldagem dos adobes nas fôrmas de madeira. (b) adobes secando ao sol.



(a)



(b)

Fonte: Alexandria (2006)

Ainda de acordo com Motta (2004 apud ARAÚJO, 2009), no Brasil a técnica é pouco utilizada, apesar de possuir uma gama grande de arquitetura construída com adobes (Figura 18). Já nos Estados Unidos, possuir uma residência construída com adobe é sinal de status perante a sociedade, e já possui normas para tal método sendo formuladas.

Figura 18 – Casas antigas em adobe, Piauí.



Fonte: Alexandria (2006)

Para confecção dos adobes, deve-se utilizar sempre a matéria prima existente mais próximo do local, caso contrário, dependendo da distância a ser trazido o material, inviabiliza a execução da edificação. Minke (2005) argumenta que deve-se utilizar a terra localizada abaixo da profundidade de 30 a 40 cm da superfície. Por conter muito material orgânico, que para construção não é aconselhável, não utiliza-se este solo superficial.

A granulometria do solo utilizado é totalmente proporcional à qualidade final do adobe, a relação areia/argila deve ser elevada e deve ter pouco material graúdo, segundo Motta (2004 apud ARAÚJO, 2009). Com a quantidade de areia elevada, aumenta a resistência do adobe, e a proporção de argila menor, como forma de unir os grãos de areia.

Entre as técnicas de construção com terra, o método com adobes aparenta ser o mais utilizado. A similaridade com os blocos cerâmicos convencionais pode ser um fator. A construção com adobes é considerada umas das técnicas com melhor acabamento. Conforme a Figura 19, pode-se notar que a aparência da construção possui características semelhantes a construções com tijolos convencionais a vista.

Figura 19 – Construção com adobes, pela empresa BIOhabitate .



Fonte: Site BIOhabitate<sup>6</sup>

Ainda na Figura 19 pode-se notar a beleza de uma edificação construída com adobes. Essa em questão possui 400 m<sup>2</sup> de construção, e foi projetada e executada pelos arquitetos Bruno Azevedo e Flávio Duarte, proprietários da empresa BIOhabitate.

### **2.3.3 Construção com terra sob a forma de enchimento de algum material de suporte**

Neste método, utiliza-se a terra sob forma de preenchimento de algum material, sendo que a terra é utilizada para ser complementação de vazios. Os métodos utilizados nesta classificação são os seguintes: terra de recobrimento, terra sobre engrado, terra palha, terra de enchimento e cobertura em terra (para telhados verdes<sup>7</sup>).

Os métodos citados anteriormente não são muito utilizados atualmente, mas além destes citados pela CRATerre, foram criados outros métodos com características específicas. Os métodos apresentados nos capítulos 2.4 e 2.5 assemelham-se por uma única característica: usar algum tipo de saco e encher com terra crua e úmida.

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.biohabitate.com.br/portifolio/casa-estrela/>>, Acesso em jun. de 2017.

<sup>7</sup> Coberturas verdes são geralmente telhados no qual é introduzido algum tipo de vegetação em um determinado substrato, geralmente terra.

## 2.4 Superadobe

O superadobe foi criado em 1984, quando a Agência Aeroespacial Norte Americana (NASA) reuniu arquitetos e engenheiros com o intuito de criar um método eficiente para se construir na lua. O fundador do superadobe foi o arquiteto iraniano Nader Khalili, que conseguiu criar um modelo construtivo para ser implantado na Lua sem ter que levar grande quantidade de material, e sim utilizar o próprio material do local. (Manual de Técnicas Construtivas – Ecoalodamontanha<sup>8</sup>).

O termo superadobe se relaciona ao método construtivo com adobe, pois a mistura da terra utilizada neste método possui praticamente as mesmas características. Mas na sua execução, o método se assemelha com o de taipa de pilão, pela presença da compactação (DUARTE & AZEVEDO, 2016).

As fundações para este método são feitas do próprio material, quando o solo for apropriado para isso, neste caso é utilizada a mistura de terra com cimento e algum impermeabilizante, para maior resistência de carga e maior resistência com a água. Geralmente escava-se uma vala da largura do saco do superadobe, com aproximadamente 40 a 45 cm. Dependendo do porte da edificação e do tipo do solo, é indicada a execução de fundações convencionais conforme os outros métodos construtivos (PROMPT, 2008).

O superadobe é uma técnica que utiliza um tipo de saco específico, com formação plástica, conhecido popularmente de rafia. Com a utilização deste saco, que é fabricado em rolos, conforme a execução das paredes, vai enchendo o saco com terra crua úmida. Após encher o saco, a parede precisa ser compactada com um socador (Figura 20). Para cada linha de rolo é colocado arame farpado para criar aderência entre as linhas de superadobe, para que as mesmas não deslizem entre si (Figura 21) (HINNING & SAAD, 2015).

---

<sup>8</sup> Disponível em: <Permacultura – Técnicas construtivas – [www.ecoviladamontanha.org](http://www.ecoviladamontanha.org)>



Figura 20 – Pilão para compactação das fiadas de superadobe.



Fonte: Site Jardim do Mundo<sup>9</sup>

Figura 21 – Colocação de arame farpado para junção das fiadas.



Fonte: Site Jardim do Mundo<sup>9</sup>

O superadobe se resume em encher um saco contínuo de terra corrigida, ou seja, quantidade certa de terra argilosa e arenosa, na faixa de 50% para cada, e adicionar um pouco de água nessa mistura. Em locais muito úmidos, é adicionado um pouco de cimento para a mescla poder secar. Como pode-se ver na Figura 22, para maior controle durante a execução das paredes, é utilizado um cavalete de madeira, com um pedaço de cano de PVC de 25 ou 30 cm de diâmetro, no qual se prende o saco. Conforme se vai preenchendo o saco, o cano vai sendo solto. (DUARTE; AZEVEDO, 2016).

<sup>9</sup> Disponível em: <<http://www.jardimdomundo.com/veja-como-construir-uma-casa-em-superadobe-passo-a-passo-com-fotos/>>, Acesso em jun. de 2017.

Figura 22 – Cavalete para execução das fiadas no método de superadobe.



Fonte: Site Jardim do Mundo<sup>9</sup>

Na Figura 23 pode-se observar uma construção sendo erguida pelo método de superadobe, com os marcos de janelas e portas locados. Conforme os autores citaram, com método adequado chega a um resultado satisfatório para edificações.

Figura 23 – Edificação sendo executada pelo método de superadobe.



Fonte: Site Autoconstrução Sustentável<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> Disponível em: <<http://mcmvconstrucao.blogspot.com.br/2016/02/hiperadobe-x-superadobe.html>>, Acesso em nov. de 2017.

## 2.5 Hiperadobe

Relativamente parecida com o método de superadobe citado anteriormente, o método de hiperadobe foi criado a partir da técnica do superadobe, que consiste em construir enchendo sacos de algum material com terra crua úmida. De acordo com Santos (2015), com a dificuldade e limitações encontradas no método de superadobe, o Engenheiro Civil Fernando Pacheco, criou uma nova adaptação, o hiperadobe, que consiste em utilizar o mesmo procedimento do superadobe, mas, com a substituição do saco de polipropileno (rafia) por um saco de polietileno de alta densidade com malha Raschel (PEAD).

O método de hiperadobe acaba sendo mais prático e sustentável do que o superadobe, pois conforme pode-se observar na Figura 24, a malha Raschel não é fechada completamente, ou seja, a malha é uma trança aberta, vazada, assim, diminuindo o custo consideravelmente entre um material em comparação ao outro. Outro ponto importante é a ausência do arame farpado entre as fiadas, pois a própria textura do saco, juntamente com o peso próprio, são suficientes para as paredes ficarem estáveis, conforme afirma Geiger (2011, apud SANTOS, 2012).

Figura 24 – Saco inferior de superadobe e saco superior para hiperadobe.



Fonte: Geiger (2011, apud SANTOS, 2012).

Basicamente, a diferença entre os métodos é o tipo de sacaria utilizada. A Tabela 2 apresenta um resumo sobre os tipos de técnicas.

Tabela 2 – Resumo explicativo dos tipos de sacarias.

Sacaria	Individuais	Contínuos
Polipropileno tecido	Terra ensacada 	"Superadobe" 
Malha Raschel	"Brickeradobe" 	"Hiperadobe" 

Fonte: Santos; Librelotto; Hoffmann (2014, apud SANTOS, 2012).

De acordo com Hunter e Kiffmeyer (2004), as principais vantagens das construções com terra ensacada, são: a ausência de palha; o fato de não necessitar secar as camadas inferiores para continuar a elevação das paredes; no caso do hiperadobe não necessita a utilização de arame farpado; e em regiões que possuam solo adequado, pode-se utilizar as fileiras de hiperadobe como fundações, paredes e a própria cobertura (Figura 25). De acordo com Santos (2012), as principais desvantagens desse método são a grande quantidade de terra com as mesmas características, a grande necessidade de mão de obra, pois se trata de uma técnica bastante manual, e a perda de espaço em terrenos pequenos, pois a projeção das paredes ocupa bastante espaço.

Figura 25 – Construção com paredes e cobertura com método de hiperadobe.



Fonte: Hunter e Kiffmeyer (2004).

### Resistência à compressão em paredes estruturais de hiperadobe

Em paredes de hiperadobe e de superadobe, o material deve suportar cargas de compressão adequadas para suportar o peso da parede que será aplicada sobre ele. Como esses métodos são executados com uma mescla de terra e areia compactada e possuem na faixa de 40 cm de largura, o peso total de uma parede com altura entre 2,60 m e 3,00 m é consideravelmente alto, variando de 1800 kgf à 2.400 kgf em um metro linear de parede, portanto é necessário que as fiadas tenham uma boa resistência mecânica à compressão.

Pela grande necessidade de ter algo mais comprovado sobre a compressão do hiperadobe, Duarte e Azevedo (2016), com um estudo de caso, em experimento prático com paredes de hiperadobe, conseguiram atingir uma resistência à compressão relativamente alta para tal método, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de resistência à compressão pelo experimento de Duarte e Azevedo, 2016.

Discriminação	cimento:areia:terra (proporção em volume)	Resistência à compressão (MPa)	
		7 dias	28 dias
Amosta I (massará)	1:4:4	3,3	3,4
Amostra II (piçarra)	1:6:2	4,3	4,5

Fonte: DUARTE e AZEVEDO (2016)

O experimento para compressão foi realizado no local real da edificação, sendo feitos corpos de prova em duas fiadas de hiperadobe, com a terra corrigida com areia e cimento para estabilização. Os corpos de prova foram cortados e adaptados para poder fazer o experimento na prensa. Para isso, foi feita uma capa de argamassa de cimento e areia para ficar plano com a bandeja da prensa (Figura 26), Duarte e Azevedo (2016).

Figura 26 – Corpos de prova na prensa. (a) capeamento de argamassa. (b) corpo de prova na prensa.



(a)



(b)

Fonte: DUARTE e AZEVEDO (2016)

Ainda segundo Duarte e Azevedo (2016), pelo experimento com duas amostras de mesclas, tanto em 7 dias como em 28 dias de cura, foram obtidos valores de acordo com as normas existentes similares ao método. De acordo com a norma africana para construções de paredes pelo método de taipa de pilão (SADCSTAN, 2014), são exigidas resistências de 1,5 MPa para edificações de um pavimento e 2,0 MPa para edificações de dois pavimentos. Pela norma brasileira sobre tijolos de solo/ cimento, NBR 8491 (2012) da ABNT, são exigidas resistências acima de 1,7 MPa.

Para ambas as normas, pode-se salientar que o experimento obteve resultado satisfatório, por estar superior aos dois métodos, salienta Duarte e Azevedo (2016).

### 3 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo destina-se a uma série de edificações em construção situadas em um local arborizado na cidade de Guaporé – RS, denominado Cidade Escola Ayni. O projeto tem o intuito, depois de finalizado, de ser uma escola para crianças, com práticas complementares àquelas fornecidas na rede de ensino, como artes, música, teatro, astronomia, cultivo de alimentos, entre outras.

O projeto teve início há aproximadamente dois anos, pelo fundador Thiago Berto<sup>11</sup>, que conseguiu direito de uso de uma área arborizada na área urbana de Guaporé – RS, para ser implantada a Cidade Escola Ayni (Figura 27).

Figura 27 – Entrada da Cidade Escola Ayni.



Fonte: do autor

---

<sup>11</sup> Thiago Berto – jovem que abandonou a vida de empresário bem sucedido para trabalhar de voluntário no Butão, a partir dessa mudança, fez uma travessia de moto entre o Alasca até o Uruguai, visitando projetos e escolas com o mesmo princípio que ele gostaria de implantar na Cidade Escola Ayni.

As edificações da escola estão sendo executadas pelo método de hiperadobe, método classificado como bioconstrução, pois utiliza a terra crua como matéria prima. As edificações no início tiveram outro método de construção, não aplicado mais atualmente, o qual era uma mescla de terra local, sem correção com areia ou cimento. Quando essa mescla secava, apresentava muita retração e conseqüentemente grande número de fissuras, e pela alta taxa de umidade do local, grande parte das paredes executadas por este método não secava, assim não adquirindo resistência.

Atualmente é utilizada uma mescla corrigida, com terra argilosa local, areia e cimento, que a partir de testes práticos para definir a quantidade de terra, areia e cimento, foi estipulado um traço ideal para o local, mas sem conhecimento da resistência real do material. Vale salientar que o traço ideal é específico para cada localidade, pois a terra crua como matéria prima se diferencia de um local para outro.

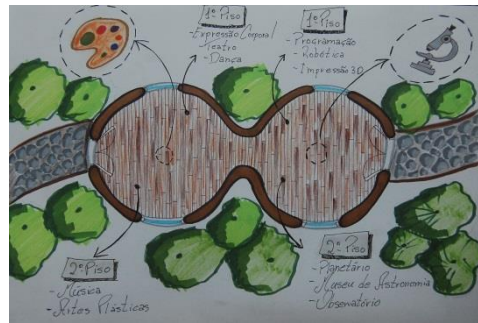
A escolha pelo método de hiperadobe ocorreu também pelo conceito das construções. Pelo fato do projeto estar sendo executado dentro de uma área arborizada e preservada do município de Guaporé – RS, o local possui grande quantidade de árvores de grande porte, com isso, optou-se em fazer as construções nos espaços livres que o local possui. Com essa atribuição para as construções, optou-se pelo método de hiperadobe, por ser uma técnica adequada para trabalhar com construções arredondadas, sendo assim, obedecendo o formato da área em questão. Na Figura 28 pode-se observar os croquis das construções.



Figura 28 – Croquis das edificações. (a) pousada. (b) sala de aula. (c) hostel. (d) local de convenções. (e) e (f) restaurante.



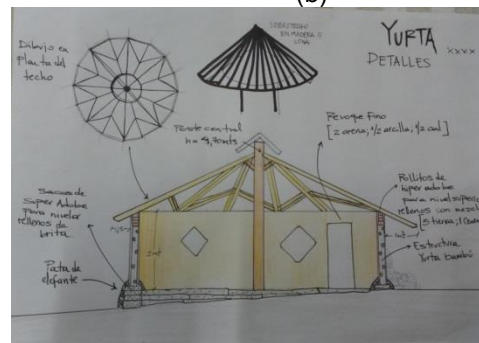
(a)



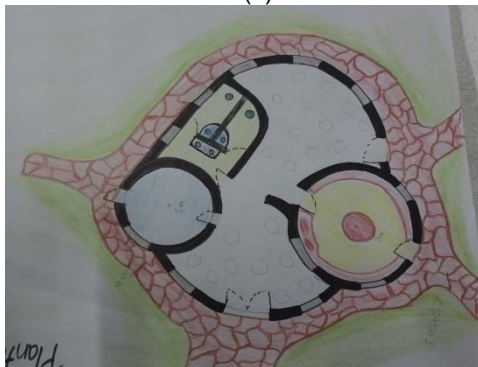
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: do autor

### 3.1 Sistemas utilizados

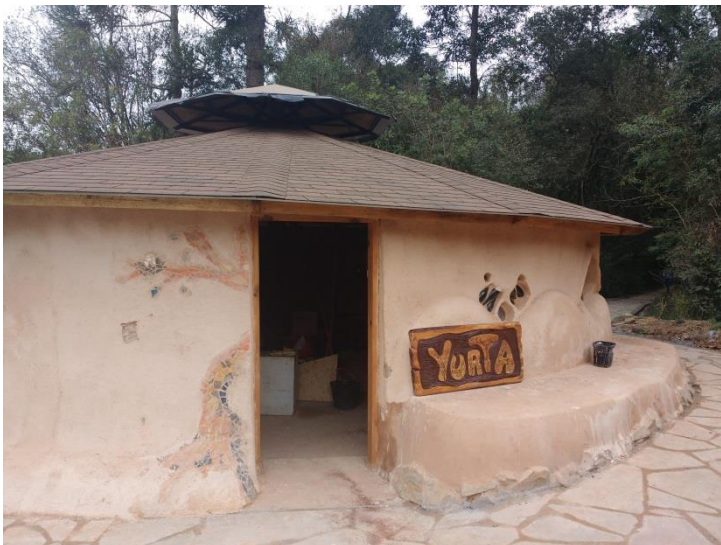
Além do método de hiperadobe, foi executado como prática de ensino vários outros métodos de construção com terra, como o método de cordwood, (método que utiliza pedaços uniformes de troncos de madeira e como preenchimento e junção entre os troncos é utilizado uma mescla de terra e palha) (Figura 29), COB, pau-a-pique (Figura 30), reboco com terra e palha e taipa de pilão. Estes sistemas que foram executados fizeram parte de uma gama de cursos que a Escola forneceu e foram executados com o intuito de prática dos cursos. Hoje estas edificações seguem sendo utilizados para diversas funções.

Figura 29 – Construção com método cordwood.



Fonte: do autor

Figura 30 – Construção com método pau-a-pique.



Fonte: do autor

### 3.2 Materiais

Os materiais utilizados para execução no local são descritos a seguir:

#### 3.2.1 Terra crua

A terra crua utilizada para a construção das edificações pelo método de hiperadobe é adquirida nas empresas locais de terraplanagem, pois se consegue uma quantidade considerável de terra por um custo baixo para o projeto.

A terra que é utilizada contém praticamente argila e silte, portanto sendo necessária a adição de areia na composição para viabilizar e poder utilizar posteriormente no hiperadobe. Cada carga de terra possui algumas propriedades diferentes, mas geralmente a terra que é utilizada contém predominância em argila, pois toda a terra utilizada é proveniente da própria cidade.

Para uma boa mescla para construção com hiperadobe é necessário possuir 50% a 60% de areia, neste caso, é necessário a aquisição de areia para poder fazer a mescla ideal. Além da falta de areia no solo local, as edificações estão localizadas em um ambiente que possui alto nível de umidade, sendo esse fator um grande empecilho para construções com terra crua, pois a mescla só cria resistência com o material compactado seco.

Devido ao fator relacionado à umidade do local, está sendo utilizada uma pequena porcentagem de cimento, na proporção de 1:10 em volume, sendo 01 parte de cimento para 10 partes de terra corrigida<sup>12</sup>. É com essa mescla que as edificações estão sendo erguidas, já que apresentaram resultados favoráveis, como por exemplo a cura do material, a rigidez das paredes e a baixa presença de fissuras. Para ser definida essa mescla, foram feitos testes com outros traços, além da realização de testes sem a presença de cimento, o qual foi descartado, pois a mescla não endurece completamente. Já as mesclas com o traço de 1:10 secam na faixa de 24 a 48 horas.

### **3.2.2 Sacaria (local para armazenar a terra crua)**

Como citado no referencial bibliográfico, o método de hiperadobe se resume em adicionar uma mescla de argila e areia dentro de um material de armazenagem, ou seja, em sacos. Estes sacos são chamados de Raschel e são adquiridos em

---

<sup>12</sup> Terra corrigida seria o termo utilizado para a mescla com 50% de solo argiloso local e 50% de areia.

rolos de 1000 metros e com 40 cm de largura, conforme Figura 31. Como as paredes são erguidas em fiadas, se utiliza a metragem de saco conforme a linha que será executada. Estes sacos não são fechados completamente, favorecendo a aplicação do revestimento de terra posteriormente. O material que estes sacos são produzidos é o polietileno.

Figura 31 – Malha Raschel em rolo de 1000 metros.



Fonte: do autor

### 3.2.3 Compactador

Após a mescla ser adicionada e ajustada sobre a fiada inferior, vem a etapa de compactação. Neste caso é utilizado um compactador manual (pilão), produzido artesanalmente no próprio local (Figura 32). O compactador possui uma base de madeira com sua face inferior plana, e um cabo acoplado a ele para o executor poder compactar a fiada até que a mesma não obtenha mais deformação. Neste ponto atinge-se a compactação ideal do método.

Figura 32 – Compactador



Fonte: do autor

Não é indicada uma compactação muito intensa, pois a partir de determinado momento, uma compactação mais intensa pode romper o saco.

### 3.2.4 Fiadas<sup>13</sup>

Com a execução da mescla dentro dos sacos e com a compactação adequada, as paredes de hiperadobe são erguidas em fiadas. As fiadas são dimensionadas a partir da largura do saco, neste caso com 40 cm de largura, e atingem uma altura variável entre 10 e 15 cm, conforme a compactação (Figura 33).

---

<sup>13</sup> Fiadas – nomenclatura utilizada para descrever uma parcela da parede, ou seja, uma linha de hiperadobe.

Figura 33 – Fiadas de hiperadobe. (a) fiadas executadas para muro de arrimo. (b) fiadas executadas em uma edificação.



(a)

(b)

Fonte: do autor

No método de hiperadobe não é necessária a adição de nenhum elemento entre fiadas, pois a própria textura do saco consegue criar atrito adequado para as fiadas ficarem estáveis e seguras.

### 3.3 Acompanhamento

As decisões sobre os métodos construtivos além das decisões perante as edificações no geral são determinadas pela equipe responsável pela bioconstrução da Cidade Escola Ayni. O responsável pela equipe da bioconstrução é o Sr. Rodrigo Rosa<sup>14</sup>, que é quem define as funções do restante da equipe, determina as funções dos voluntários do projeto<sup>15</sup>, além de ser o responsável por executar todas as edificações.

<sup>14</sup> *Rodrigo Rosa* – Mestre de obras e responsável pelas edificações, Rodrigo tem especialidade e experiência em métodos construtivos convencionais e em métodos de bioconstrução.

<sup>15</sup> *Voluntários* - A Cidade Escola Ayni recebe a cada 15 dias um grupo de 4 a 6 voluntários, que recebem local de hospedagem e alimentação, e ajudam nas funções diárias da Escola.

As edificações possuem também um responsável técnico legal das obras, o Sr. Duarte Francisco Rattova<sup>16</sup>, que por forma de doação, faz o acompanhamento das edificações e determina a parte estrutural que será executada. Para acompanhamento inicial do método construtivo, o projeto recebeu, e recebe ainda hoje assessoria de dois arquitetos, o Sr. Bruno Azevedo<sup>17</sup>, e o Sr. Flávio Duarte<sup>18</sup> que são proprietários da empresa BIOhabitata<sup>19</sup>, e um dos pioneiros do método de hiperadobe no Brasil. Já executaram edificações em todo o país, além de aplicarem cursos sobre métodos construtivos na área de bioconstrução.

---

<sup>16</sup> *Duarte Francisco Rattova* – Engenheiro Civil formado pela Universidade Do Vale Do Rio Dos Sinos - UNISINOS , e com Mestrado em Engenharia nas áreas de infraestrutura e meio ambiente, pela Universidade de Passo Fundo – UPF, com mais de 15 anos de experiência, proprietário da empresa Puma Engenharia Ltda. - ME.

<sup>17</sup> *Bruno Azevedo* - Bruno Aluizio dos Santos Azevedo é Arquiteto, Urbanista e Bioconstrutor. É Diretor Executivo da BIOhabitata – Saúde Ambiental e Arquitetura Viva.

<sup>18</sup> *Flavio Duarte* - Flavio Pereira Dias Duarte é Arquiteto, Urbanista, Bioconstrutor e Geobiólogo. É o fundador e Diretor Executivo da BIOhabitata – Saúde Ambiental e Arquitetura Viva em Belo Horizonte (MG).

<sup>19</sup> *BIOhabitata* – Saúde Ambiental e Arquitetura Viva é uma empresa especializada na Salubridade e Sustentabilidade dos ambientes construídos e naturais. Empresa com foco nas ações no bem estar, conforto, inovação e saúde integral de seus clientes, colaboradores e principalmente do meio ambiente, com mais de 10 anos de atuação.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tendo como objetivo principal a avaliação sobre a resistência mecânica à compressão do hiperadobe, o presente programa experimental foi desenvolvido a partir da seleção dos materiais e métodos a serem empregados. Para o programa experimental foi escolhido a moldagem de 36 corpos de prova, divididos em 3 grupos, e que em cada grupo fosse modificado a porcentagem de areia e solo, mantendo a quantidade de cimento Portland e a umidade. Posteriormente os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias.

O presente trabalho foi desenvolvido em algumas etapas específicas, não sendo levado em consideração métodos normatizados para moldagem dos corpos de prova, compactação, umidade do material e dimensões dos corpos de prova. Posteriormente com essas considerações atribuídas, foi executada a etapa de formular um método para poder moldar o material. Após algumas tentativas sem resultados positivos, foi definido um método com fôrmas de madeira, sendo possível a sua moldagem, compactação e a retirada das fôrmas, para os corpos de prova atingirem a cura para os períodos estabelecidos.

Para poder ter algum parâmetro em relação ao método utilizado atualmente nas construções da Cidade Escola Ayni, foram estabelecidas duas alterações da mescla utilizada atualmente, conforme Tabela 4.



Tabela 4 – Relação dos corpos de prova.

<b>Descriminação</b>	<b>Traço (areia:solo:cimento)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Idades de resistência a compressão</b>
Mescla 01 (referência)	5:5:1	12 unidades	7, 14, 21 e 28 dias
Mescla 02 (variação)	7:3:1	12 unidades	7, 14, 21 e 28 dias
Mescla 03 (variação)	3:7:1	12 unidades	7, 14, 21 e 28 dias

Fonte: Do autor

#### **4.1 Materiais**

A relação e descrição juntamente com as caracterizações dos materiais (solo, areia, cimento e água) utilizados no programa experimental estão relacionados nos itens a seguir.

##### **4.1.1 Solo**

Para a realização dos ensaios deste trabalho, foi utilizado o solo da cidade de Guaporé – RS, o mesmo que está sendo utilizado na Cidade Escola Ayni. Para iniciar a caracterização do material, primeiramente foi utilizada uma peneira grossa para eliminar restos de materiais orgânicos maiores e materiais similares. O solo sempre é peneirado em uma peneira grossa antes de ser utilizado no local de estudo. Conforme a Figura 34 e Figura 35 pode-se notar o solo inicial e o solo peneirado.

Figura 34 – Solo inicial sendo peneirado.



Fonte: do autor

Figura 35 – Solo peneirado.



Fonte: do autor

#### **4.1.1.1 Teor de umidade do solo**

Após passar todo material pela peneira grossa, foi submetido à estufa para poder realizar os ensaios de caracterização adequados. O processo de secagem em estufa é de total importância, para determinar a porcentagem de água existente no material, para posteriormente poder adicionar a água de acordo na mistura final, além de fazer os ensaios de caracterização adequadamente. O solo foi colocado em

estufa pelo período de 4 dias até a constância da massa. Na Figura 36 apresenta a amostra úmida em uma porção de 1000 gramas, e na

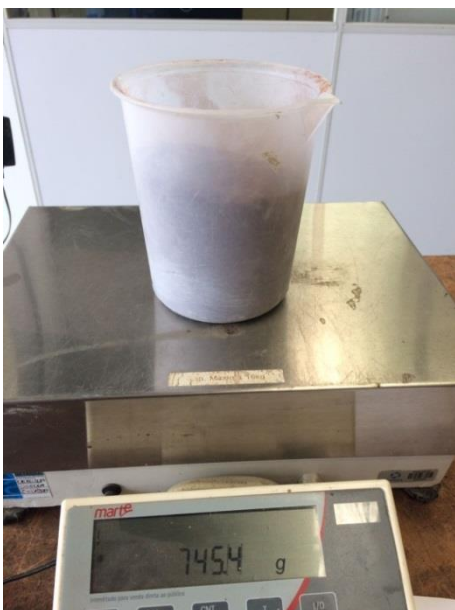
Figura 37 a amostra seca com 745,4 gramas, ou seja o teor de umidade do solo era de 34,16 %.

Figura 36 – Amostra úmida do solo.



Fonte: do autor

Figura 37 – Amostra seca após 4 dias em estufa.



Fonte: do autor

#### 4.1.1.2 Granulometria por peneiramento do solo

O processo de granulometria de um agregado consiste na passagem de uma determinada massa conhecida, em uma série de peneiras. Conforme a passagem do material em cada tamanho de peneira, é contabilizada a massa retida e, com a passagem do material em todas peneiras, é possível identificar diversos parâmetros e classificação do agregado. O método de ensaio de caracterização por granulometria por peneiramento é estabelecido pela NBR 7181/2017 da ABNT, e as características e definições em relação as peneiras são estabelecidas pela NBR 5734/1989 da ABNT.

Para a caracterização do solo deste estudo foi utilizado uma gama maior de peneiras (Figura 38), para poder estabelecer um resultado em relação a granulometria do material mais completo. Para o ensaio, foi utilizado 1000 gramas do solo após ser submetido a secagem em estufa, estando totalmente seco, foi feito o ensaio e registrado a massa retida em cada peneira, para posteriormente ser feito a classificação do solo e obter a sua curva granulométrica.

A relação de peneiras, bem como a relação das massas retidas em cada peneira, juntamente com o diâmetro máximo e módulo de finura estão discriminados na

Tabela 5, juntamente com a curva granulométrica do solo (Gráfico 1).

Figura 38 – Série de peneiras para o ensaio de granulometria do solo.



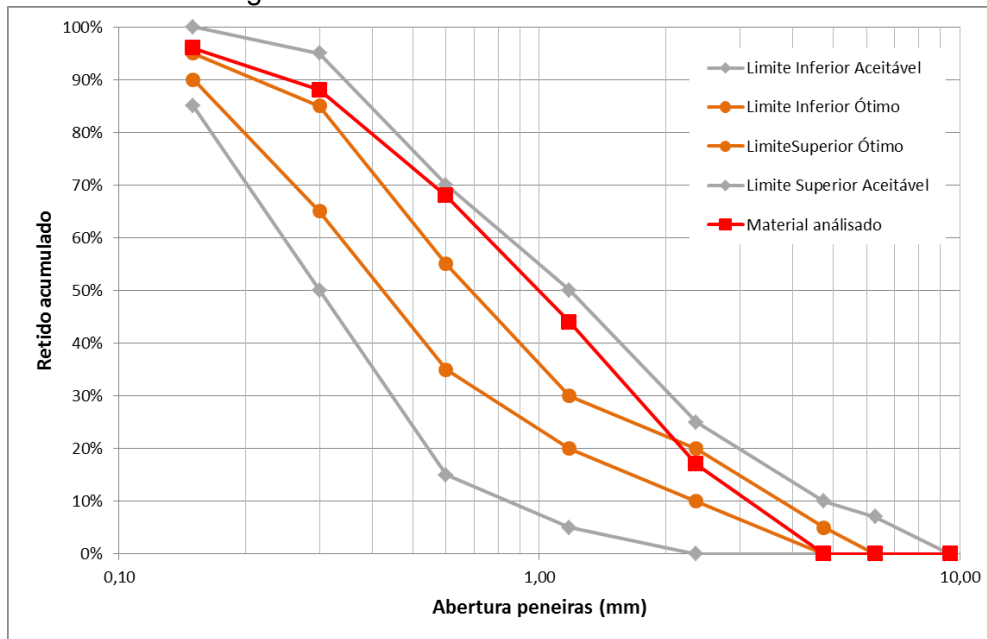
Fonte: do autor

Tabela 5 – Ensaio de granulometria do solo.

<b>Ensaio de granulometria do Solo</b>			
#Malha (mm)	Massa retida (g)	%	% Acumulada
4,75	1,1	0	0
2,36	165,3	17	17
2,00	53,9	6	22
1,18	214	22	44
0,85	86,3	9	53
0,600	144,5	15	68
0,425	87	9	77
0,300	114,3	12	88
0,250	28,8	3	91
0,180	32,1	3	95
0,150	12,2	1	96
0,075	31,2	3	99
FUNDO	8,9	1	100
	979,6	100	
DMC			4,75
MF			3,14

Fonte: do autor

Gráfico 1 – Curva granulométrica do solo



Fonte: do autor

#### 4.1.1.3 Limite de liquidez

Conforme a NBR 6459/2016 da ABNT, o limite de liquidez é a quantidade de umidade que o solo apresenta entre o estado líquido e plástico e é obtido através do ensaio de Casagrande (Figura 39). Neste ensaio na qual se utiliza o solo úmido em uma espécie de concha metálica, com uma ranhura no meio e o limite de liquidez é identificado quando a ranhura fecha com 25 golpes. Para a realização do ensaio de caracterização é feito o ensaio com diversos teores de umidade e identificar ser qual porcentagem de umidade que o solo fecha com 25 golpes.

Figura 39 – Aparelho de Casagrande utilizado para ensaio do Limite de liquidez do solo utilizado.



Fonte: do autor

Para a realização do ensaio com o aparelho de Casagrande (Figura 40), é necessário utilizar uma massa conhecida que passa na peneira #40 (0,425 mm), neste caso foi utilizado 300 gramas do solo passante nesta peneira. Também foi utilizada a amostra com secagem em estufa prévia conforme indica o item 4.2 da NBR 6459/2016. Foram utilizadas 6 amostras para identificar a porcentagem referente ao limite de liquidez do solo.

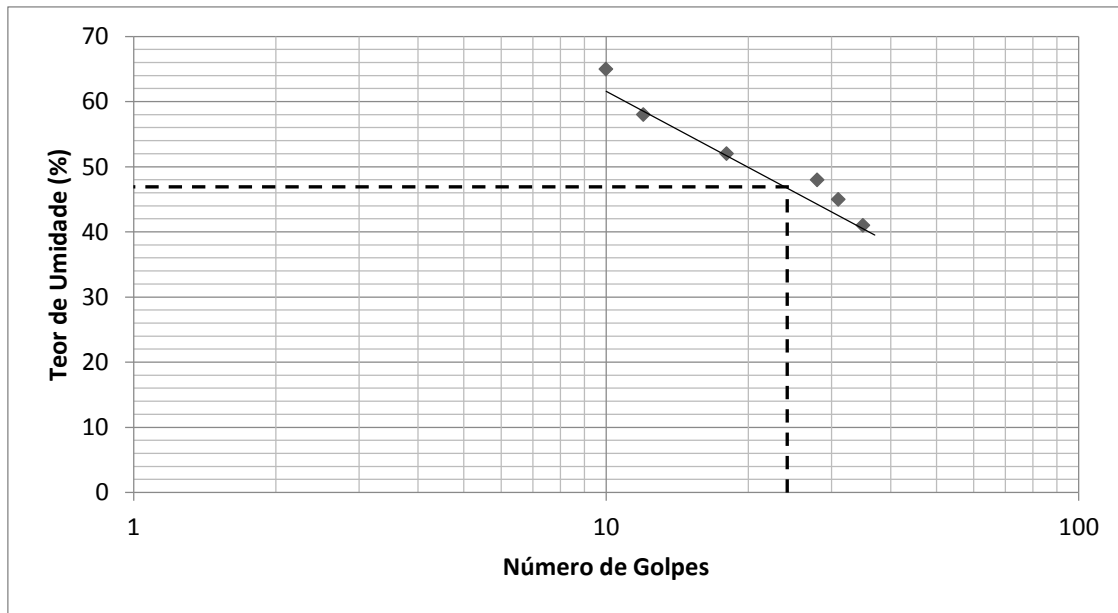
Figura 40 – Solo submetido ao teste com a ranhura aberta inicialmente.



Fonte: do autor

Com os resultados obtidos foi gerado um gráfico (Gráfico 2), para identificar a porcentagem de umidade referente ao limite de liquidez do solo, com base nos 25 golpes pelo Aparelho de Casagrande. Com base no gráfico gerado com as 6 amostras do solo, foi estabelecido o Limite de Liquidez do solo de 47%.

Gráfico 2 – Limite de Liquidez (LL).



Fonte: do autor

#### 4.1.1.4 Limite de plasticidade

Conforme a NBR 7180/2016 da ABNT, o limite de plasticidade é a quantidade de umidade que o solo apresenta antes de ser quebradiço. Para sua determinação é necessário seguir o procedimento da moldagem de um cilindro de solo sobre uma base plana lisa, geralmente de vidro. Se utiliza algumas amostras de solo com diferentes teores de umidade, com objetivo de moldar um cilindro de 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro, apresentando algumas fissuras, neste caso é estabelecido o limite de plasticidade.

Para a realização do ensaio para a caracterização do solo deste trabalho foi utilizado 3 amostras do solo com material passante na peneira #40 (0,425 mm). A



Tabela 6, apresenta os teores de umidade para a caracterização do limite de plasticidade. (

Figura 41 e Figura 42).

Tabela 6 – Relação de teores de umidade para limite de plasticidade.

<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Média</b>
Teor de umidade (%)	20,3	21,6	22,1	22,9	23,4	<b>22,06</b>

Fonte: do autor

Figura 41 – Cordão com 100 mm de comprimento, para determinação do Limite de plasticidade.



Fonte: do autor

Figura 42 – Cordão com 3 mm de espessura, para determinação do Limite de plasticidade.



Fonte: do autor

#### 4.1.1.5 Massa específica dos sólidos

Conforme a NBR 6508/1984 da ABNT, a determinação da massa específica dos grãos de solos é realizada através do picnômetro. Para este ensaio de caracterização do solo foi utilizado 300 gramas do solo seco.

O ensaio consiste na anotação da massa do picnômetro vazio, a massa do picnômetro preenchido com água e a massa do picnômetro preenchido com água e solo, sendo que a massa do picnômetro preenchido com água e solo é estabelecida após ser submetida à mesa agitadora acoplada a uma bomba de vácuo para extração de todo ar aderido às partículas do solo (Figura 43). As massas obtidas no ensaio estão especificadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Relação de valores para determinar a massa específica dos sólidos.

<b>Ensaio para massa específica dos sólidos</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Massa (g)</b>
Picnômetro	233,08
Picnômetro + Água	1226,00
Picnômetro + Água + Solo	1407,30
Solo seco	300,12
Solo úmido	402,64

Fonte: do autor

Figura 43 – Agitador do solo para caracterização em relação a massa específica do solo.



Fonte: do autor

Com a obtenção dos dados pelo ensaio do picnômetro, é possível obter a massa específica dos sólidos através da Equação 1, conforme a NBR 6508/1984 da ABNT.

Equação 1

$$\rho_s = \frac{M_1 \cdot 100 / (100 + w)}{[M_1 \cdot 100 / (100 + w) + M_3 - M_2]} \cdot \rho_{wt}$$

Conforme a realização do ensaio pela NBR 6508/1984 da ABNT, foi determinada a massa específica dos sólidos do solo em  $1,8242 \text{ g/cm}^3$  ou seja  $1.824,2 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.1.2 Areia

Para este trabalho foi utilizada a areia disponibilizada pela própria instituição de ensino. Do mesmo modo do solo, foi feito o peneiramento da mesma (Figura 44), após foi feito a secagem em estufa juntamente com o solo no período de 4 dias. Com a areia seca foi feito a sua caracterização com ensaios relacionados à massa específica dos sólidos e granulometria por peneiramento.

Figura 44 – Areia peneirada para os ensaios.



Fonte: do autor

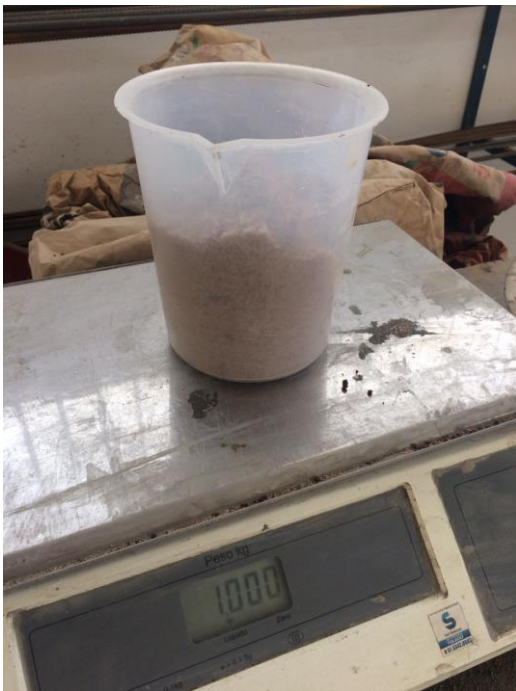
##### 4.1.2.1 Teor de umidade da areia

Após passar todo material pela peneira grossa, a mesma foi colocada na estufa para poder realizar os ensaios de caracterização adequados. O processo de secagem em estufa é de total importância, pelo fato de poder descobrir a porcentagem de água existente no material, para posteriormente poder adicionar a água de acordo na mistura final, além de fazer os ensaios de caracterização

adequadamente. A areia foi colocada em estufa pelo período de 4 dias até a constância da massa. A Figura 45 apresenta a amostra úmida em uma porção de 1000 gramas, e a

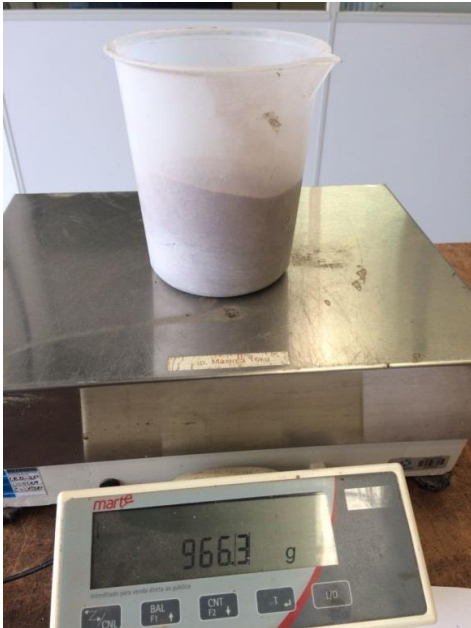
Figura 46 a amostra seca com 966,3 gramas, ou seja, o teor de umidade da areia foi de 3,49%.

Figura 45 – Areia úmida.



Fonte: do autor

Figura 46 –Areia seca após secagem em estufa.



Fonte: do autor

#### 4.1.2.2 Granulometria por peneiramento da areia

O processo de granulometria de um agregado consiste na passagem de uma determinada massa conhecida, em uma série de peneiras, conforme realizado anteriormente com a argila. Conforme a passagem do material em cada tamanho de peneira, é contabilizado a massa retida, e com a passagem do material em todas peneiras, é possível identificar diversos parâmetros e classificação do agregado. O método de ensaio de caracterização por granulometria por peneiramento para a areia é estabelecido pela NBR 7211/2009 da ABNT e as características e definições em relação as peneiras são estabelecidas pela NBR 5734/1989 da ABNT (Figura 47).

Para o ensaio da granulometria por peneiramento da areia foi utilizado 1000 gramas da areia após ser submetida a secagem em estufa, estando totalmente seca, foi feito o ensaio e registrado a massa retida em cada peneira, para posteriormente ser feito a classificação do agregado e obter a sua curva granulométrica.

A relação de peneiras, bem como a relação das massas retidas em cada peneira, juntamente com o diâmetro máximo e módulo de finura estão discriminados na Tabela 8.

Figura 47 – Série de peneiras para ensaio de granulometria da areia.



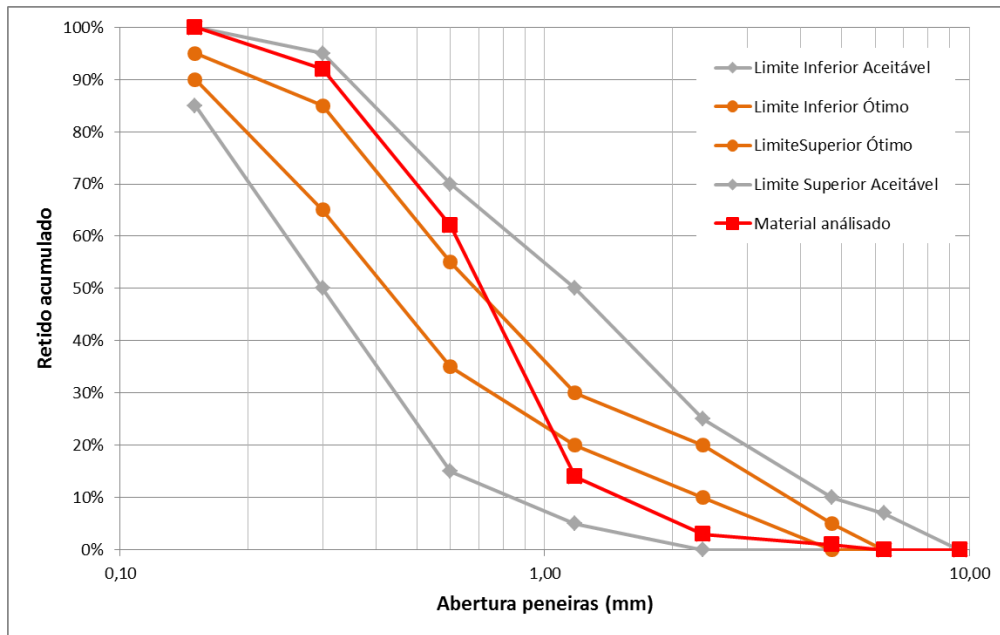
Fonte: do autor

Tabela 8 – Ensaio de granulometria da areia.

<b>Ensaio de granulometria da Areia</b>			
#Malha (mm)	Massa reTida (g)	%	%Acumulada
9,5	0	-	-
6,3	3,9	0	0
4,75	3,1	0	1
2,36	26,2	3	3
1,18	106,4	11	14
0,6	477,6	48	62
0,3	297,8	30	92
0,15	76	8	100
FUNDO	3,4	0	100
	994,4	100,00	
	DMC		2,36
	MF		2,72

Fonte: do autor

Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia



Fonte: do autor

#### 4.1.2.3 Massa específica dos sólidos da areia

Para determinação da massa específica dos sólidos da areia foi utilizada a mesma NBR para determinar a do solo, a NBR 6508/1984 da ABNT, com o uso do picnômetro, o qual resultou no valor de  $2,6178 \text{ g/cm}^3$ , ou seja  $2.617,8 \text{ kg/m}^3$ .

#### 4.1.3 Cimento

Em relação a caracterização do cimento foram utilizados dados fornecidos pelo fabricante. Nos experimentos foi utilizado cimento Portland CP-IV 32, pois atualmente é o cimento utilizado nas edificações do local do estudo, sendo esse o único quesito por ter sido utilizado o CP-IV 32.

A massa específica do cimento CP-IV 32 conforme informações do fabricante é de  $2,77 \text{ g/cm}^3$  ou  $2.770 \text{ kg/m}^3$ .



#### 4.1.4 Água

A água utilizada para os experimentos, no mesmo caso no local de estudo, é a mesma da rede de abastecimento da cidade. Para este estudo foi considerada a massa específica da água de  $1,0 \text{ g/cm}^3$  ou seja  $1.000 \text{ kg/cm}^3$ . O elemento água neste estudo foi adicionado em diferentes teores nos traços estabelecidos, pelo fato dos materiais utilizados no trabalho possuírem umidade própria na moldagem dos corpos de prova, pois só foi feita a secagem do material em estufa para caracterização dos mesmos. A umidade da argila utilizada é de 34,16%, e da areia 3,49%, ou seja, para cada variação de quantidade de argila e areia, foi adicionado uma quantidade específica de água (Tabela 9).

Sabendo o volume e o teor de umidade dos agregados, foi estabelecido uma relação conforme a necessidade das mesclas.

Tabela 9 – Relação dos materiais utilizados nos corpos de prova.

<b>Mescla com 50% areia e 50% solo</b>		
Material	volume (cm <sup>3</sup> )	umidade (g)
Areia	500	21,06
Solo	500	87,79
Água	110	110,00
Total	1110	218,86
Porcentagem total de água (umidade dos agregados + água adicionada)		20%
<b>Mescla com 70% areia e 30% solo</b>		
Material	volume (cm <sup>3</sup> )	umidade (g)
Areia	700	29,49
Solo	300	52,68
Água	150	150,00
Total	1150	232,16
Porcentagem total de água (umidade dos agregados + água adicionada)		20%
<b>Mescla com 30% areia e 70% solo</b>		
30%70%	volume (cm <sup>3</sup> )	umidade (g)
Areia	300	12,64
Solo	700	122,91
Água	80	80,00
Total	1080	215,55
Porcentagem total de água (umidade dos agregados + água adicionada)		20%

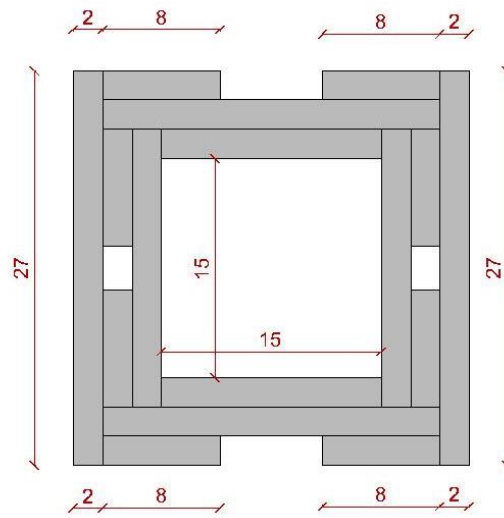
Fonte: do autor

#### 4.1.5 Fôrma

Para a realização da moldagem dos corpos de prova foi desenvolvido um sistema de fôrma com dimensões estabelecidas para este estudo, para poder moldar todos os 36 corpos de prova de modo que pudessem ser desmoldados logo em seguida sem serem danificados os corpos de prova. Atualmente não possui normatização para tal experimento, com isso foi escolhido moldar neste formato, no qual foi formulado especificamente para este trabalho.

As fôrmas foram executadas em madeira de reflorestamento, para que suas dimensões internas fossem de 15 x 15 cm de área e 20 cm de altura. Para que na parte de desmoldar os corpos de prova não houvesse falhas na sua estrutura, foi formulado um sistema que após a compactação do material, as fôrmas fossem desmontadas por completo, conforme a Figura 48 e Figura 49.

Figura 48 – Fôrma de madeira desenvolvida para este trabalho.



Fonte: do autor

Figura 49 – Fôrma de madeira desenvolvida para este trabalho.



Fonte: do autor

## 4.2 Métodos

Com as caracterizações dos materiais, foi possível aplicar os métodos para preparação dos corpos de prova. A relação e detalhamento dos mesmos estão apresentados a seguir.

### 4.2.1 Preparação dos materiais

Após determinação da umidade dos materiais (areia e argila), foi possível definir a quantidade de água aplicada em cada traço. Para misturar o material para moldar os corpos de prova foi utilizada uma bacia plástica (Figura 50), e primeiramente foi feito a mistura manual da argila e da areia, ambas peneiradas.

Figura 50 – Mistura dos materiais sem adição de água.



Fonte: do autor

Após a mistura apresentar uma textura homogênea conforme a Figura 51, fica estabelecido que a areia e a argila estão de acordo para poder aplicar o cimento na mescla (Figura 52). O método de mistura foi baseado no método real aplicado nas construções, assim, toda a mistura foi feita manualmente.

Figura 51 – Material homogêneo com areia e a argila.



Fonte: do autor

Figura 52 – Teor de cimento adicionado.



Fonte: do autor

Após a mescla estar com os agregados misturados (Figura 53), é adicionada a água, conforme determinado no traço. A água foi utilizada em quantidade diferente em cada traço, pois a areia e a argila possuem teores de umidade diferentes, sendo assim, conforme a variação destes materiais, é necessário alterar a quantidade de água colocada nas mesclas.

Figura 53 – Mistura com o cimento.



Fonte: do autor

#### 4.2.2 Determinação da umidade do material

Para técnicas de construção com terra, é necessário que o material possua um teor de umidade que após a compactação, tenha plasticidade adequada para não apresentar deformação quando estiver em repouso, e também liquidez adequada para não escorrer pelos vazados do saco do hiperadobe quando estiver sendo compactado. Para este estudo optou-se em determinar a umidade do material para moldar os corpos de prova do mesmo modo utilizado nas construções, ou seja, pelo método do teste do bolo. Conforme Neves (2005), o teste do bolo consiste em ir adicionando água na mescla, e aos poucos ir fazendo a prática de pegar uma porção de terra, e apertar com a mão, e quando abrir a mão novamente, a marca dos dedos fique moldados na terra (Figura 54), e ao soltar na altura de um metro sobre uma superfície plana e rígida, o material deve se repartir (Figura 55).

Caso a marca dos dedos não apareça no material, a mescla possui pouca quantidade de água, neste caso se adiciona mais água e se refaz o teste, e caso apareça a marca dos dedos na mescla, mas quando submetido a queda no chão, o material não se repartir, mostra que possui muita água no material. Neste caso adiciona-se mais terra para compensar a umidade excessiva.

Com foco no objeto de estudo, a quantidade de 20% como teor de umidade total em todos os traços apresentou resultado satisfatório na mescla utilizada.

Figura 54 – Teste do bolo, para determinar umidade em campo, marcação dos dedos.



Fonte: do autor

Figura 55 – Teste do bolo, para determinar umidade em campo, queda em material plano e rígido.



Fonte: do autor

### 4.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Com o material homogeneizado e com o teor de umidade estabelecido, foi possível preparar o material para moldar os corpos de prova na fôrma anteriormente citada. Para cada traço foram moldados 12 corpos de prova, sendo 3 corpos de prova para cada traço e para cada período de cura. Os tempos de cura utilizados foram 7, 14, 21 e 28 dias, conforme a Tabela 10.

Tabela 10 – Quantidade de corpos de prova por mescla e data.

Traço (areia:argila:cimento)	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
5:5:1	3	3	3	3
7:3:1	3	3	3	3
3:7:1	3	3	3	3

Fonte: do autor

Para moldar os corpos de prova, foi utilizada uma quantidade de material aproximada de 20 cm de altura dentro da fôrma de madeira (Figura 56), após submetido a compactação manual com soquete de metal denominado Proctor sobre uma base de madeira para compactar uniformemente todo material (Figura 57). O soquete de metal possui 8,11 kg de massa, sendo que foi utilizado em todas moldagens 10 golpes em cada corpo de prova. A marca de 10 golpes foi estipulado conforme a deformação do material, na qual foi o número de golpes que não apresentou mais deformação do volume do material.

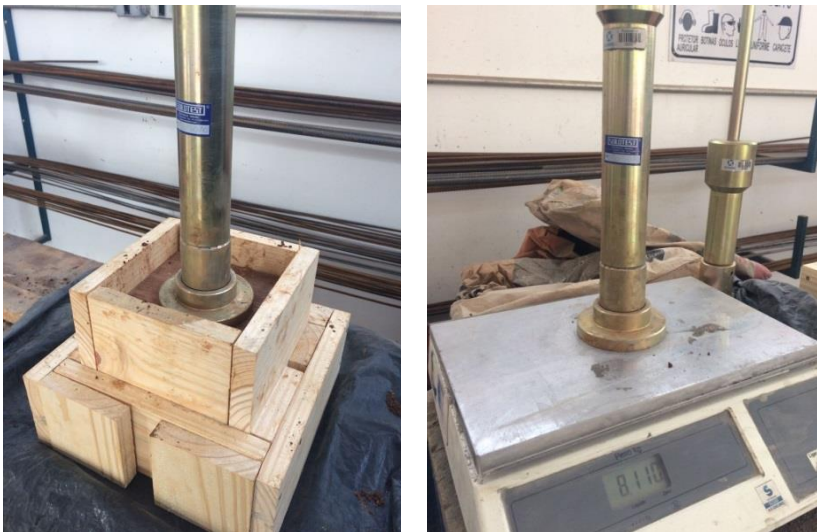


Figura 56 – Moldagem dos corpos de prova.



Fonte: do autor

Figura 57 – Proctor utilizado na compactação do material.



Fonte: do autor

Após a compactação com o soquete de metal, a fôrma é aberta e são retirados os corpos de prova, sem apresentar defeitos ou falhas na sua estrutura. Os corpos de prova são separados para posteriormente serem submetidos ao ensaio de resistência mecânica à compressão nas idades estipuladas neste estudo (Figura 58 e Figura 59). Os corpos de prova após retirados da fôrma ficaram com 15 cm de largura, e em torno de 7 a 8 cm de altura. O procedimento de cura dos corpos de prova foi realizada em local arejado e sem presença de raios solares diretos.

Figura 58 – Corpo de prova desformado após a compactação.



Fonte: do autor

Figura 59 – Série de corpos de prova no seu tempo de cura.



Fonte: do autor

Pela variação das faces superiores e inferiores dos corpos de prova, foi optado neste estudo em romper os mesmos pelas laterais, por apresentar faces regulares, planas e paralelas entre si (Figura 60).

Figura 60 – Corpo de prova sendo submetido a resistência a compressão.



Fonte: do autor

## **5 RESULTADOS E ANÁLISES**

Os resultados e análises obtidas neste estudo em relação à resistência mecânica à compressão do material serão apresentados neste capítulo.

### **5.1 Resultados**

#### **5.1.1 Resistência mecânica à compressão**

Os resultados em relação a resistência mecânica à compressão foram obtidos através da média dos resultados de três corpos de prova rompidos nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias (Figura 61), nos três traços definidos para este estudo (5:5:1 / 7:3:1 / 3:7:1). Pode-se analisar pela Tabela 11 a resistência obtida unitariamente dos corpos de prova, bem como a média de cada período e traço.

Figura 61 – Rompimento do corpo de prova.



Fonte: do autor

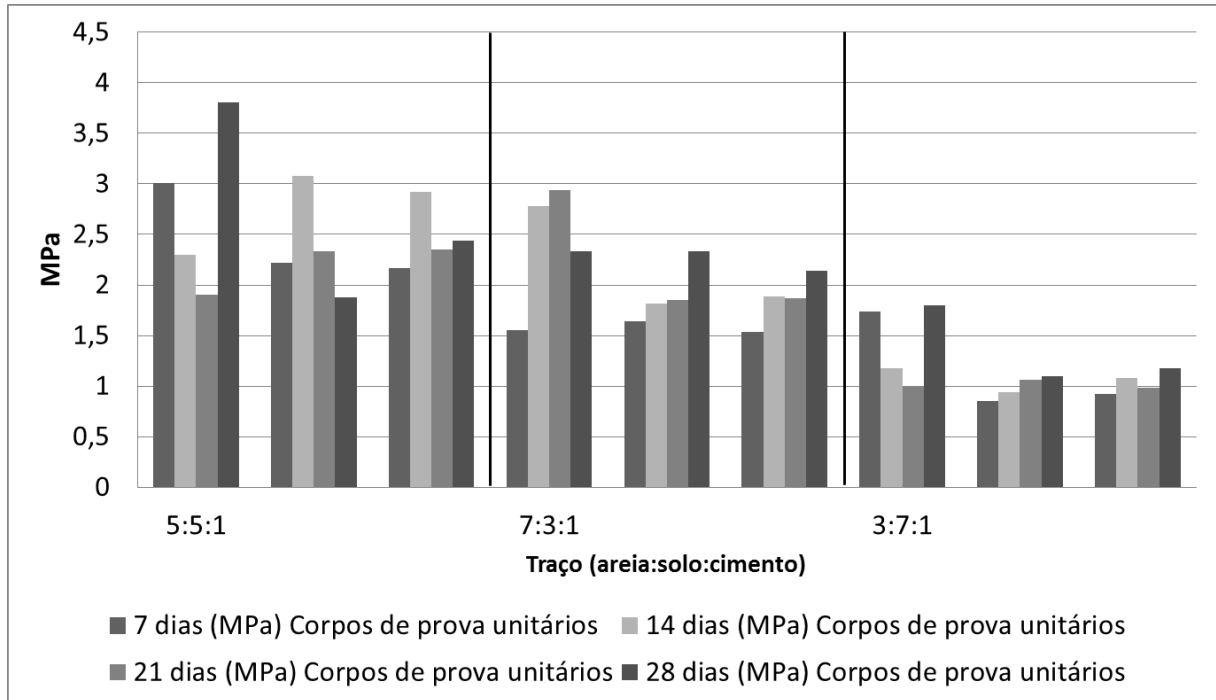
Tabela 11 – Relação das resistências mecânicas à compressão.

Traço (areia:solo:cimento)	7 dias (MPa) Corpos de prova unitários	7 dias (MPa) Média	14 dias (MPa) Corpos de prova unitários	14 dias (MPa) Média	21 dias (MPa) Corpos de prova unitários	21 dias (MPa) Média	28 dias (MPa) Corpos de prova unitários	28 dias (MPa) Média
5:5:1	3,01	2,47	2,30	2,77	1,90	2,19	3,81	2,71
	2,22		3,08		2,33		1,88	
	2,17		2,92		2,35		2,44	
7:3:1	1,55	1,58	2,78	2,16	2,94	2,22	2,33	2,27
	1,64		1,82		1,85		2,33	
	1,54		1,89		1,87		2,14	
3:7:1	1,74	1,17	1,18	1,07	0,99	1,01	1,80	1,36
	0,85		0,94		1,06		1,10	
	0,92		1,08		0,98		1,18	

Fonte: do autor

Conforme Gráfico 4, pode-se notar o melhor desempenho em relação a resistência à compressão pelo traço 5:5:1, em todos períodos foi o que apresentou melhor desempenho em relação aos traços 7:3:1 e 3:7:1.

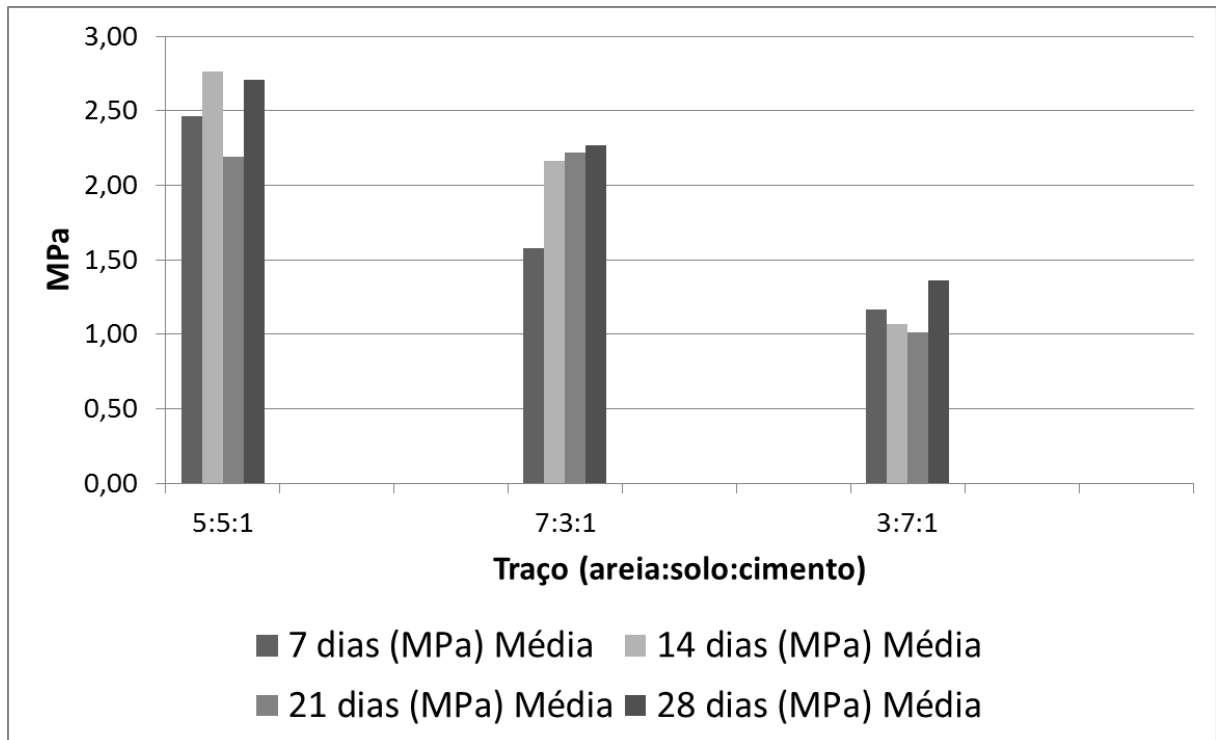
Gráfico 4 - Resultados dos corpos de prova unitários



Fonte: do autor

Pela média dos corpos de prova em relação ao seu traço e aos períodos pode-se comprovar um melhor desempenho no traço 5:5:1, pois em todos períodos foi o traço com melhor desempenho (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Resultados dos corpos de prova pela média



Fonte: do autor

Em comparação aos demais traços, o traço 5:5:1 como média de todos períodos obteve resistência mecânica à compressão de 2,53 MPa, resultado satisfatório em relação ao traço 7:3:1 e 3:7:1, com resistência respectivamente de 2,06 MPa e 1,15 MPa.

## 5.2 Análises

Atualmente não existe norma específica para tal método construtivo, tal argumento aceitável pelo fato de ser um novo método de construção dentro da área da bioconstrução, mas com os resultados obtidos pode ser feita uma análise comparativa com as normas brasileiras com similaridade do assunto abordado, neste caso a NBR 7170 (1983) – tijolo maciço - cerâmico para alvenaria e a NBR 8491 (2012) – tijolo de solo-cimento.

Em relação à NBR 7170 (1983) é estabelecido que tijolos cerâmicos devem possuir resistência mecânica à compressão superior a 1,5 MPa, e pela NBR 8491

(2012) é estabelecido que tijolos de solo-cimento devem possuir resistência mecânica à compressão mínima de 1,7 MPa individuais, e 2,0 MPa para média dos corpos de prova submetidos no ensaio em 7 dias de cura, sendo que a Norma estabelece as dimensões mínimas dos tijolos de 20 cm de comprimento, 9,5 cm de largura e 5 cm de altura, ou possui outras dimensões, mas nunca a altura ser maior que a largura. No caso os corpos de prova moldados neste trabalho estariam de acordo com esta Norma.

Pelos valores mínimos exigidos por ambas as normas, pode ser feita uma análise favorável e aceitável em relação aos resultados obtidos nos testes dos corpos de prova do traço 5:5:1, pois os mesmos obtiveram resultados acima de 2,0 MPa nos períodos de 7, 14, 21 e 28 dias, e com resultado individual máximo de 3,81 MPa no período de 28 dias. Enquanto as médias nos mesmos períodos dos corpos de prova com traço 7:3:1 ficaram inferiores aos 2,0 MPa somente no período de 7 dias, e acima nos períodos de 14, 21 e 28 dias, ficando no limite do mínimo exigido pela norma. Já traço 3:7:1 foi o que apresentou os resultados mais desfavoráveis, pois em todos os períodos obteve resultado abaixo dos 2,0 MPa, e inclusive abaixo dos 1,5 MPa, sendo considerado traço inútil para tal método construtivo.

Com os resultados obtidos com o estudo experimental deste trabalho, pode ser utilizado como parâmetro inicial para resistência mecânica à compressão do material similar que for utilizado. Dentro de estudos acadêmicos, atualmente não há parâmetros que se possa utilizar como base para dimensionar paredes auto portantes construídas pelo método de hiperadobe. Com os resultados apresentados aqui, é possível considerar o limite do material para cálculo de altura de parede compatível com a resistência do material, bem como considerar carga de cobertura da edificação e o seu peso próprio.

Diante dos resultados obtidos em comparação ao foco deste trabalho, as construções executadas pelo método de hiperadobe da Cidade Escola Ayni, foram consideradas favoráveis, para a continuidade das construções com a mescla utilizada (5:5:1), sendo a que apresentou melhor resultado entre os testes e apresentou melhor resultado em comparação às normas similares ao assunto. Com isso pode ser feito cálculo para cargas das coberturas das edificações e outras medidas que necessitam resistir a resistência a compressão do material.



## 6 CONCLUSÃO

No presente trabalho foi avaliada a resistência mecânica à compressão do hiperadobe utilizado na construção das edificações da Cidade Escola Ayni, localizada em Guaporé – RS. Foi feito uma série de corpos de prova com a utilização de 3 traços, os quais foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão nos períodos de 7, 14, 21 e 28 dias.

Os resultados de dois traços (5:5:1 e 7:3:1 – areia:solo:cimento) foram considerados favoráveis para a utilização das construções, enquanto o traço (3:7:1) apresentou resistência inferior às normas utilizadas.

Com este trabalho foi concluído que a mescla utilizada no momento (5:5:1) é compatível com os esforços que nela estão sendo aplicados e apresenta resultados acima da resistência exigida pelas normas similares ao método utilizado. Sendo assim, considerado viável continuar utilizando tal mescla nas construções do local de estudo deste trabalho.

Com o estudo experimental foi atendido o objetivo principal deste trabalho, que era obter a resistência mecânica à compressão do hiperadobe em 3 traços e em 4 idades. Referente aos objetivos específicos, em relação a resistência ao longo do tempo foi analisado que ao longo das idades de 7, 14, 21 e 28 dias, não obteve-se diferença de resistência significativa, e em relação ao objetivo específico que discrimina sobre ter parâmetros para poder calcular edificações de maior porte, foi atingido, por possui dados de resistência que podem ser utilizados para dimensionar tais estruturas.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7170 – **Tijolo maciço cerâmico para alvenaria**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1983.

\_\_\_\_\_. NBR 8491 – **Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 7181 – **Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. NBR 5734 – **Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1989.

\_\_\_\_\_. NBR 6459 – **Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 7180 – **Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. NBR 6508 – **Determinação da massa específica do solo**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1984.

\_\_\_\_\_. NBR 7211 – **Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2009.

ALEXANDRIA, Sandra Selma S. de ; LOPES, Wilza Gomees R. **A utilização do adobe no município de Uruçuí: técnica construtiva tradicional e sustentável**. 2006. 10 f. Artigo Acadêmico(Arquitetura e Urbanismo) – XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Florianópolis, SC, 2006.

ARAÚJO, H. G. **Manualizações de construções com adobe**: 2009, 49 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2009.

BAYER, A. P. **Proposta de diretrizes para o desenvolvimento da arquitetura em terra no Rio Grande do Sul, a partir da interpretação de estratégias uruguaias:** 2010, 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2010.

DUARTE, Flávio; AZEVEDO, Bruno. **Construção com terra crua:** Oficina de bioconstrução saudável, Teresina, Piauí: 2015.

DUARTE, Flávio.; AZEVEDO, Bruno. **Terra ensacada compactada: resistência a compressão para desempenho estrutural de parede:** BIOhabitate, Terra Brasil, Belo Horizonte, Minas Gerais: 2016.

FERREIRA, Carlos de Castro. **A Sustentabilidade Do Sistema Construtivo Em Terra:** Um Projecto De Reabilitação. 2012.81 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura)- Universidade Da Beira Interior, Covilhã, 2012.

FERREIRA, L. M. R. **Arquitetura de terra:** Das técnicas construtivas ao desenvolvimento de competências: 2015. 187 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2015.

HINNING, Josiane Pillar ; SAAD, Denise . **Bioconstruções: Superadobe como vetor da sustentabilidade.** 2015. 6 f. Artigo Acadêmico(Técnico em Edificações)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

HUNTER, Kaki ; KIFFMEYER, Donald . **Earthbag Building:** The Tools, Tricks and Techniques. Canadá: New Society Publishers, 2004. 281 p.

KHALILI, Nader. **Earth Architecture and Ceramics:** The Sandbag/ Superadobe/Superblock Construcion System. Illinois: Buildins Standarts, 1998.

Melo, M., [s.d.]. **Biblioteca de viagens.** Consult. 4 Abril 2012, disponível em: <http://bibliotecadeviagens.files.wordpress.com/2011/07/matmata2.jpg>

Mikasmi, (2009). **Aprendemos.** Consult. 4 Abril 2012, disponível em: <http://aprendemos-mikasmi.blogspot.pt/2009/06/igrejas-de-goreme-e-chamines-de-fada.html>

MINKE, G. **Manual de construcción en tierra:** La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual: 2ª edição, Alemanha: 2005.

NBR 6502:1995 - **Rochas e solos.** 2ª. ed. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995. 18 p.

NEVES, Célia M. Martins et al. **Seleção De Solos E Métodos De Controle Em Construção Com Terra – Práticas De Campo.** 2005. 31 f. Artigo Acadêmico (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, Brasil, 2005.

OLENDER, Mônica Cristina Henriques Leite . **A Técnica do Pau-a-pique**: Subsídios para a sua preservação. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Universidade Federal da Bahia, Salvador - Bahia, 2006.

**PERMACULTURA Técnicas Construtivas**. ECOVILA DA MONTANHA: [s.n.], 2015.

PROMPT, C. et al. **Curso de bioconstrução**: Brasília, Distrito federal: 2008.

SANTOS, Clarissa Armando dos. **Construção Com Terra No Brasil**:: Panorama, Normatização E Prototipagem Com Terra Ensacada. 2015. 290 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015.







