

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

VANESSA DE OLIVEIRA NATAL

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E CONFORTO TÉRMICO  
EM SISTEMA DE TAIPA DE PILÃO COMO ESTRATÉGIA  
SUSTENTÁVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2019

VANESSA DE OLIVEIRA NATAL

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA E CONFORTO TÉRMICO  
EM SISTEMA DE TAIPA DE PILÃO COMO ESTRATÉGIA  
SUSTENTÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dra. Silmara Dias Feiber

TOLEDO

2019



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 236

**Estudo de viabilidade econômica e conforto térmico em sistema de taipa de pilão como estratégia sustentável**

por

**Vanessa de Oliveira Natal**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09:10h do dia **19 de novembro de 2019** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Frederico Braida Rodrigues de Paula  
(UTFPR – TD)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Silmara Dias Feiber  
(UTFPR – TD)  
Orientador

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber  
Coordenador da COECI

Dedico este trabalho à minha  
família e aos meus amigos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me fortalecido ao ponto de superar as dificuldades e também por toda saúde que me deu para concluir esta etapa tão importante da minha vida. Agradeço a Ele, também, por ter ao meu lado pessoas muito especiais que me deram forças para acreditar que meu sonho seria possível.

Aos meus pais Aparecido e Edna e ao meu irmão Alex, pelo amor, paciência, compreensão e apoio incondicional, me ajudando e incentivando a sempre continuar, mesmo com toda a distância, adversidades e momentos difíceis durante estes anos de muita dedicação aos estudos.

Ao meu namorado Luan, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigada pela força e confiança durante essa caminhada e por se desdobrar em esforços para me ajudar durante a elaboração desse trabalho e durante todo meu percurso acadêmico.

A todos meus amigos que fizeram parte de minha graduação, com quem partilhei alegrias, madrugadas de estudo, conhecimento e amizade.

À minha orientadora Prof. Dra. Silmara Dias Feiber, pelo profissionalismo, confiança, amizade e antes de tudo, por ter acreditado neste trabalho e pela contribuição com a realização dessa pesquisa.

Por fim, agradeço à UTFPR, aos professores e servidores do laboratório de civil, por me auxiliarem no aprendizado e na obtenção do conhecimento através da infraestrutura do *campus* e à todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

## RESUMO

NATAL, Vanessa de Oliveira. **Estudo de viabilidade econômica e conforto térmico em sistema de taipa de pilão como estratégia sustentável**. 2019. 71 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

Com o advento da urbanização e o crescente aumento populacional, a gestão de resíduos sólidos se tornou tema pertinente na sociedade. Devido aos problemas causados pela geração de resíduos da construção civil, a estratégia construtiva com o uso de taipas surge como uma alternativa sustentável. Para análise de sua aplicabilidade na região de Toledo – PR foi produzido um modelo reduzido de parede pela técnica de taipa de pilão e outra em alvenaria convencional visando comparar o conforto térmico e os custos promovidos pelas duas técnicas. Como resultado a técnica de taipa de pilão se mostrou benéfica pela capacidade em manter a temperatura na face interna de sua elevação com constância, o que não ocorre com a técnica em alvenaria, além de promover vantagens econômicas pelo baixo custo e gerar menores quantidades de resíduos em sua produção.

**Palavras-chave:** Taipa de pilão. Alvenaria convencional. Conforto térmico. Sustentabilidade.

## ABSTRACT

NATAL, Vanessa de Oliveira. **Economic feasibility study and thermal comfort in rammed earth system as a sustainable strategy.** 2019. 71 f. Monografia (Graduated in Civil Engineering). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2019.

With the advent of urbanization and the increasing population increase, solid waste management has become a relevant theme in society. Due to the problems caused by the generation of construction waste, the constructive strategy with the use of rammed earth appears as a sustainable alternative. To analyze its applicability in the region of Toledo - PR, a reduced wall model was produced by the rammed earth technique and another in conventional masonry aiming to compare the thermal comfort and the costs promoted by the two techniques. As a result, the rammed earth technique proved to be beneficial because of its ability to maintain the temperature on the internal face of its constant elevation, which is not the case with the masonry technique, as well as promoting low cost economic advantages and generating smaller amounts of residues in your production.

**Keywords:** Rammed earth. Conventional masonry. Thermal comfort. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tripé da sustentabilidade.....	19
Figura 2 – Execução da taipa de pilão.....	21
Figura 3 – Representação do taipal.....	21
Figura 4 – Grande muralha da China.....	22
Figura 5 – Grande muralha da China, uma seção.....	23
Figura 6 – Representação cronológica do uso da técnica de taipa.....	24
Figura 7 – Igreja de Santos Cosme e Damião, Recife.....	25
Figura 8 – Casa bandeirista.....	25
Figura 9 – Exemplares de uso em taipa de pilão em Goiás.....	26
Figura 10 – Residências no nordeste brasileiro.....	26
Figura 11 – Casa de verão no Lago Chapala, México.....	27
Figura 12 – Interior da casa e fachada.....	28
Figura 13 – Secagem da amostra.....	33
Figura 14 – Destorroamento de grãos.....	34
Figura 15 – Ação do defloculante em amostra de solo.....	35
Figura 16 – Provetas preenchidas com material para sedimentação.....	35
Figura 17 – Amostra de solo em agitador mecânico.....	36
Figura 18 – Pesagem de material retido em peneira.....	37
Figura 19 – Pesagem de material para determinação do teor de umidade.....	40
Figura 20 – Estufa para secagem de amostras.....	41
Figura 21 – Dessecador.....	42
Figura 22 – Pesagem das amostras.....	44
Figura 23 – Dispensor de solos.....	45
Figura 24 – Extração de matéria orgânica.....	48
Figura 25 – Profundidade de escavação para utilização de solo.....	49
Figura 26 – Taipal produzido e utilizado.....	50
Figura 27 – Peneiramento da mistura.....	51
Figura 28 – Uniformização da mistura.....	52
Figura 29 – Montagem da base para taipa.....	53
Figura 30 – Fundação para confecção de elevação em taipa.....	53
Figura 31 – Produção de estrutura em taipa de pilão.....	54



Figura 32 – Compactação do solo.....	54
Figura 33 – Solo antes e após compactação.....	55
Figura 34 – Elevação em taipa de pilão .....	56
Figura 35 – Uso de trado manual para perfuração de solo.....	57
Figura 36 – Fundação para construção de estrutura em alvenaria.....	58
Figura 37 – Verificação de nível.....	59
Figura 38 – Verificação de verticalidade com o prumo.....	59
Figura 39 – Elevação em alvenaria convencional.....	60
Figura 40 – Posicionamento dos sensores térmicos.....	61
Figura 41 – Local de instalação dos sensores.....	61
Figura 42 – Detalhe dos sensores.....	62
Figura 43 – Curva granulométrica.....	64
Figura 44 – Comparativo térmico nas faces externas em dia de clima quente.....	65
Figura 45 – Comparativo térmico nas faces internas em dia de clima quente.....	66
Figura 46 – Comparativo térmico nas faces externas em dia de clima ameno.....	66
Figura 47 – Comparativo térmico nas faces internas em dia de clima ameno.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesagem de amostra de solo para ensaio de sedimentação .....	75
Tabela 2 – Sedimentação Proveta 11.....	75
Tabela 3 – Sedimentação Proveta 12.....	76
Tabela 4 – Sedimentação Proveta 13.....	77
Tabela 5 – Massa seca de solo retido na peneira n° 200.....	77
Tabela 6 – Peneiramento de material contido na capsula S4.....	78
Tabela 7 – Peneiramento de material contido na capsula S1.....	78
Tabela 8 – Peneiramento de material contido na capsula S10.....	78
Tabela 9 – Média de peneiramento.....	79
Tabela 10 – Valores obtidos para determinação do teor de umidade.....	79
Tabela 11 – Amostras e seus respectivos balões volumétricos.....	79
Tabela 12 – Pesagem e temperatura do balão volumétrico E.....	80
Tabela 13 – Pesagem e temperatura do balão volumétrico D.....	80
Tabela 14 – Equações de calibração dos balões volumétricos.....	80
Tabela 15 – Massa específica obtida pelo ensaio.....	80
Tabela 16 – Orçamento de materiais construtivos.....	47
Tabela 17 – Cálculos referentes à sedimentação dos grãos da amostra.....	63
Tabela 18 – Peneiramento da amostra.....	64
Tabela 19 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de taipa em face externa....	81
Tabela 20 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de taipa em face interna.....	82
Tabela 21 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de alvenaria em face externa.....	83
Tabela 22 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de alvenaria em face interna.....	85

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	Objetivo geral .....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	A PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS NO ESPAÇO URBANO ATUAL.....	16
2.2	NECESSIDADE DA SUSTENTABILIDADE .....	18
2.3	TAIPAS: HISTÓRICO E APLICAÇÃO .....	20
2.4	CONFORTO TÉRMICO E ESTRATÉGIAS PROJETUAIS.....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO COMO OBJETO DE ESTUDO .....	32
3.1.1	Preparação da amostra .....	33
3.1.2	Ensaio de sedimentação.....	34
3.1.3	Determinação do teor de umidade do solo.....	39
3.1.4	Determinação da massa específica do solo .....	43
3.2	ESPECIFICAÇÃO E ORÇAMENTO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS TRAÇOS.....	46
3.3	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE ELEVAÇÃO EM TAIPA DE PILÃO .....	47
3.3.1	Obtenção dos materiais.....	48
3.3.2	Produção do traço.....	50
3.3.3	Construção de elevação em taipa.....	52
3.4	PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE ELEVAÇÃO EM ALVENARIA.....	56
3.4.1	Procedimento da construção em alvenaria .....	56
3.5	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA NOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS .....	60

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>63</b>
4.1	ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO .....	63
4.2	PROCESSO DE AVALIAÇÃO DOS MODELOS.....	65
4.3	RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO.....	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>70</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXO A – Tabelas.....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com o advento da urbanização e o crescente aumento populacional, a gestão de resíduos sólidos se tornou tema pertinente na sociedade. Diversos setores como a agricultura, produção de energia elétrica, construção civil, entre outros, buscam métodos e práticas que visem aplicar a sustentabilidade, como a redução da disposição e produção de resíduos sólidos. A construção civil, embora tenha notoriedade na economia do país, é também um dos maiores setores geradores de resíduos. Este fato resulta em impactos ambientais negativos que permeiam o ciclo de vida das edificações, porém é no momento da elaboração da obra que a geração de resíduo é mais acentuada. Excetuam-se, naturalmente os processos de demolições. (SILVA; SANTOS; ARAÚJO, 2017).

No contexto dos materiais de construção desde tempos imemoriáveis, o homem utiliza a terra como material primordial de construção. Seu uso veio sendo utilizado ao longo do tempo, em construções de diversas tipologias como monumentos, habitações e edifícios religiosos. Porém, seu uso decaiu após o surgimento de novos materiais de construção, em especial os blocos cerâmicos e o concreto, os quais ditam grande parte dos padrões estéticos e estruturais atuais. Atualmente, com foco em novas estratégias sustentáveis, pesquisadores vêm buscando, através do resgate histórico e de conhecimentos de técnicas construtivas tradicionais, desenvolver sistemas de construção inovadores. O objetivo é reduzir custos, aumentar a eficiência e o comprometimento ambiental. (NEVES; FARIA, 2011).

Nesse âmbito, uma das estratégias que vem ganhando força atualmente é a técnica de taipa (solo compactado estabilizado). Essa técnica tradicional, empregada desde tempos remotos no Oriente e utilizada no Brasil colônia como mecanismo de improvisação, já que não havia os materiais construtivos utilizados na Europa, vem sendo manipulada de forma otimizada. Este processo construtivo contribui para diminuir o consumo de energia, valor final de obra, redução de produção de resíduos e desperdícios do setor da construção civil, o que trouxe uma maior aceitação da técnica (CARVALHO; LOPES, 2012).

Como a técnica construtiva de taipa ainda não possui diretrizes e normas nacionais para sua aplicação, surge o interesse de realizar uma análise para explorar se seu uso é viável e traz benefícios no caso de ser aplicada na região oeste do Paraná, objeto de estudo do presente trabalho. Assim, para a realização deste estudo,

o conhecimento do tipo de solo da região é imprescindível para a obtenção do traço ideal de solo a ser compactado assim como estudos literários para a aplicação da técnica. Torna-se necessário também desenvolver um modelo construtivo para avaliar em comparativo com a técnica de alvenaria convencional (metodologia amplamente aplicada no Brasil), se realmente há economia em gastos, em produção de resíduos e se o mesmo funciona como uma estratégia de conforto térmico em detrimento do outro. Tais resultados esperados trazem contribuição de estudo, pois a região alvo se ambienta em solos argilosos, o que não ocorre com frequência na região nordeste e sudeste onde eram pioneiramente aplicadas.

Desta maneira, a pesquisa apresenta mais do que a análise e benefícios da utilização da taipa de pilão como também buscará apontar a viabilidade da aplicação da técnica no local de estudo para possível expansão de sua utilização como estratégia sustentável, além da contribuição do trabalho em relação ao cunho de patrimônio, visto que a taipa se trata de uma técnica com importância de cultura construtiva em alguns lugares do país.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido aos problemas causados pela geração de resíduos da construção civil, há várias soluções, como substituição de agregados por materiais reciclados, reutilização de despejos oriundos da construção civil e estudos para diminuir os impactos ambientais buscando medidas sustentáveis que minimizem custos e a produção destes resíduos, auxiliando a não escassez de recursos naturais.

Nesse cenário, a estratégia construtiva com o uso de taipas surge como uma alternativa sustentável que dentre suas vantagens, segundo Arrigoni et al. (2017), tem-se o ótimo desempenho estrutural e de acabamento com menor custo quando comparada com outras técnicas convencionais.

Comparar a sua utilização com o uso de alvenaria convencional, que é amplamente empregada no país, faz com que o objeto de estudo tenha potencial de avaliação econômica e de conforto térmico abrindo um leque de oportunidades na sua utilização pela sociedade.

## 1.2 OBJETIVOS

A pesquisa tem como pretensão contribuir com a sociedade a partir da análise de possíveis vantagens, como o conforto ambiental e custos, na aplicação de novas tecnologias potencializando a sustentabilidade na construção civil. Desta maneira são propostos como objetivos Geral e Específicos os seguintes aspectos:

### 1.2.1 Objetivo geral

Produzir estrutura feita com a técnica de taipa de pilão para análise de aplicabilidade e conforto térmico em comparação à de alvenaria convencional.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para o presente trabalho, os objetivos específicos que servirão de embasamento para a obtenção do objetivo geral, são:

- Compreender, a partir da literatura, a técnica construtiva tradicional denominada taipa de pilão, suas características, potencialidades e deficiências;
- Definir os parâmetros de conforto ambiental para edificações residenciais;
- Avaliar o solo local visando à elaboração de protótipo em taipa;
- Analisar o traço de solo para realização de protótipo em taipa;
- Construir elevação de estrutura de taipa de pilão e de alvenaria convencional visando ao estudo comparativo;
- Aferir dados térmicos nas duas elevações;
- Levantar dados orçamentários sobre os quantitativos de materiais nos dois tipos de sistemas construtivos para relacionar os custos destes no município de Toledo-PR;
- Realizar comparativo quanto aos custos e ao conforto térmico entre as duas elevações construídas a fim de verificar a viabilidade do uso da taipa de pilão como uma técnica bioconstrutiva.

Definidos os objetivos a pesquisa segue com o aprofundamento dos temas pertinentes à problemática dos resíduos sólidos bem como o papel do uso da terra como material de construção como contribuição de caráter sustentável em edificações.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS NO ESPAÇO URBANO ATUAL

Com o *boom* populacional e a expansão das cidades ao longo de seu desenvolvimento houve um aumento significativo de problemas ambientais como a poluição, aquecimento global e decréscimo de recursos naturais disponíveis. Estes fatores tornaram a problemática dos resíduos do espaço urbano um tema pertinente à sociedade de forma abrangente. A partir disto se deram muitas pesquisas como o uso de agregados reciclados, uso do concreto produzido com resíduos de pneus e poli tereftalato de etileno (PET) dentre outros estudos. O intuito destas pesquisas está na intenção de que os materiais da construção civil pudessem ser utilizados de forma sustentável e viável a fim de amenizar os impactos ambientais. (TINSLEY; PAVÍA, 2019).

Nesse cenário o homem é o agente transformador, ou seja, utiliza da matéria prima bruta para a produção de um produto, que conseqüentemente produz resíduos, sejam eles sólidos, líquidos e/ou gasosos.

De acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004a), os resíduos sólidos são definidos como “resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição...”. Perante este conceito a construção civil corresponde a geração de grande parte destes resíduos sólidos da qual, segundo Marques Neto (2005), aparece representando cerca de 51 a 70% dos resíduos sólidos totais das cidades. Dentro destes parâmetros, grande parte não possui local adequado a descarte e também não são utilizados em processos de reciclagem dos mesmos.

Também de acordo com Furukawa e Carvalho (2011, pág. 7), “dados obtidos da WBCSD (World Business Council Sustainable Development) e IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), mostram que a construção civil é:

- A atividade que consome 75% de todos os recursos naturais;
- 30% das emissões de gases de efeito estufa são oriundas da indústria da construção;

- As edificações são responsáveis por mais de 40% da demanda de energia mundial;
- Até 2025 está previsto um aumento do consumo de materiais e recursos de 45% se comparado ao ano de 2000;
- Produção de grandes quantidades de entulho”.

Diante destes dados, reforça-se a relevância e destaque à investigação de sistemas alternativos visando minimizar os efeitos nocivos ao ambiente.

Além de ser um setor de poluentes em potencial, a construção civil se mostra importante à sociedade visto que este setor se destaca por corresponder a 4,6% do Produto Interno Bruto (PIB), demonstrando grande participação econômica nacional (IBGE, 2012).

De acordo com Tinsley e Pavía (2019, pág. 2), “os materiais de construção tradicionais, como o aço, tijolos, blocos de cimento Portland e concretos, têm alta energia incorporada e são responsáveis por emissões significativas de gases de efeito estufa”. Um exemplo disso são as olarias (local onde se fabricam peças de cerâmica como telhas e tijolos), que por mais que haja exceções das que utilizam materiais advindos de reflorestamentos, tem-se em geral, a extração de matérias primas ou desmatamento de árvores para obter lenha para queima que culmina em poluição atmosférica.

Com isto, percebe-se que as olarias e também outras indústrias responsáveis pela produção de materiais para a construção civil podem gerar grandes quantidades de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos ao meio ambiente, resultando na importância de gerir a produção de resíduos.

Além das olarias, a produção de cimento também é em si uma fonte de emissão de poluentes. De acordo com a resolução 382/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), este regulamenta e estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, das quais entre elas estão os fornos de cimento. (BRASIL, 2006).

Uma das principais ações visando à redução de resíduos em geral foi a publicação da Resolução nº 307 do CONAMA de 2002, que classifica os resíduos em 4 classes (A, B, C e D) estabelecendo o objetivo do uso dos 3Rs (redução, reutilização e a reciclagem), assim como outras diretrizes como a de que o gerador é responsável pela destinação adequada desses resíduos dentre outras finalidades.

Neste contexto, para a redução da geração de resíduos sólidos na construção, tem-se como uma alternativa a utilização de materiais brutos em detrimento aos industrializados. Os materiais não industrializados têm baixa energia incorporada e não envolvem emissões de gases poluentes de forma significativa. Neste contexto a “terra” enquanto material natural está prontamente disponível na maior parte do mundo e requer pouca energia para escavar quando em comparação com a mineração necessária para a obtenção do concreto ou aço. (TINSLEY; PAVÍA, 2019).

Desta maneira, a investigação de novos materiais e técnicas construtivas, ou até mesmo aprimorar técnicas já existentes, podem revigorar o âmbito e as questões socioambientais da atualidade, propiciando uma visão mais sustentável e otimista. Assim, esta ação consciente de se propagar posturas sadias perante o meio ambiente se fazem necessárias para a otimização da qualidade ambiental e de vida da sociedade e das futuras gerações.

## 2.2 NECESSIDADE DA SUSTENTABILIDADE

A sustentabilidade fundamenta-se em práticas que visam prover as necessidades dos seres humanos sem afetar de forma significativa o meio ambiente. Assim, diante das intervenções antrópicas no meio ambiente as cidades passam a configurar a intervenção de caráter potencializado. No desenvolvimento urbano o destaque em termos de edificações são as obras de caráter residencial, pois a demanda por habitação é um fato recorrente.

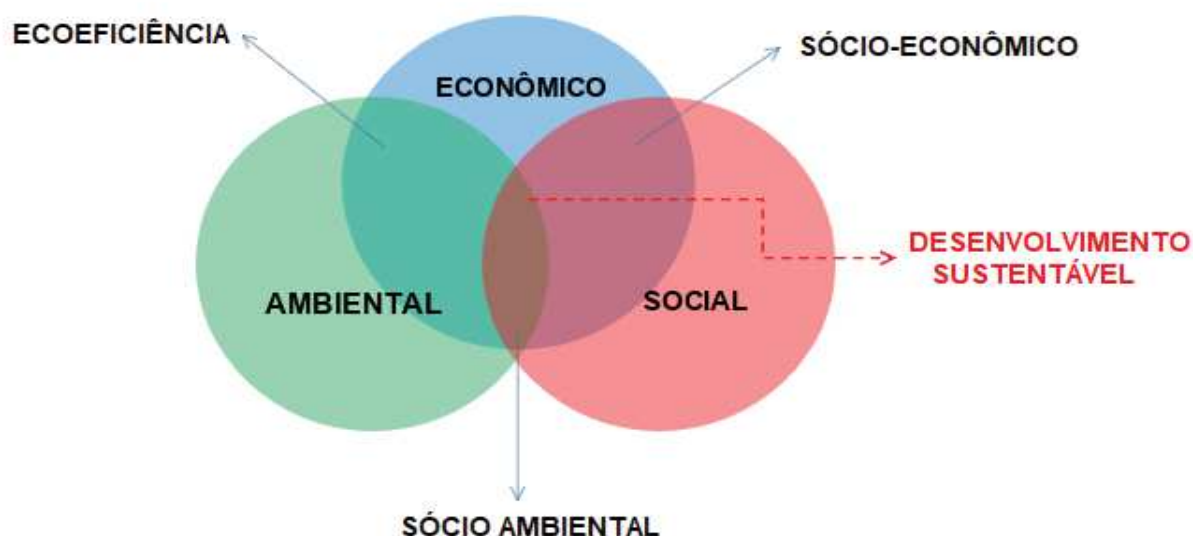
A adoção de estratégias como o *light steel frame*, o uso de brises e a reutilização de águas pluviais, por exemplo, são medidas que contribuem com o viés sustentável e vem sendo apresentadas por empresas do setor construtivo como um diferencial para o consumidor. Porém, ainda é necessário que haja maiores pesquisas e estudos em novas tecnologias construtivas, materiais e gestões sustentáveis, promover normas técnicas para execução de alternativas construtivas além de conscientizar empresas e a sociedade buscando atuar de forma a propagar um menor impacto ambiental. (FURUKAWA; CARVALHO, 2011).

Para que uma construção tenha características sustentáveis, esta precisa ser planejada desde o projeto no sentido de apropriar-se de estratégias projetuais passivas de conforto ambiental bem como a possibilidade de reuso futuro da

edificação. Além desta ação inicial a especificação de materiais e sistemas construtivos podem minimizar impactos ambientais negativos se forem pensados de forma inovadora pelo viés sustentável.

Para isto vem sendo muito utilizado os parâmetros do Desenvolvimento Sustentável de forma a integrar os aspectos econômicos, sociais e ambientais também conhecido como o Tripé da sustentabilidade (Figura 1).

**Figura 1 – Tripé da sustentabilidade.**



Fonte: Adaptado de Furukawa e Carvalho (2011).

De acordo com a figura apresentada, o desenvolvimento sustentável é alcançado quando se une os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Não é viável utilizar técnicas socioeconômicas e negligenciar o meio ambiente, ter ecoeficiência sem considerar o setor social ou focar no sócio ambiental e deixar de lado a economia, pois desta maneira sempre acarretará em prejuízos para a sociedade e/ou a natureza, por isso a importância de haver harmonia em seus componentes para alcançar um resultado esperado.

Técnicas e tecnologias já vêm sendo empregadas de modo a transformar o setor construtivo em um espaço ecológico e inovador, como por exemplo, o bioconcreto (material capaz de regenerar fissuras em rachaduras por meio de bactérias), o telhado verde (auxílio no conforto térmico e economia de energia

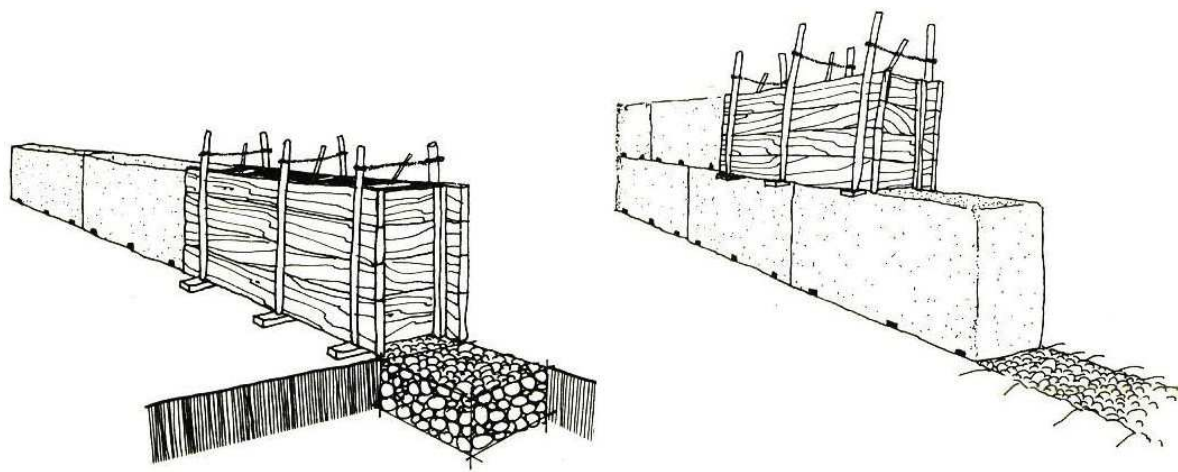
elétrica), construção com containers (técnica de construção que pode reciclar containers subutilizados), uso do bambu como substituto do concreto armado, entre outras diversas estratégias.

Dentre as estratégias que estão sendo utilizadas em países como Austrália, China, Estados Unidos, Alemanha, e requer uma reflexão sobre a possibilidade de se retomar seu uso no Brasil, são as obras em taipa de pilão, tema de estudo do presente trabalho e que será tratado com maior detalhamento ao longo da pesquisa.

### 2.3 TAIPAS: HISTÓRICO E APLICAÇÃO

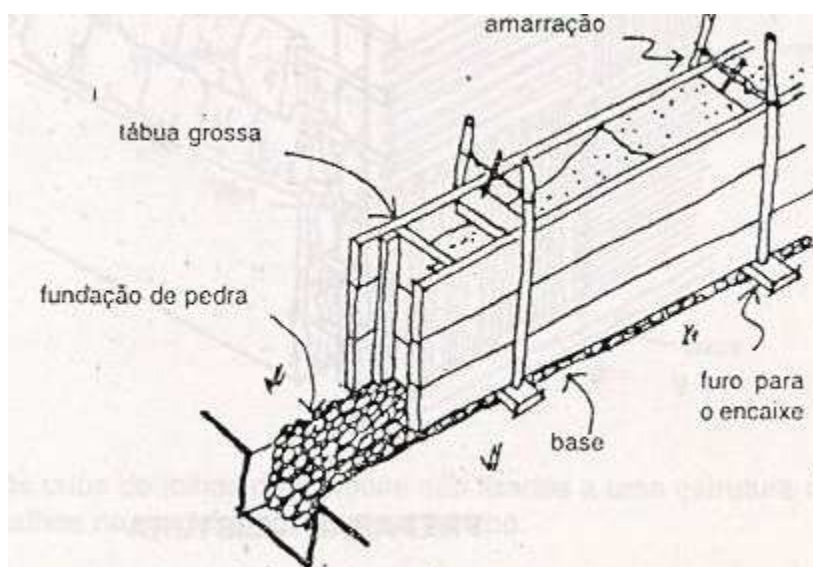
Taipa de pilão ou simplesmente taipa é o termo associado à construção que utiliza como matéria-prima a terra compactada. Essa técnica milenar consiste em compactar o solo previamente úmido com traço específico (na época determinado empiricamente) em formas com o uso de pilões, que por sua vez, consistia em um cabo conectado com um bloco de material pesado e resistente. As formas ou taipais são estruturas de dimensões de aproximadamente 0,40 m de altura por 3,0 a 4,0 m lateralmente, e têm a espessura final da parede de 0,6 m a 1 m. Estas formas são obtidas por tábuas e montantes de madeira, sendo estes apenas elementos laterais que possuem travamentos nos dois lados por cunhas. Após a inserção, compactação e secagem da massa de solo as paredes são desenformadas para que o taipal possa ser reutilizado na produção da próxima camada da elevação. Após a secagem completa das paredes, estas podiam receber revestimento, geralmente argamassa de cal e areia, o que lhe conferia maior resistência. Para não receberem a água proveniente de precipitações e nenhuma infiltração hídrica, eram utilizados grandes beirais e a elevação acima do terreno com alvenaria de pedra (A CONSTRUÇÃO..., 2016).

**Figura 2 – Execução da taipa de pilão.**



Fonte: Bardou (1981, p. 20).

**Figura 3 – Representação do taipal.**



Fonte: Adaptado de Corona e Lemos (1972).

Acerca de fatos históricos, não há uma data específica de seu advento, porém muitos autores como Torgal, Eires e Jalali (2009) citam que por mais que não seja consensual a data que o ser humano iniciou o uso da prática da construção com terra:

[...] não se estará muito longe da verdade de se admitir que a construção em terra tenha tido o seu início juntamente com o início das primeiras sociedades agrícolas num período cujos conhecimentos actuais remontam entre 12.000 a 7.000 a.C. (TORGAL; EIRES; JALALI, 2009, p. 10)

Um exemplo de construção com o uso da técnica de taipa é a Grande Muralha da China (Figura 4) que teve sua concepção aproximadamente há três mil anos e levou cerca de 20 séculos para sua conclusão. Nesta obra foram utilizados materiais como pedras, madeiras, tijolos e extensos trechos com milhões de toneladas de solo compactado estabilizados com cal em seu interior. A técnica fez com que essa obra chegasse até o século XXI e compõe estruturalmente uma das sete maravilhas do mundo. Após a estruturação em taipa foi acrescentada pedras e tijolos que lhe proporciona o aspecto de muralha de pedra. (PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE HABITAÇÃO – HABITARE, 2004).

**Figura 4 – Grande muralha da China.**



Fonte: Torgal; Eires; Jalali (2009).

**Figura 5 – Grande muralha da China, uma seção.**



Fonte: Freitas (2002).

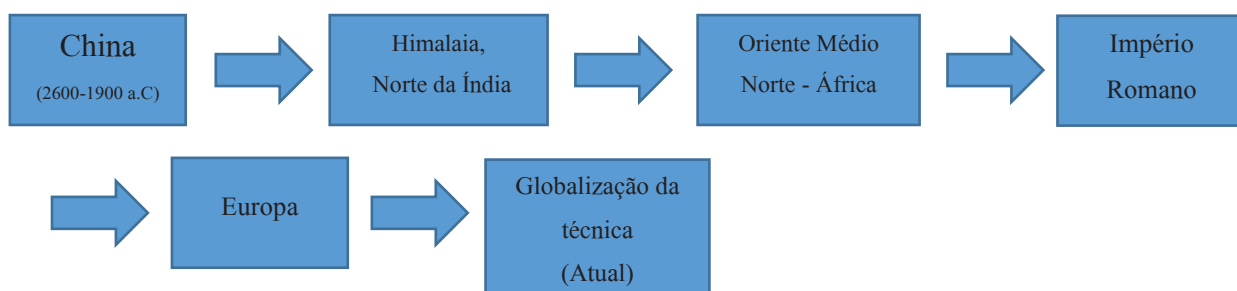
Segundo historiadores, as paredes de taipa surgiram com o povo de Longshan entre 2600-1900 a.C na China, época em que começaram a surgir cidades na região. A técnica também foi muito utilizada em Monastérios no Himalaia e áreas do norte da Índia, como Sikkim, além de ser utilizada em monastérios budistas tradicionais. (TAIPA, 2018). Com o passar do tempo, esta forma de construção de paredes íngremes e grossas foram de acordo com Taipa (2018):

[...] a técnica foi se espalhando para o Oriente Médio e Norte da África, onde foi construída a cidade de Cartago. A Cidade de Cartago era governada pelos Fenícios, sendo um grande centro comercial. Era uma parada praticamente obrigatória a todos os navios que estivessem no Mediterrâneo. Infelizmente, os romanos a destruíram, e hoje só temos ruínas de sua história. A partir desse momento, os romanos levaram a tecnologia da taipa de pilão para a Europa.

Em um panorama geral, pode-se ilustrar o uso da técnica construtiva da taipa de acordo com a linha do tempo representada abaixo (Figura 6):



**Figura 6 – Representação cronológica do uso da técnica de taipa.**



Fonte: Autoria própria.

No Brasil, o uso das taipas advém desde o período Colonial, segundo Feiber (2012):

As técnicas construtivas tradicionais presentes no Brasil no início de sua colonização foram indistintamente apoiadas no tripé do sistema colonial que sustentou o Império Português: a monocultura, o latifúndio e a escravidão. Fatos relevantes por aliar questões sociais, políticas e de ordem técnica que foram materializados nas obras arquitetônicas visando a adaptação local tanto no uso dos materiais, clima e mão-de-obra como das culturas que se somaram em solo brasileiro. (FEIBER, 2012, p. 33)

Deste modo, o uso da taipa foi amplamente utilizado nos primórdios de nossa colonização, destacadamente no nordeste e sudeste brasileiro, como também obteve seu período de excelência durante o ciclo do ouro em cidades mineiras como Diamantina e Ouro Preto. Outro momento em que se utilizou esta técnica foi as entradas ao interior do país nas denominadas ações dos bandeirantes paulistas. Este momento histórico deixou como legado os maiores representantes da técnica da taipa de pilão nas casas bandeiristas. Ressalta-se que ainda são presentes no país uma grande gama de construções com o uso da taipa de pilão em forma de igrejas, residências, fortificações e muralhas, as quais apresentam alta resistência à impactos. (FEIBER, 2012).

A seguir têm-se representações de construções brasileiras com o uso de taipa como a Igreja de São Cosme e Damião em Recife, construída em taipa em 1535 (Figura 7).

**Figura 7 – Igreja de Santos Cosme e Damião, Recife.**



Fonte: Igreja... (2010).

Casas bandeiristas do século XVIII, que marcaram o uso da técnica de taipa no Brasil, também apresentavam frequentes estruturas em taipas de pilão e divisórias em taipas de mão (Figura 8).

**Figura 8 – Casa bandeirista.**



Fonte: Fazendas Paulistas (2015).

Outro exemplo de seu uso foi no centro-oeste como a Igreja Nossa Senhora do Rosário construída entre 1728 e 1732 (HISTÓRIA... 2017) e o cinema de Pirenópolis de 1919 feito em adobe (Figura 9).

**Figura 9 – Exemplos de uso em taipa de pilão em Goiás.**



Fonte: (História... 2017).

Atualmente, a técnica do uso da terra como material de construção resiste no interior do nordeste brasileiro em construções de taipa de mão ou pau-a-pique (Figura 10).

**Figura 10 – Residências no nordeste brasileiro.**



Fonte: Lima Júnior (2007).

Pelo amplo uso no nordeste brasileiro do sistema de taipa de mão há o pensamento errôneo de que o uso de taipa se remete a uma técnica antiquada e sem valor estrutural se comparada às construções com alvenaria convencional. Nesse sentido, deve-se destacar que o estudo e aprimoramento deste sistema construtivo além de proporcionar a resistência requerida para o uso estrutural, também vem se adaptando em melhorias de isolamento térmico isso sem contar na beleza natural que a técnica promove, tornando a taipa de pilão umas das técnicas construtivas com terra mais utilizadas na arquitetura contemporânea (SANTOS,2015).

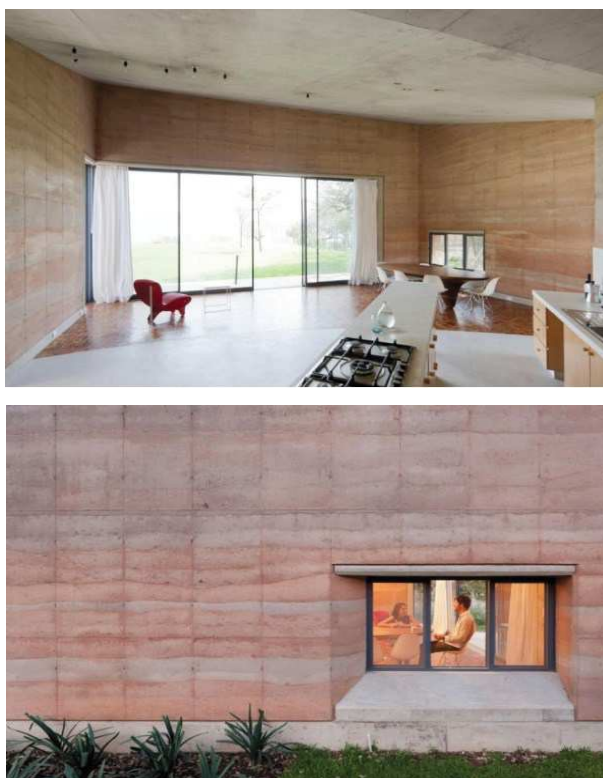
Um exemplo de construção contemporânea com taipa de pilão é a obra de uma casa de verão no Lago Chapala em Jalisco, no México, projetada pela arquiteta Tatiana Bilbao. A obra em questão além de ser uma opção sustentável e de menor custo por se tratar de uma construção de terra crua, ainda apresenta aspectos estéticos-formais relevantes na contemporaneidade. (SANTANA, 2016).

**Figura 11 – Casa de verão no Lago Chapala, México.**



Fonte: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-279921/ajjic-tatiana-bilbao-s-c/51ec178be8e44ee48a00006a-ajjic-tatiana-bilbao-s-c-photo>

**Figura 12 – Interior da casa e fachada.**



Fonte: [https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-279921/ajijic-tatiana-bilbao-s-c?ad\\_source=search&ad\\_medium=search\\_result\\_all](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-279921/ajijic-tatiana-bilbao-s-c?ad_source=search&ad_medium=search_result_all)

A partir das imagens apresentadas, pode-se perceber como a técnica foi adaptada de acordo com o local e a época em questão, e como foi se avançando com estudos e inovações que proporcionam seu uso na atualidade de forma eficiente e moderna.

Diante desta contextualização que apresenta obras de viés histórico e contemporâneo é importante reafirmar as características, benéficas ou não, do uso da terra como elemento construtivo principal.

Das vantagens têm-se o baixo custo por utilizar o próprio solo do local da construção e utilizar cerca de apenas 1 a 2% da energia gasta em uma obra similar com concreto e tijolos cozidos (PISANI, 2007); rápida execução, ausência de mão de obra especializada e também por se tratar de uma técnica de construção ecológica, pois a terra é natural e, portanto não contamina o ambiente (TELLI, 2014).

Ainda segundo Telli (2014), das desvantagens destaca-se a fragilidade à umidade (se fazendo necessário o uso de beirais maiores ou uma impermeabilização adequada); limitação vertical e a contração da mistura de solo pelo processo de secagem podendo gerar rachaduras, sendo essas contrações entre 3 e 12% em

técnicas com solo mais úmido e na ordem de 0,2 a 0,4% com solos quase secos, requerendo assim a aplicação posterior de reboco para cobrimento das fissuras (MINKE, 2008).

Diante do exposto, por mais que exista desvantagens, estas podem ser solucionadas pelo bom uso da técnica de tal forma a propiciar ao consumidor o uso de seus benefícios tanto econômicos quanto sustentáveis.

## 2.4 CONFORTO TÉRMICO E ESTRATÉGIAS PROJETOVAIS

O conforto térmico nas construções vem sendo cada vez mais pesquisado a fim de aprimorar o bem-estar das pessoas nos ambientes edificados. A busca na atualidade é dada, em especial, pela diminuição do uso de condicionamento de ar artificial e, por sua vez o consumo de energia elétrica (BARBOSA, 2013).

O desempenho térmico depende do efeito combinado entre as pessoas e o ambiente em que se encontra. Diferenciais de temperatura ambiente, produção de calor pelo metabolismo humano, velocidade do ar e a umidade geram o ambiente térmico ideal aos humanos (COUTINHO, 2014).

Os humanos, por sua vez, são seres homeotérmicos que fazem com que a temperatura interna corporal se mantenha a mais constante possível, porém, há sempre trocas térmicas entre o homem e o meio em que se está inserido, o que gera variações no conforto térmico. Para poder se adaptar ao meio, o ser humano cedeu com o passar do tempo, a utilizar mecanismos relativos à sua habilidade, como adaptação no uso vestimentas e à própria edificação adotando estratégias de projeto e de materiais que potencializam o controle do ambiente interno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Atingir o conforto térmico se faz necessário não apenas ao bem-estar como também à produtividade. Conforme a NR17, do Ministério do trabalho, temos que a temperatura ideal para conforto no espaço de trabalho deve ser entre 20 a 23°C durante o inverno e 23 a 26°C no verão, além de contar com umidade relativa inferior a 40% (BRASIL, 1978).

Para o desempenho térmico de paredes de vedação, deve-se considerar todos os componentes de vedação vertical e também das vedações horizontais (BALTOKOSKI, 2015). De acordo com Roriz (2013), para investigações a respeito do

desempenho térmico se faz necessário analisar as propriedades e a densidade do material que compõem a vedação, aferir a resistência térmica que, quanto maior, menor a intensidade de troca de calor com o ambiente, e a capacidade térmica, que por sua vez, significa a quantidade de calor que um material precisa receber para alterar sua temperatura.

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), em seu conteúdo se estabelece um zoneamento climático em 330 cidades brasileiras das quais abrange um conjunto de recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares de interesse social, como aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas, tipos de vedações externas e estratégias de condicionamento térmico passivo de acordo com o zoneamento que a cidade se encontra. Para este estudo, o território brasileiro foi dividido em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e assim fora formulado um conjunto de recomendações técnico-construtivas, visando com a adequação climática, otimizar o desempenho térmico das edificações.

Para tanto, a norma fornece um informativo sobre as propriedades térmicas dos materiais utilizados na confecção de uma elevação, de onde abstrai-se dados como a transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico de algumas paredes e coberturas. A partir destes aspectos, a referida norma oferta as recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local. No entanto é importante ressaltar que, visto que não há na atualidade brasileira um amplo uso de técnicas com terra, esta e outros materiais sustentáveis, não são normatizados com valores de propriedades térmicas para um comparativo ou uso das diretrizes para otimização da edificação em clima local.

Com o intuito somar sustentabilidade com inovação, surgiram estratégias que visam ao conforto no ambiente interno das edificações como a iluminação e ventilação natural. A adoção de fontes de energia sustentáveis como a energia solar para minimizar o consumo de energia. Outros recursos importantes a serem levados em conta são a água e materiais utilizados. Estes fatores agrupados em uma única proposta projetual demonstram a importância de se investigar as estratégias de conforto para que haja diretrizes para planejamentos futuros no âmbito dos projetos arquitetônicos (LAU; ZHANG; TAO, 2019).

Estratégias como o uso de brises, ventilação cruzada, telhados verdes e outras soluções podem ser eficazes para assegurar o conforto térmico desejado no interior

da edificação. Outra adoção arquitetônica de interessante solução são os usos de materiais adequados para que naturalmente potencialize o conforto necessário.

Uma dessas estratégias é o uso de taipas para a construção de paredes. Seu uso vem sendo utilizado não apenas por motivos estéticos, como também estruturais, sustentáveis e visando o conforto ambiental interno nas edificações. A terra, além de ser um elemento natural e por ser um material que é expressivamente compactado no processo de obra, propicia estruturas impermeáveis e sólidas que por sua vez são capazes de regular a temperatura interna da edificação.

Além disso, a terra é um material eficiente para diminuir a temperatura do ambiente, pois se trata de um material poroso com boa capacidade de absorver e perder mais rapidamente a umidade do que outros materiais de construção. (SILVA, 2000). Segundo Bueno (1995), a condutibilidade térmica das paredes provenientes de barro corresponde à metade das paredes de tijolos cozidos, o que significa que o calor é conduzido lentamente nas paredes de terra crua propiciando um ambiente interno que se mantém em temperatura constante.

De acordo com Santana (2016), para que as propriedades, como o conforto térmico, sejam atendidas pelo uso da taipa, o traço de solo ideal deve ter até 30% de argila, mas a técnica aceita uma gama específica de solos. Deste modo, os solos mais indicados para o uso do sistema construtivo são aqueles que apresentam em sua composição 50 a 70% de areia, sendo também necessário conhecer a tipologia do solo para a exata dosagem da quantidade de água a ser inserida. (TORRALBA; EIRE; JALALI, 2009).

Em vista disso e, diante da proposta de pesquisa empírica, é necessário o estudo prévio de solo amostral no local de implantação da técnica para que tanto o traço como a umidade necessária estejam em proporções adequadas para sua correta execução.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para analisar a aplicabilidade e benefícios da taipa de pilão, houve o interesse de projetar na prática um modelo de estudo para analisar os benefícios do material a ser utilizado no processo de execução. No presente trabalho fora analisado o conforto térmico alcançado tanto pelo sistema de alvenaria convencional, quanto pelo sistema de taipa de pilão visando à comparação dos mesmos.

A pesquisa se fundamentou no estudo quantitativo e qualitativo que objetivou avaliar os sistemas e apresentar suas características diante do conforto térmico promovido a partir da comparação de suas temperaturas internas e externas. Além da produção das elevações e a avaliação térmica, foi possível a análise dos custos de materiais utilizados e a pesquisa acerca do orçamento destes para a produção de cada técnica no município em questão, visando apresentar o potencial econômico de sua aplicabilidade. O caráter sustentável permeia a pesquisa no sentido da avaliação potencial da característica econômica e ambiental que pode deste modo, promover a motivação da utilização da taipa de pilão como estratégia sustentável.

Neste sentido, no presente capítulo serão apresentados os materiais e as metodologias que foram aplicadas para o desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO COMO OBJETO DE ESTUDO

O modelo de estudo foi realizado no município de Toledo – PR, onde retirou-se amostras do solo local para estudo granulométrico com finalidade de obter o traço ideal para a construção em taipa. As considerações quanto ao estudo do solo em estudo foram as estipuladas nas seguintes normas, de acordo a com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): NBR 6457 (2006) – Preparação de amostras de solo para ensaio normal de compactação e ensaios de caracterização – Método de ensaio; NBR 7181 (2006) – Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio; NBR 6458 (2016) – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

A seguir tem-se apresentado as exigências e procedimentos realizados:

### 3.1.1 Preparação da amostra

De acordo com a norma de preparação para ensaios de compactação e caracterização para amostras de solos (NBR 6457), a aparelhagem utilizada nesta etapa compreende nos seguintes materiais:

- Almofariz e mão de gral recoberta de borracha;
- Balança de 10kg com resolução e sensibilidade de 1g;
- Peneiras de malha 4,8 mm e 2,0 mm;
- Bandejas metálicas.

Primeiramente foi retirada a amostra de solo à 50 cm de profundidade afim de que não houvesse a influência de matéria orgânica nos resultados, sendo esta embalada de forma adequada. Após a amostra foi separada em três formas metálicas para maior rapidez de secagem ao ar até que fosse atingida a umidade higroscópica.

**Figura 13 – Secagem da amostra.**



Fonte: Autoria própria.

Com o auxílio do almofariz e mão de gral os torrões foram desmanchados de maneira a evitar a quebra de grãos, conforme ilustra a Figura 14.

**Figura 14 – Destorroamento de grãos.**



Fonte: Autoria própria.

Após homogeneização a amostra foi quarteada para obtenção de uma amostra representativa em quantidade suficiente e peneirada com as malhas indicadas na norma NBR 6457 (2006) para a realização dos ensaios requeridos.

### 3.1.2 Ensaio de sedimentação

O próximo passo foi a preparação das amostras para o ensaio de sedimentação conforme a NBR 7181 (2006). Para a realização deste ensaio foram utilizados 3 Becker de 250 cm<sup>3</sup> e nestes depositados 70g de solo. Estes valores foram anotados na Tabela 1.

Em seguida, as amostras foram colocadas em um copo béquer onde foi adicionado 125 ml de defloculante que permaneceram em mistura cerca de 24 horas em repouso até o início do ensaio em si (Figura 15). Passado este período, o material em repouso foi colocado no aparelho de dispersão removendo todo o material do copo béquer com água destilada, sendo submetido à ação do dispersor por 15 minutos.

**Figura 15 – Ação do defloculante em amostra de solo.**



Fonte: Autoria própria.

Após a dispersão do material, ele foi retirado do dispersor com o auxílio de água destilada e transferido para provetas de 1000 cm<sup>3</sup> cada, nas quais foram adicionados água destilada até atingirem a marca de 1000 cm<sup>3</sup> (Figura 16).

**Figura 16 – Provetas preenchidas com material para sedimentação.**



Fonte: Autoria própria.

Cada proveta foi agitada com um agitador fornecido pelo laboratório e logo após a mistura ser agitada foi anotado o horário para que fosse possível a realização da leitura da densidade pela imersão de um densímetro. As leituras foram realizadas nos tempos de 0,5, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas, a partir do início da sedimentação, conforme orienta a NBR 7181 (2006). Logo após cada leitura foi medido a temperatura da dispersão com o auxílio de um termômetro. Os valores das leituras efetuadas encontram-se nas Tabelas 2,3 e 4 no Anexo A.

Ao final da última leitura, o material foi vertido na peneira de nº 200 (malha de 0,075 mm), o qual foi realizado lavagem com água corrente na peneira mencionada. O material retido na peneira nº 200 foi depositado em uma capsula metálica e levado à estufa à 105 °C por um período de 24 horas, até que o material tivesse a consistência de massa seca.

O material seco foi pesado conforme indica a Tabela 5. Assim, o mesmo foi peneirado pelas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25 e 0,075 mm em agitador mecânico por um período de 10 minutos conforme ilustra a Figura 17, e o material retido em cada peneira foi pesado como mostra a Figura 18. Com os dados obtidos foi possível estabelecer uma média entre os valores. Os referentes dados estão representados nas Tabelas 6,7,8 e 9.

**Figura 17 – Amostra de solo em agitador mecânico.**



Fonte: Autoria própria.

Figura 18 – Pesagem de material retido em peneira.



Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo da massa total seca utilizou-se a Equação 1, segundo a NBR 7181 (2006):

$$M_s = \frac{(M_T - M_g)}{(100 + W)} \times 100 + M_g \quad (1)$$

Onde:

$M_s$  = Massa total da amostra seca;

$M_t$  = Massa da amostra seca em temperatura ambiente;

$M_g$  = Massa do material seco retido na peneira de 2,0 mm;

$W$  = Umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Para a porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm e 2,0 mm, é descrita na Equação 2:

$$Q_g = \frac{(M_s - M_r)}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$Q_g$  = Porcentagem de material passado em cada peneira;

$M_s$  = massa total da amostra seca;

$M_r$  = massa do material retido acumulado em cada peneira.

Para o cálculo da porcentagem de material em suspensão, tem-se a equação 3 na qual refere às porcentagens correspondentes a cada leitura do densímetro, retiradas à massa total da amostra, utilizando a seguinte equação:

$$Q_s = N \times \frac{\rho_s}{(\rho_s - \rho_{md})} \times \frac{V \rho_{wc} (L - L_d)}{\frac{M_w}{(100 + W)} \times 100} \quad (3)$$

Onde:

$V$  = Volume da proveta igual a 1000 cm<sup>3</sup>;

$Q_s$  = Porcentagem do solo em suspensão no instante da leitura do densímetro;

$N$  = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm;

$\rho_s$  = Massa específica dos grãos de solo, em g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_{md}$  = Massa específica do meio dispersor na temperatura de calibração do densímetro (20 °C), expresso em g/cm<sup>3</sup>;

$\rho_{wc}$  = Massa específica da água na temperatura de calibração do densímetro (20 °C), utilizando o valor 1.000 g/cm<sup>3</sup>;

$L$  = Leitura do densímetro em suspensão;

$L_d$  = Leitura do densímetro no meio dispersor (presente no Anexo A da referida norma), na mesma temperatura de suspensão;

$M_w$  = Massa do material úmido submetido a sedimentação, expressa em gramas (g);

$W$  = Umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm.

Para o cálculo do diâmetro das partículas de solo em suspensão no momento de cada leitura do densímetro, foi utilizada a seguinte equação:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \mu}{\rho_s - \rho_{md}}} \times \frac{z}{t} \quad (4)$$

Onde:

$d$  = Diâmetro máximo das partículas, expresso em milímetros (mm);

$\mu$  = Coeficiente de viscosidade do meio dispersor, a temperatura de ensaio em g x s/cm<sup>2</sup>;

$z$  = Altura de queda das partículas, com resolução de 0,1 cm, correspondente à leitura do densímetro, expressa em centímetros (cm);

$t$  = Tempo de sedimentação, expresso em segundos (s);

$\rho_s$  = Massa específica dos grãos dos solos, determinada de acordo com o Anexo B da ABNT NBR 6458:2016, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/ cm<sup>3</sup>);

$\rho_{md}$  = Massa específica do meio dispersor, a temperatura de ensaio, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/ cm<sup>3</sup>).

Observação: Para efeito de cálculo, a norma considera  $\rho_{md} = 1.000$  g/ cm<sup>3</sup>, que corresponde ao coeficiente de viscosidade da água.

Já para o cálculo da porcentagem de materiais que passam nas peneiras de 1,2mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,0075 mm, foi utilizado a equação 5:

$$Q_f = \frac{M_w \times 100 - M_r (100 + W)}{M_w \times 100} \times N \quad (5)$$

Onde:

$M_w$  = Massa do material úmido submetido ao peneiramento fino ou a sedimentação, conforme o ensaio tenha sido realizado apenas por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento, respectivamente;

$W$  = Umidade higroscópica do material passado na peneira de 2,0 mm;

$M_r$  = Massa do material retido acumulado em cada peneira;

$N$  = Porcentagem de material que passa na peneira de 2,0 mm;

Com o resultado final, foi realizado uma representação gráfica, na qual tem-se na abcissa os diâmetros das partículas em escala logarítmica, e na ordenada, as porcentagens das partículas passantes referentes aos diâmetros considerados, em escala aritmética.

### 3.1.3 Determinação do teor de umidade do solo

Para a obtenção da umidade do solo, foi utilizado o procedimento descrito no Anexo A da NBR 6457 (ABNT, 2016), onde os materiais utilizados foram:

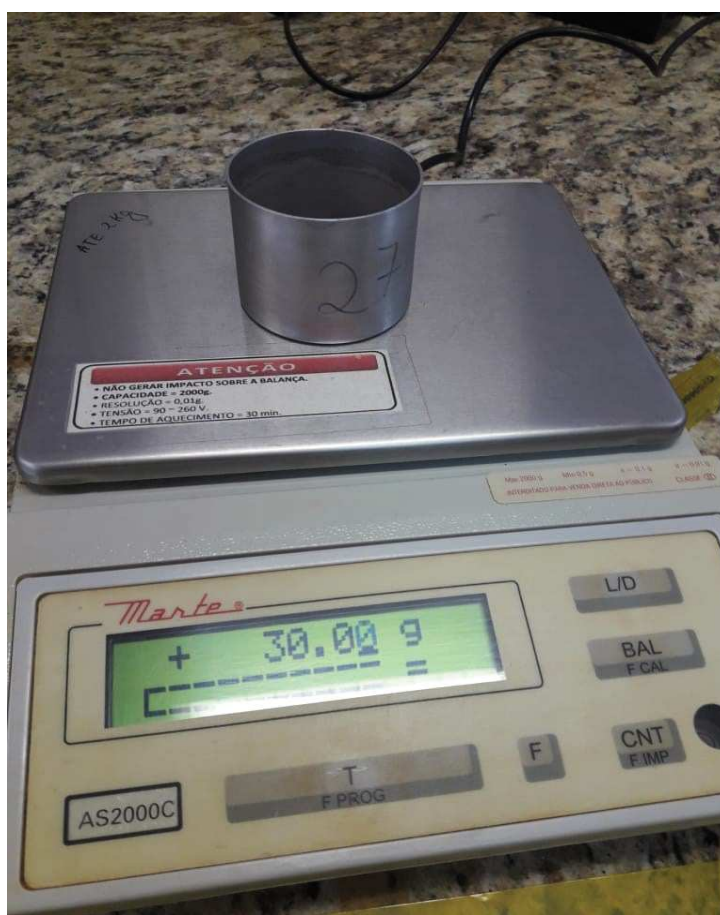
- Balanças que permitiram pesar nominalmente 200 g com resolução de 0,01g e sensibilidade compatíveis pois a amostra continha grãos com dimensões menores que 2 mm;
- Estufa capaz de manter a temperatura entre 105 °C e 110 °C;
- Dessecador contendo sílica-gel;



- Recipientes adequados, confeccionados com material não corrosível, como cápsulas metálicas com tampa e pares de vidro de relógio com grampo, de dimensões adequadas; e
- Pinças metálicas com aproximadamente 30 cm de comprimento e 15 cm de abertura.

Como o solo da amostra era passante na peneira de malha 2 mm, foram utilizadas 6 cápsulas com adição de 30g de solo. As capsulas e o material contido foram pesados e os valores anotados como M1 (Figura 19).

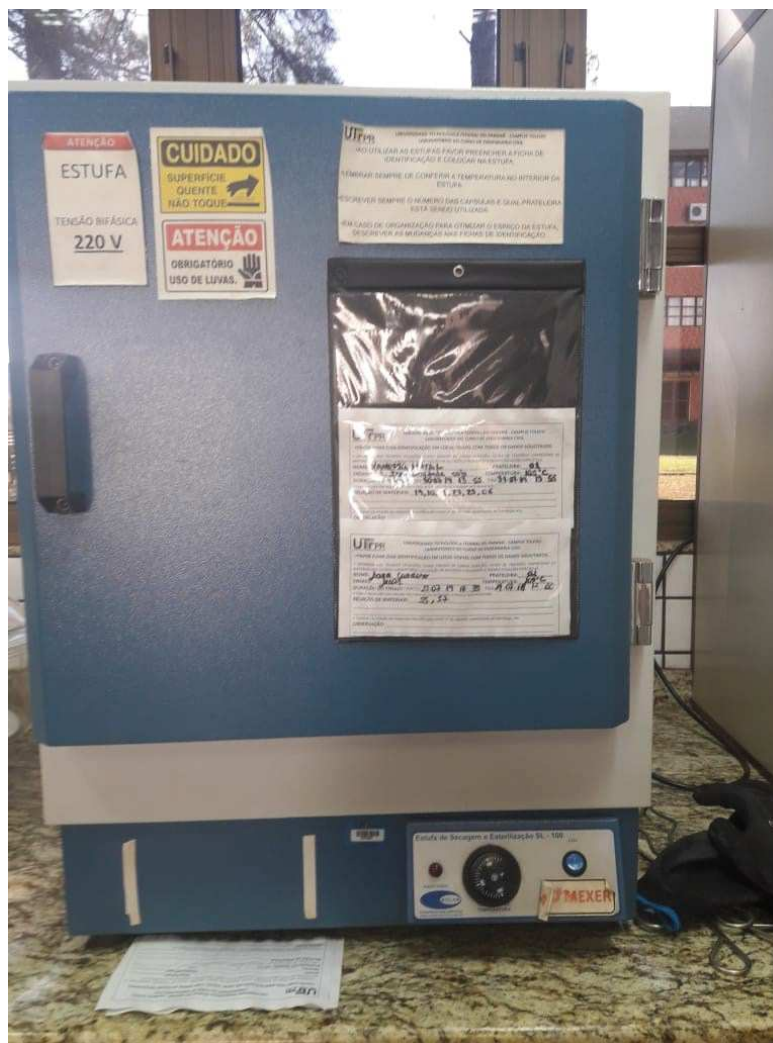
**Figura 19 – Pesagem de material para determinação do teor de umidade.**



Fonte: Autoria própria.

Para a determinação da massa de solo seco, os corpos de prova foram submetidos a estuda à 105°C (Figura 20) em um intervalo de tempo de 24h até obterem consistência de massa.

Figura 20 – Estufa para secagem de amostras.



Fonte: Autoria própria.

Após este procedimento, as amostras foram transferidas a um dessecador onde permaneceram até atingir a temperatura ambiente e logo após o conjunto cápsula e solo foram pesados e anotados como M2 (Figura 21).

Figura 21 – Dessecador.



Fonte: Autoria própria.

Para efetuar o cálculo do teor de umidade a norma NBR 6457 (ABNT, 2016) exige a utilização da seguinte equação:

$$w = \frac{M1-M2}{M2-M3} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

$w$  = Teor de umidade expresso em porcentagem (%);

$M1$  = Massa do solo úmido mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g);

$M2$  = Massa do solo seco mais a massa do recipiente, expressa em gramas (g);

$M_3$  = Massa do recipiente (cápsula metálica com tampa ou par de vidro de relógio com grampo), expressa em gramas (g).

A norma recomenda que seja realizada a médias das determinações efetuadas, e que o resultado final seja expresso com aproximação de 0,1%.

Os valores obtidos para  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$  estão apresentados na Tabela 10. Com estes valores apresentados, foi possível calcular a umidade do solo de cada cápsula e com a média dos valores obteve-se uma umidade da amostra.

#### 3.1.4 Determinação da massa específica do solo

Para este ensaio, os materiais utilizados foram de acordo com a ABNT NBR 6458 (2016):

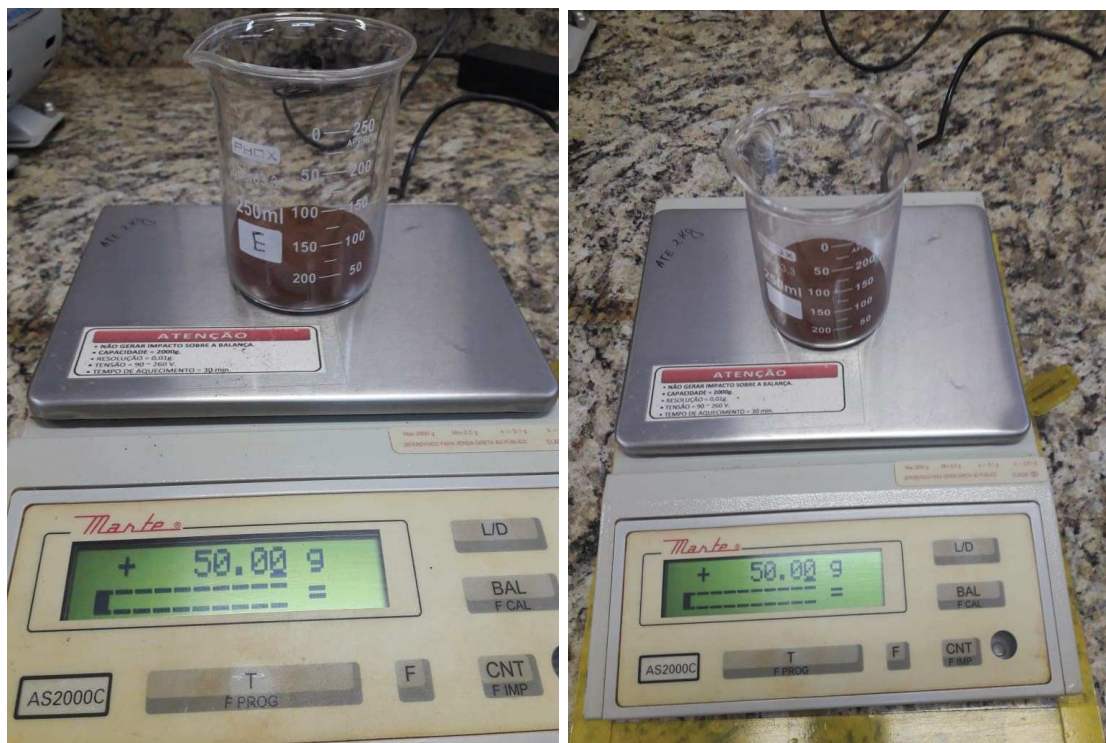
- Estufa com capacidade de manter a temperatura entre 105° e 110 °C;
- Aparelho de dispersão com hélices metálicas substituíveis e copo munido de chicanas metálicas;
- Balão volumétrico de 500 cm<sup>3</sup>, calibrado a 20 °C, com a respectiva curva de calibração;
- Bomba de vácuo com registro, vacuômetro e conexões com capacidade de aplicar vácuo de 88 kPa para remoção do ar aderente às partículas do solo ou chapa aquecida;
- Termômetro graduado em 0,1 °C de 0 a 50 °C;
- Balança que permita pesar nominalmente até 1,5 kg, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível;
- Funil de vidro;
- Conta-gotas ou pipeta;
- Béquer de vidro com capacidade de 250 cm<sup>3</sup>;
- Cápsulas para determinação da umidade.

Como procedimento foi tomado cerca de 250 g da amostra de solo que fora preparada de acordo com a NBR 6457 (2016), com o destorroamento dos grãos e adoção apenas do material passante na peneira de malha 4,75 mm de acordo com a norma. A quantidade restante foi utilizada para o ensaio de determinação da umidade

da amostra. Após foi seguido a ABNT NBR 6458 (2016), onde deve ser realizado no mínimo dois ensaios para sua determinação.

Foram utilizados 2 Becker com capacidade de 250 cm<sup>3</sup> para 2 amostras de solo contando com 50g cada. Os valores foram adotados como M1 e está representado na Figura 22:

**Figura 22 – Pesagem das amostras.**



Fonte: Autoria própria.

Tais amostras foram submersas em água destilada das quais permaneceram por no mínimo 12 horas. Na análise em questão as amostras ficaram submersas por 19 horas pelo horário de funcionamento do laboratório.

Após a amostra foi transferida para o copo de dispersão (Figura 23), onde as capsulas foram lavadas com água destilada afim de evitar perdas de material e permaneceram em dispersão por 15 minutos.

**Figura 23 – Dispensor de solos.**



Fonte: Autoria própria.

Com a dispersão, as misturas foram transferidas para seus respectivos balões volumétricos, os quais foram ligados à bomba de vácuo por 15 minutos para que todo o ar saísse do balão, após passado 15 minutos foi adicionado água destilada até a marca de calibração indicada e assim a bomba ficou acionada por mais 15 minutos e após, dispostas em balões volumétricos de 500 cm<sup>3</sup>. As amostras e seus respectivos picnômetros estão apresentados na Tabela 11.

Em seguida, o sistema foi limpo externamente e foi determinada a temperatura e o peso da amostra (balão volumétrico + água + amostra). Os valores obtidos para os balões E e D, suas temperaturas, assim como a média das leituras efetuadas, estão indicadas na Tabela 12 e Tabela 13, respectivamente.

Após este procedimento, foram analisados os gráficos e equações de calibração dos respectivos balões dispostos no laboratório de solos, para a obtenção do peso destes somados com água. Estes dados estão apresentados na Tabela 14.

Para a determinação da massa específica a NBR 6458 (2016) informa que, os valores para a massa específica da água para a temperatura de 23 °C é de 0,9976 g/cm<sup>3</sup>. Já a massa específica é determinada pela seguinte equação (Equação 7):

$$\rho_s = \frac{M1 \times 100 / (100 + w)}{\left[ \frac{M1 \times 100}{100 + w} \right] + M3 - M2} \times \rho_{w(T)} \quad (7)$$

Onde:

$\rho_s$  = Massa específica dos grãos do solo, g/cm

$M1$  = Massa do solo úmido;

$M2$  = Massa do picnômetro + solo + água, na temperatura T de ensaio;

$M3$  = Massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio;

$w$  = Umidade inicial da amostra;

$\rho_{w(T)}$  = Massa específica da água, na temperatura T de ensaio, obtida na tabela A.1 do anexo A da NBR 6458(2016).

A partir dos cálculos e dados obtidos pode-se inferir a característica do solo em questão. De acordo com a norma brasileira NBR 6502 (1995), acerca de Rochas e Solos, tem-se estipulado que um solo é caracterizado como argiloso quando é constituído por partículas com dimensões menores que 0,002 mm, apresentando características como coesão e plasticidade. Ainda de acordo com a norma, o silte é aquele que apresenta partículas com diâmetros entre 0,002 mm e 0,06 mm, apresentando baixa ou nenhuma plasticidade.

### 3.2 ESPECIFICAÇÃO E ORÇAMENTO DOS MATERIAIS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS TRAÇOS

Para a realização dos procedimentos, foi necessária a aquisição de alguns materiais construtivos. No caso da alvenaria convencional foi utilizado areia média, cal, cimento CII - 32 MPa e barras de aço 3/8" para sua confecção. Já para a taipa de pilão foi necessário apenas o uso da areia para que o traço estivesse o ideal para sua elaboração.

Sobre os traços utilizados, para a confecção das bases foi utilizado concreto com traço de 1 cimento : 3 areia : 2 brita. Para a argamassa de assentamento dos tijolos no muro de alvenaria o traço usado foi de 3 areia: 0,5 cimento: 0,25 cal.

Barras de aço 3/8" (diâmetro de 10 mm) foram utilizadas para a fundação dos dois métodos e para a amarração das paredes em alvenaria, onde foram utilizados

cerca de 6 metros para a produção do muro de alvenaria e, o restante foi feito uma grelha para a fundação de taipa para que houvesse um aumento da resistência da carga promovida pela parede de taipa de pilão. O valor médio da barra de 3/8” é de R\$ 35,90 a barra com 12 metros.

Na tabela que se segue (Tabela 16), tem-se os dados sobre os preços de materiais obtidos em dois comércios na cidade de Toledo – PR e um no distrito de Sede Alvorada – PR.

**Tabela 16 – Orçamento de materiais construtivos.**

<b>COMÉRCIO A</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>QTD</b>	<b>PREÇO (REAIS)</b>
Areia Média	m <sup>3</sup>	62,00
Brita 1	m <sup>3</sup>	60,00
Tijolo 6x19x14	1000 un	480,00
Cimento CII	50kg	22,50

<b>COMÉRCIO B</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>QTD</b>	<b>PREÇO (REAIS)</b>
Areia Média	m <sup>3</sup>	70,74
Brita 1	m <sup>3</sup>	70,74
Tijolo 6x19x14	1000 un	510,00
Cimento CII	50kg	22,50

<b>COMÉRCIO C</b>		
<b>MATERIAL</b>	<b>QTD</b>	<b>PREÇO (REAIS)</b>
Areia Média	m <sup>3</sup>	66,50
Brita 1	m <sup>3</sup>	64,00
Tijolo 6x19x14	1000 un	515,00
Cimento CII	50kg	23,20

Fonte: Autoria própria.

### 3.3 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE ELEVAÇÃO EM TAIPA DE PILÃO

A taipa de pilão é uma técnica construtiva cuja característica é a compressão de solo em camadas sobrepostas em formas de madeira ou taipais, formando assim uma elevação monolítica. Para a elaboração da proposta do presente trabalho foi feito os seguintes processos:



### 3.3.1 Obtenção dos materiais

Tanto a retirada de material para análise quanto a construção das elevações foram realizadas em Sede Alvorada – PR, que fica a 18 km do município de Toledo. A extração de solo foi feita no local da obra em si, de onde também foi retirado o material utilizado no item de caracterização do solo. Neste processo, foi retirado uma camada de terra de aproximadamente um metro, para que não houvesse a presença de material orgânico na composição da estrutura em taipa. Este processo é ilustrado na Figura 24 e Figura 25 e, contou com o auxílio do uso de um trator presente no local. O transporte do material até o local de construção da parede foi feito de maneira manual a partir do uso de carrinho de mão e baldes.

**Figura 24 – Extração de matéria orgânica.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 25 – Profundidade de escavação para utilização de solo.**



Fonte: Autoria própria.

Para a quantidade de areia necessária à produção da estrutura em taipa, esta foi obtida em um comércio de materiais construtivos da cidade de Toledo e o taipal fora fabricado a partir de material em madeira e parafusados para firmeza do sistema, em dimensões de altura, largura e comprimento de 50 cm x 40cm x 100cm, respectivamente.

**Figura 26 – Taipal produzido e utilizado.**



Fonte: Autoria própria.

### 3.3.2 Produção do traço

Conforme citado no item 2.4 deste trabalho, um traço comumente utilizado em taipa é aquele que contém cerca de 70% de solo arenoso e 30% argiloso, o que confere resistência e coesão a estrutura, respectivamente. Como na análise granulométrica do material, o solo se mostrou com características silto-argilosas, foi inserido 70% de areia e o restante com o material obtido in loco conforme o item 3.2.1.

Com as proporções de solo definidas, o material é peneirado a fim de retirar qualquer material presente como pedriscos e uniformizar a mistura.

**Figura 27 – Peneiramento da mistura.**



Fonte: A autoria própria.

Além da correção da quantidade de areia e argila, foi necessário que o material se encontrasse em umidade ideal na véspera de seu uso. Para a obtenção desta umidade, utilizou-se o teste de bolo, método empírico que consiste em verificar a umidade apertando uma porção de terra com as mãos e o deixando cair de uma altura de cerca de 1 metro de altura : se esfarelar significa que a mistura está muito seca; se a terra não se partir, está muito úmida; se partir em poucos pedaços, está na umidade desejada para utilização.

Desta forma, o solo foi colocado em uma betoneira para a uniformização do material (Figura 28) e, aos poucos foi-se adicionando água e realizando a verificação da umidade, até que a mistura se encontrasse nas condições ideais para uso.

**Figura 28 – Uniformização da mistura.**



Fonte: Autoria própria.

### 3.3.3 Construção de elevação em taipa

Para a execução do processo em si, primeiramente foi feito uma base em concreto armado, para que pudesse suportar o peso do muro em taipa como também para evitar a ascensão de capilaridade do solo até a estrutura. Para tanto, o terreno foi previamente limpo e utilizado uma “forma” de madeira que fora nivelada e posteriormente concretada com a inserção de uma grelha metálica para a produção desta base (Figura 28). Na Figura 29, tem-se a base feita, desmoldada e curada.

**Figura 29 – Confeção de base para elevação em taipa.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 30 – Fundação para confecção de elevação em taipa.**



Fonte: Autoria própria.

Com o taipal posicionado, foi adicionado a mistura de terra preparada conforme o item 3.2.2, até uma altura de cerca de 15 cm (Figura 30), e apiloada em seguida com o auxílio de um pilão produzido in loco, de modo a compactar primeiro as bordas

e após o centro do sistema, de forma a obter um melhor resultado (Figura 31). Este procedimento se repetiu até se alcançar uma altura próxima a borda do taipal.

**Figura 31 – Produção de estrutura em taipa de pilão.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 32 – Compactação do solo.**



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 32, tem-se representado o solo antes e depois de ser compactado a sua última camada antes do taipal ser desmontado e posteriormente posicionado para a produção da segunda fiada.

**Figura 33 – Solo antes e após compactação.**



Fonte: Autoria própria.

De maneira similar ao realizado na camada anterior, a nova camada em taipa recebeu o material devidamente dosado, apiloada e suas formas desmoldadas no dia posterior ao final do procedimento. A elevação está representada na Figura 33.



**Figura 34 – Elevação em taipa de pilão.**



Fonte: Autoria própria.

Pode-se perceber a textura diferenciada das camadas que são um resultado estético que não compromete a estabilidade da obra. Esta diferença de níveis numa situação real poderia ser sanada com a aplicação de um reboco à cal, o qual faria o papel de selar a parede contribuindo para sua manutenção.

### 3.4 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE ELEVAÇÃO EM ALVENARIA

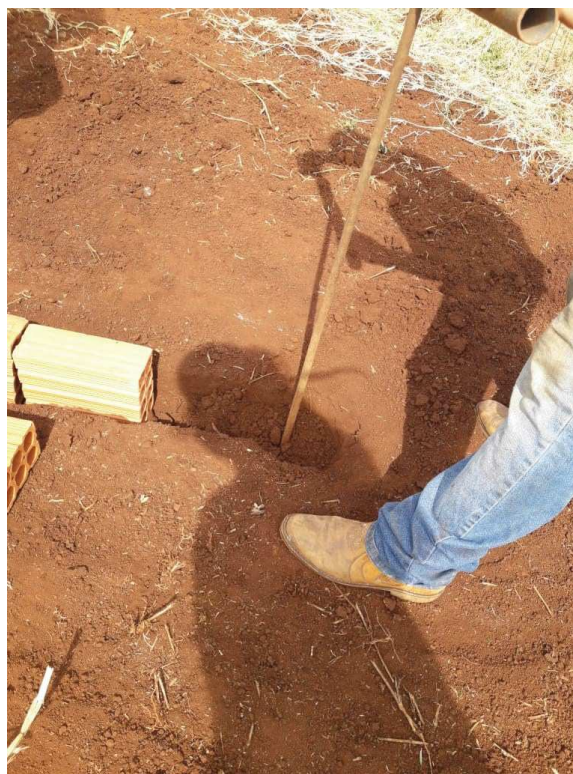
Esta técnica construtiva domina a prática da construção civil e foi consolidada no país após anos de adaptação e também por haver normalização oficial em seu uso, o que não ocorre com outras técnicas como a taipa de pilão, por exemplo.

#### 3.4.1 Procedimento da construção em alvenaria

Para a produção do modelo com o método de alvenaria convencional, também foi feita uma base com concreto e barras de aço 3/8” para fundamentar

esta parede. Para isto, o solo foi previamente limpo, realizado a perfuração das brocas a partir do auxílio de um trado manual (Figura 34), colocação das barras de aço e posterior concretagem (Figura 35). Este procedimento faz com que os esforços causados pela carga da estrutura de alvenaria sejam transmitidos ao terreno pela sua base.

**Figura 35 – Uso de trado manual para perfuração de solo.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 36 – Fundação para construção de estrutura em alvenaria.**



Fonte: Autoria própria.

Uma semana após a produção da fundação, iniciou-se a produção da parede. Foram utilizados tijolos cerâmicos de vedação e argamassa anteriormente especificadas.

Neste processo foi utilizado instrumentos como linhas, bolha de nível e o prumo para garantir o nível e verticalidade da parede (Figuras 36 e 37).

**Figura 37 – Verificação de nível.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 38 – Verificação de verticalidade com o prumo.**



Fonte: Autoria própria.

Ao fim, foram utilizadas formas de madeiras para realização de concretagem em suas vigas laterais para que a parede elaborada permanecesse íntegra (Figura 39).

**Figura 39 – Elevação em alvenaria convencional.**



Fonte: Autoria própria.

### 3.5 MEDIÇÃO DE TEMPERATURA NOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

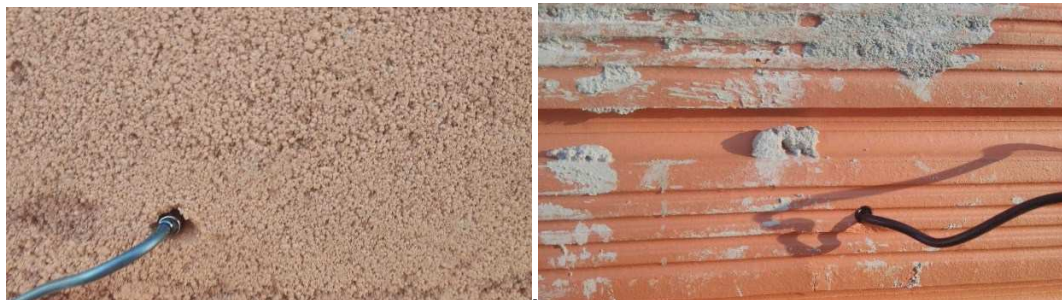
Com a finalização das elevações dos dois sistemas construtivos em análise, foi possível determinar as temperaturas externas e internas registradas para cada parede e assim estabelecer um comparativo empírico em seu desempenho térmico na região de estudo.

Para este processo utilizou-se quatro sensores térmicos, sendo estes termômetros eletrônicos digitais dos quais cada ponteira foi inserida em uma face de cada elevação com o auxílio de uma pequena perfuração para o seu encaixe (Figura 40). A inserção do sensor na elevação em si não necessitou de um posicionamento específico pois não há uma norma que indique esta necessidade como também a ideia é de que a incidência solar não se altera ao longo da elevação.

Também é importante ressaltar que as elevações foram posicionadas seguindo o Norte geográfico. Para isto foi utilizado uma bússula para a determinação do Norte verdadeiro.

Para a coleta dos dados térmicos durante um período de 25 dias nos horários que contemplassem maior e menor radiação solar durante o dia. Sendo assim, os horários adotados para as medições foram: 07:00, 08:00, 09:00, 10:00, 11:00, 12:00, 13:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00 e 18:00. Os dados obtidos se encontram nas Tabelas 19,20,21 e 22 presentes no Anexo A.

**Figura 40 – Posicionamento dos sensores térmicos.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 41 – Local de instalação dos sensores.**



Fonte: Autoria própria.

**Figura 42 – Detalhe dos sensores.**



Fonte: Autoria própria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção será apresentado os resultados determinados a partir dos ensaios realizados em laboratório, assim como os resultados obtidos pela variação térmica avaliada nos modelos construídos e o valor despendido entre ambos.

### 4.1 ENSAIOS REALIZADOS EM LABORATÓRIO

A partir do item 3.1 do presente trabalho, foi possível determinar a umidade natural presente na amostra em estudo, sendo essa um valor de 5,78%. Todo o procedimento foi realizado de maneira que a umidade presente no solo se encontrasse de forma mais próxima daquele presente no momento em que houve a retirada da amostra.

Já os valores encontrados para a massa específica das duas amostras e sua média são indicados na Tabela 15. Com posse destes dados, foi realizada a análise da sedimentação do material coletado à estudo, onde os resultados se encontram apresentados na tabela que se segue (Tabela 17):

Tabela 17 – Cálculos referentes à sedimentação dos grãos da amostra.

SEDIMENTAÇÃO							
Massa específica solo (g/cm <sup>3</sup> ) : 2,452							
		Peso úmido (g): 70g			Peso seco (g): 66,24		
Tempo decorrido	t (s)	Média Leituras	Média Temperatura	Densidade L	Altura queda (cm)	Viscosidade (g.s/cm)	Diâmetro (mm)
30	30	1043,17	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0791
1	60	1043,17	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0559
2	120	1043,17	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0395
4	240	1043,00	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0280
8	480	1042,67	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0198
15	900	1042,33	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0144
30	1800	1041,83	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0102
1	3600	1041,33	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0072
2	7200	1040,33	22	1,00393	16,40	9,80E-06	0,0051
4	14400	1039,50	22,3	1,00387	16,41	9,73E-06	0,0036
8	28800	1037,83	24	1,00355	16,47	9,34E-06	0,0025
24	86400	1036,00	24	1,00355	16,47	9,34E-06	0,0014

Fonte: Autoria própria.

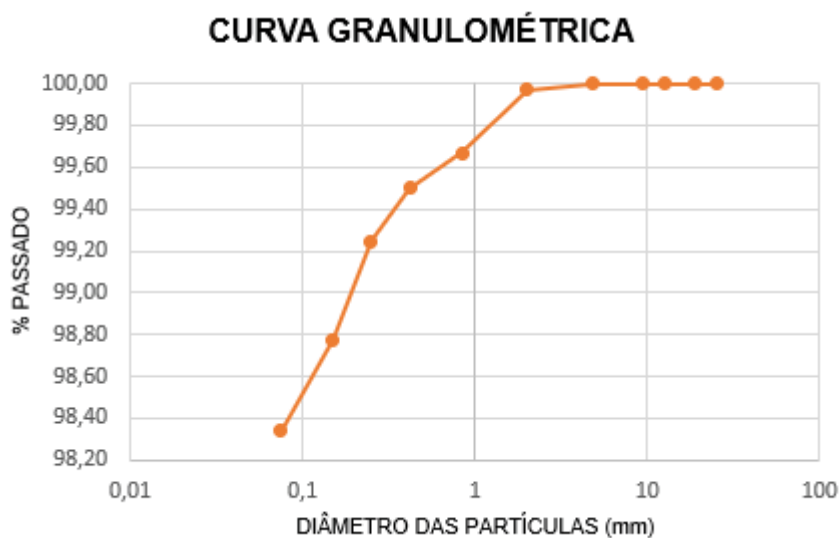


Tabela 18 – Peneiramento da amostra.

PENEIRAMENTO					
Peneiras		Material retido (g)	M. retido acumulado (g)	Material que passa (g)	%Passante
N°	mm	0	0	66,24	100,00
	25	0	0	66,24	100,00
	19	0	0	66,24	100,00
	12,5	0	0	66,24	100,00
	9,5	0	0	66,24	100,00
4	4,8	0,02	0,02	66,22	99,97
10	2	0,2	0,22	66,02	99,67
20	0,84	0,11	0,33	65,91	99,50
40	0,42	0,17	0,5	65,74	99,25
60	0,25	0,31	0,81	65,43	98,78
100	0,15	0,29	1,1	65,14	98,34
200	0,075	0,02	1,12	65,12	98,31

Fonte: Autoria própria.

Figura 43 – Curva granulométrica.



Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar a característica do solo em estudo. Analisando a dimensão dos diâmetros, foi possível perceber que se trata de um solo silte-argiloso, pois grande parte dos diâmetros encontrados se enquadram nos limites propostos pela NBR 6502 (1995).

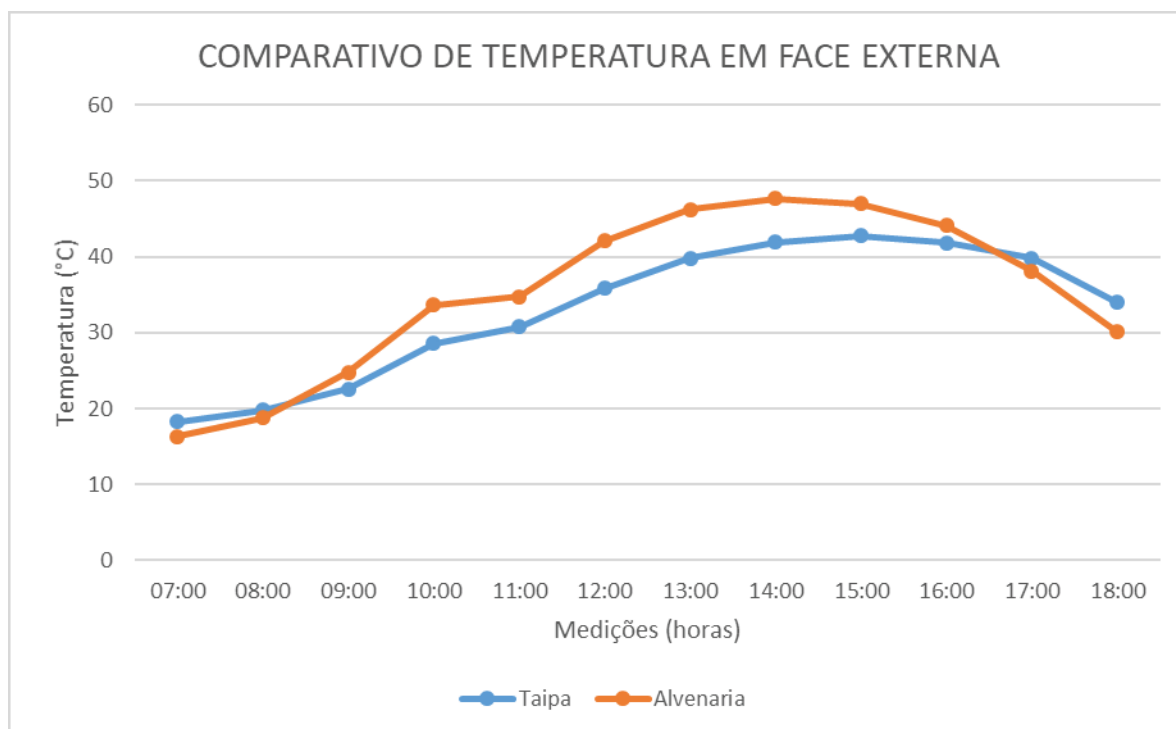
Com a caracterização do solo da região em estudo, foi possível estabelecer o traço ideal para elaboração da taipa em 70% de areia e 30% do solo local.

## 4.2 PROCESSO DE AVALIAÇÃO DOS MODELOS

Com as elevações prontas, após o processo de cura foi realizado a medição da temperatura nas faces externas e internas das elevações, como especifica o item 3.4. Com os dados obtidos foi possível a percepção da consistência térmica promovida pela parede feita pelo método de taipa de pilão, pois a mesma obteve a capacidade de manter uma temperatura média durante todo o período do dia, caso que não ocorreu com a elevação feita de alvenaria, já que esta apresenta um maior pico em suas temperaturas o que poderia ser perceptível ao conforto térmico no caso de habitar um cômodo produzido por este material.

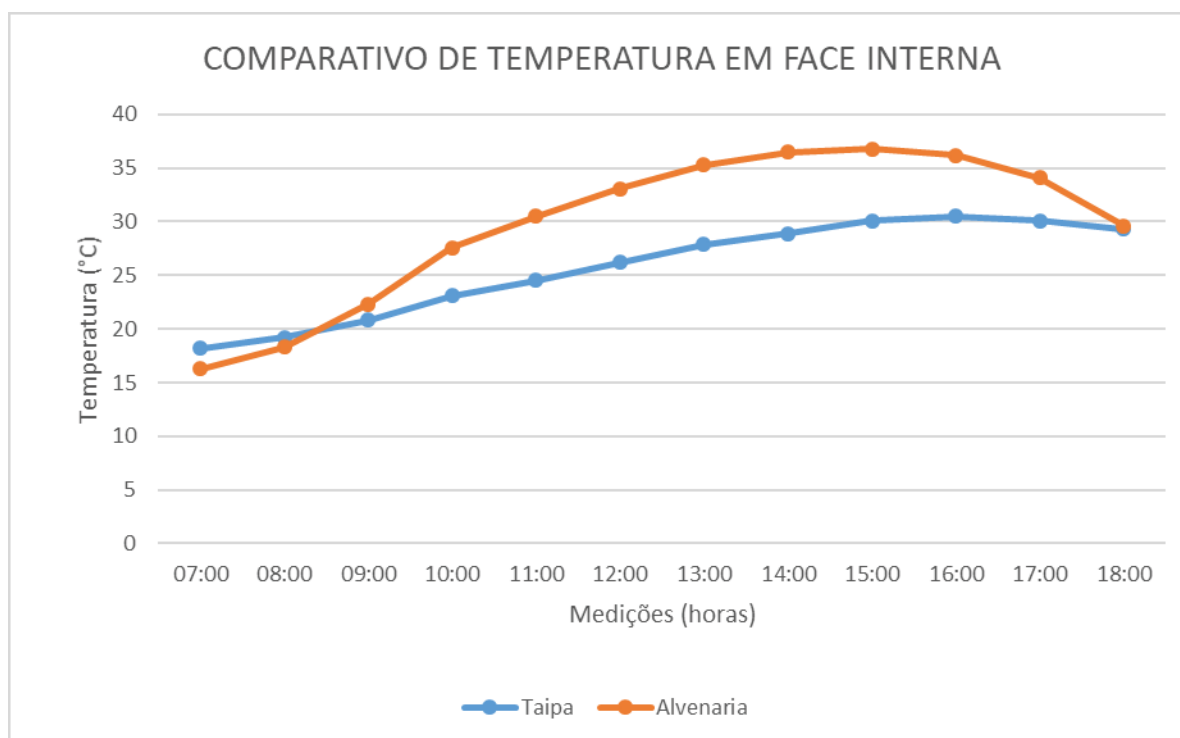
Nas imagens que se seguem ilustra-se a variação destas temperaturas pelos dois métodos em dias com grandes amplitudes térmicas, sendo um dia quente e outro mais frio dentro do espaço amostral dos 25 dias de análise. Para esta demonstração foi escolhido o dia 27 de agosto para representação do dia de clima quente e o dia 23 de setembro para clima mais ameno, onde na abcissa têm-se os horários de medição durante o dia e na ordenada as temperaturas medidas pelo termômetro digital.

**Figura 44 – Comparativo térmico nas faces externas em dia de clima quente.**



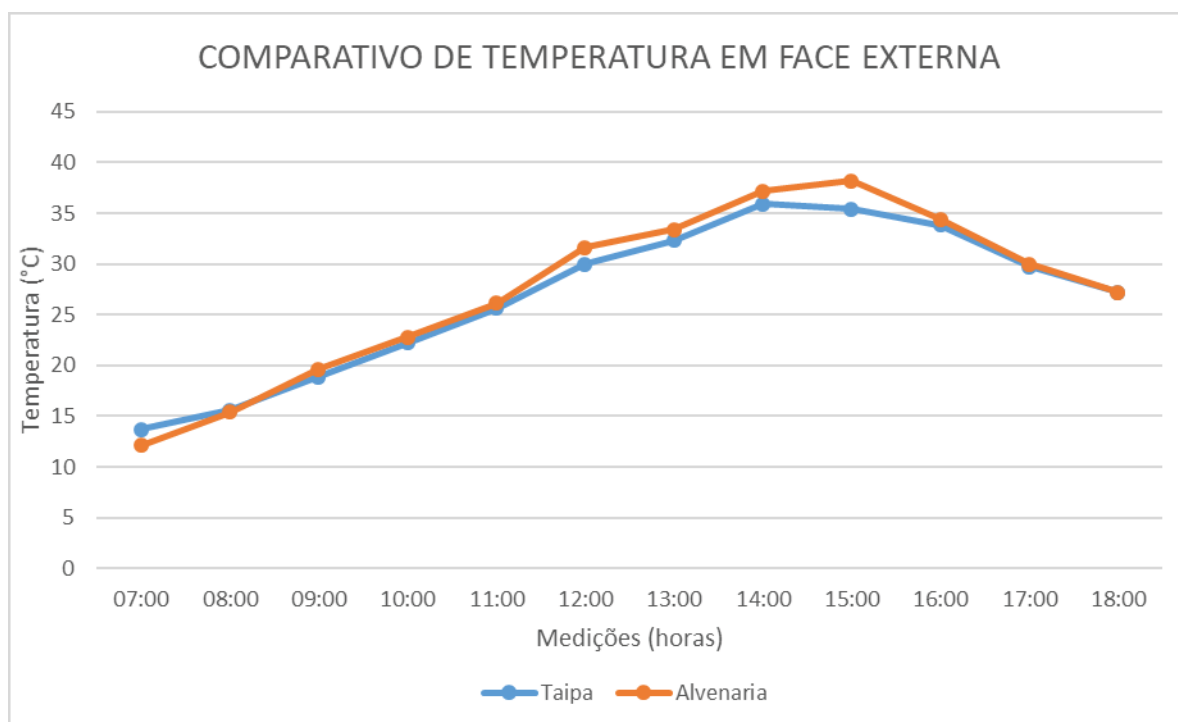
Fonte: Autoria própria.

**Figura 45 – Comparativo térmico nas faces internas em dia de clima quente.**



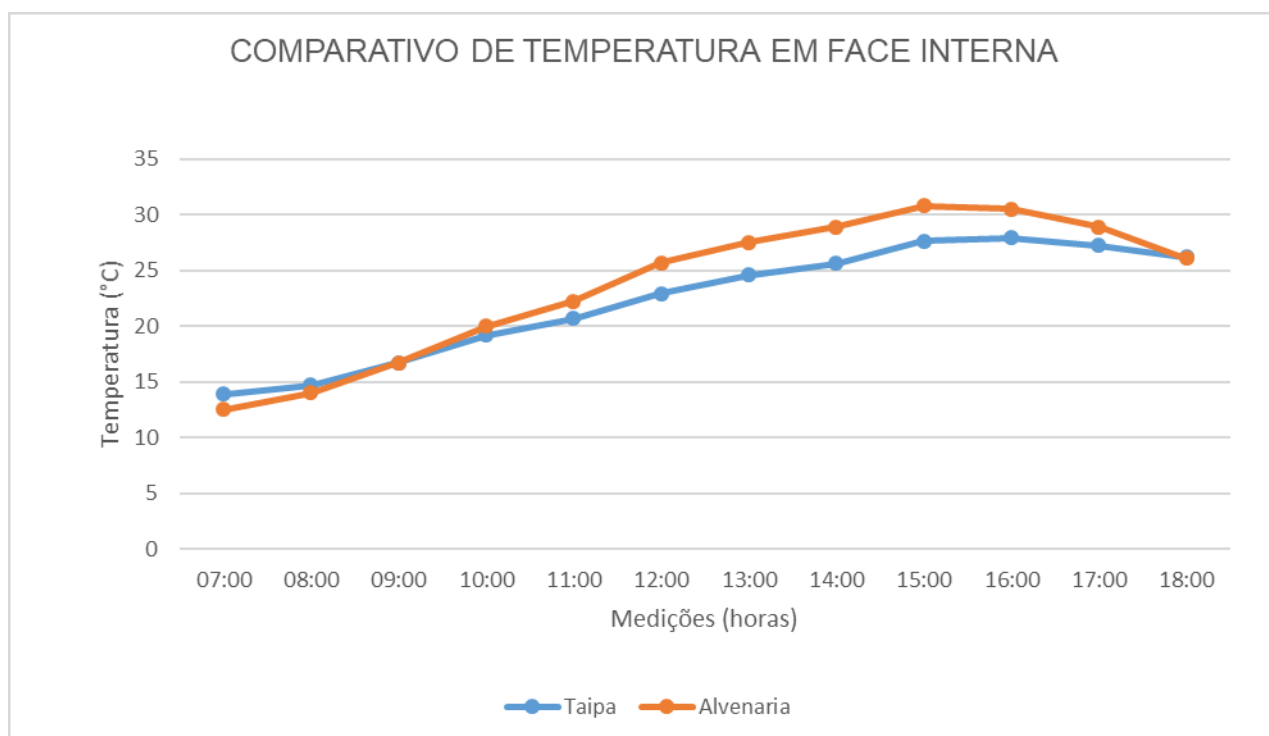
Fonte: Autoria própria.

**Figura 46 – Comparativo térmico nas faces externas em dia de clima ameno.**



Fonte: Autoria própria.

Figura 47 – Comparativo térmico nas faces internas em dia de clima ameno.



Com os resultados apresentados pode-se averiguar que no modelo construtivo de taipa de pilão as temperaturas internas ao longo do dia se mantêm com valores inferiores ao de alvenaria convencional. Este parâmetro se destaca mais em dias com registros de altas temperaturas, porém, mesmo em dias com temperaturas mais amenas, a taipa consegue manter temperaturas com valores inferiores em sua face interna.

#### 4.3 RELAÇÃO AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

Quanto ao valor despendido na produção dos dois modelos construtivos, pelo método da taipa de pilão observa-se uma maior economia quando comparada com a estrutura de alvenaria convencional. Um motivo deve-se ao fato de que no modelo em taipa na região em análise necessita-se apenas da aquisição da areia para a produção de seu traço. Os demais itens referentes a forma e ao pilão podem facilmente serem

elaborados de forma empírica pelo construtor, além de que não há em primeira instância, a necessidade de uma mão de obra especializada para tal serviço.

Para a construção da elevação em alvenaria convencional, houve um gasto maior nos materiais construtivos numa ordem de cerca de 68,05% em relação a taipa de pilão, além de que nesta técnica houve maior produção de resíduos no local de obra. Para este cálculo foi adotado apenas os valores despendidos na confecção dos muros em si, não considerando o gasto com as fundações de ambas elevações.

Deste modo, para a taipa o volume de material compactado se deu em cerca de 0,6 m<sup>3</sup>, como deste total 70% se referia à areia, teve-se um total de 0,42 m<sup>3</sup> de areia resultando em aproximadamente R\$ 26,04 no custo de areia utilizada. Para a construção em alvenaria por sua vez, considerando os traços, materiais e quantidade utilizada, houve um gasto de cerca de R\$ 81,50, o que comprova a economia da taipa em detrimento à alvenaria.

Além dos materiais de construção para a produção do muro em si, é preciso salientar que também houve no presente estudo a utilização de materiais como carrinho de mão, baldes, pás, betoneira e trator. Deste modo, em uma avaliação mais detalhada, deveria ser inserido tais valores destes materiais como os serviços de fornecimento/entrega. Assim, torna-se importante que o construtor sempre analise a disposição de materiais, equipamentos e mão de obra que julgar necessário para avaliar os custos da obra em si. No presente trabalho será avaliado apenas os custos despendidos para esta pesquisa na produção das elevações.

No caso de construir com o sistema de taipa de pilão de forma mecanizada, seria recomendado além da mão de obra, o uso de equipamentos como o socador pneumático para a compactação mais rápida e eficaz das camadas de solo, assim como uma forma metálica para que houvesse um maior aproveitamento e utilização de sua vida útil. Para tanto, aumentariam os custos, visto que um socador pneumático custa em média R\$ 3.000,00 e, ainda não há oferta deste equipamento em lojas de alugueis de materiais construtivos na cidade de Toledo e seus arredores, como Cascavel – PR.

Apesar do investimento inicial, a técnica de taipa mecanizada ainda forneceria benefícios econômicos a longo prazo, visto que os equipamentos podem ser por várias vezes reutilizados, além de contribuir com a proposta do viés sustentável.

## 5 CONCLUSÃO

Com o intuito de resgatar o potencial de técnicas construtivas tradicionais à atualidade, a taipa de pilão surge como uma alternativa que permeia em um cenário otimista para a adoção de estratégias sustentáveis. Por ser uma técnica que contribuiu de forma significativa ao patrimônio nacional desde o período banderista assim como modelo construtivo de diversas residências na região sudeste e nordeste de nosso país, resgatar e potencializar sua utilização faz com que a taipa continue a contribuir a manter esta técnica viva.

Analisando pelas condições socioambientais no setor da construção civil, pode-se observar que a taipa promove vantagens econômicas em relação à alvenaria convencional, amplamente utilizada no Brasil, visto que o custo para sua aplicação na cidade em estudo é muito menor quando comparado com a técnica de alvenaria mesmo tendo que adquirir todo o percentual de solo arenoso para execução da técnica.

Além disso, essa técnica comprovou possuir capacidade em manter a temperatura na face interna de sua elevação com constância, ao passo que na elevação em alvenaria apresentou-se grandes variações térmicas. Assim, este resultado pode se apresentar como um quesito positivo, visto que, na região em estudo possui invernos e verões intensos, com variações repentinas de temperatura ao longo do ano.

A taipa também se mostrou benéfica no sentido ambiental ao gerar menores quantidades de resíduos em sua produção e, por consequência menor poluição in loco como também por parte das indústrias, pois otimiza a utilização dos recursos naturais promovendo melhores condições ao ambiente em que se está inserida, além de ser uma técnica acessível, eficiente e durável. Porém é importante ressaltar a importância da análise de estudo do local a ser utilizada a técnica, pois uma grande quantidade de solo retirado no próprio terreno em construção pode ocasionar impactos ambientais, sendo assim de restrita responsabilidade do profissional realizar um estudo e formas de obtenção do material in loco ou em outro local que possua solo em abundância para que amenize danos ao meio ambiente.

No caso de surgir interesse para a confecção de residências/obras em taipa, é importante que haja um cuidado quanto as interpéries, sendo relevante o uso de bases

que evitem infiltração hídrica como também beirais ou impermeabilizantes, para que se mantenha a estabilidade e integridade da construção.

A técnica de taipa de pilão mecanizada, por mais que acrescente custos em sua produção, mostra-se uma alternativa com potencial em trazer economia de modo geral, aliando tecnologia com sustentabilidade e qualidade, podendo propiciar um ganho de espaço no mercado nacional. Porém para que isto ocorra, tanto o processo mecanizado como o tradicional necessitam de maior estudo e consolidação de conhecimentos acerca da técnica, para que seja possível a normatização de seu uso e futura expansão de sua aplicação.

O estudo deste trabalho em si, proporcionou mais que aprendizado. Abriu-se uma nova perspectiva do olhar de como profissional, refletir e estar em constante busca por construções limpas, simples, sustentáveis e que respeitem e tragam qualidade de vida aos seres humanos.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para futuras pesquisas na área de técnicas construtivas com o uso da taipa de pilão, recomenda-se:

- Realização de um cômodo ou casa em taipa de pilão, para análise do conforto térmico promovido pelo ambiente em si;
- Descobrir a percepção das pessoas quando inseridas em ambiente produzido em taipa e em alvenaria convencional;
- Promover estudo comparativo entre corpos de prova de taipa e alvenaria para que se possa obter relações sobre a resistência destes materiais quanto a tração e compressão na região em estudo.
- Realização de estudo de taipa de pilão mecanizada, obtendo os materiais necessários como o socador pneumático para avaliação de produtividade e qualidade em sua execução.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3:** Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120:** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14859-2:** Lajes pré-fabricadas de concreto – Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6502:** Análise granulométrica– Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7184:** Análise granulométrica– Solos. Rio de Janeiro, 1984.

A CONSTRUÇÃO NO BRASIL ANTES DE DOM PEDRO I. 2016. Disponível em: <<http://petcivil.blogspot.com/2016/04/a-construcao-no-brasil-antes-de-dom.html>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

ARRIGONI, Alessandro et al. Life cycle analysis of environmental impact vs. durability of stabilised rammed earth. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 142, p.135-136, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.066>.

BALTOKOSKI, Patrick Luan Cardoso. **Comparativo térmico e acústico entre os métodos construtivos, alvenaria convencional e parede de concreto moldada no local**. 2015. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6120/1/PB\\_COECI\\_2015\\_2\\_29.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6120/1/PB_COECI_2015_2_29.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2019.

BARBOSA, Elisabeti de Fátima Teixeira. **Conforto térmico e consumo de energia em ambientes de um supermercado de médio porte**. 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas-unicamp, Campinas, SP, 2013. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258594/1/Barbosa\\_Elisabetid eFatimaTeixeira\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258594/1/Barbosa_Elisabetid eFatimaTeixeira_M.pdf)>. Acesso em: 28 abr. 2019.



BARDOU, Patrick e ARZOUMANIAN, Varoujan. **Arquitecturas de adobe**. Barcelona: Gustavo Gili, 1981.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 382, de 26 de dezembro de 2006**. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.. Brasília, DF, 2 jan. 2007. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>>. Acesso em 10 set. 2019.

BRASIL, NORMA REGULAMENTADORA Nº 17, de 08 de junho de 1978. **Ergonomia**. Disponível em: <[http://www.trt02.gov.br/geral/tribunal2/LEGIS/CLT/NRs/NR\\_17.html](http://www.trt02.gov.br/geral/tribunal2/LEGIS/CLT/NRs/NR_17.html)>. Acesso em 10 mai. 2019.

BUENO, Mariano. **O Grande Livro da Casa Saudável**. São Paulo: Roca, 1995.

CIDADES HISTÓRICAS DE GOIÁS. Atrativos culturais: Cine Pireneus, 2015. Disponível em: Acesso em: 27 abr. 2019.

CARVALHO, Thaís Márjore Pereira de; LOPES, Wilza Gomes Reis. A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, Palmas - Tocantins. **Anais da 7 edição do CONNEPI - Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação**. Palmas: Ifac- Instituto Federal do Acre, 2012. p. 1 - 3. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/3762>>. Acesso em: 09 mai. 2019.

CORONA, Eduardo; LEMOS, Carlos A.C. **Dicionário de arquitetura brasileira**. São Paulo: Editora Edart, 1972.

COUTINHO, Brenda Rodrigues. **Avaliação de conforto térmico em ambientes naturalmente ventilados: um exemplo em restaurante universitário**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 2014. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258060/1/Coutinho\\_BrendaRodrigues\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258060/1/Coutinho_BrendaRodrigues_M.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2019.

FARIA, O.B; NEVES, C. **Rede Ibero-americana Proterra -FEB-UNESP / PROTERRA**, Bauru, p.9, 2011. Universidade de Engenharia de Bauru-FEB. [https://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/proterratecnicas\\_construcao\\_com\\_terra.pdf](https://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/proterratecnicas_construcao_com_terra.pdf)

FAZENDAS PAULISTAS. 2015. Disponível em:<<http://www.fazendaspaulistas.com.br/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

FEIBER, Silmara Dias. Técnicas construtivas tradicionais: os primórdios da sustentabilidade. **Thêma Et Scientia**, Cascavel, v. 2, n. 1, p.32-38, 2012. Semestral.

FREITAS Mônica Rosa de. **Arquitetura de terra: Aplicação de novos conceitos e métodos de restauração utilizando técnicas retrospectivas não agressivas.** Dissertação (Mestrado) – UFF/CT, 2002.

FURUKAWA, Fábio Massaharu; CARVALHO, Bruno Branco de. **Técnicas construtivas e procedimentos sustentáveis** - Estudo de caso: Edifício na cidade de São Paulo. 2011. 120 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, Sp, 2011. Cap. 2. Disponível em: <[https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119174/furukawa\\_fm\\_tcc\\_guara.pdf?seq](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119174/furukawa_fm_tcc_guara.pdf?seq)>. Acesso em: 23 abr. 2019.

HOW TO BUILD RAMMED EARTH WALLS. 2009. Disponível em: <<https://tinychousedesign.com/how-to-build-rammed-earth-walls/>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

IGREJA dos santos Cosme e Damião. 2010. Disponível em: <<http://agenda-cultural-igarassu.blogspot.com/2010/01/igreja-dos-santos-cosme-e-damiao.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura.** [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

LAU, Stephen Siu Yu; ZHANG, Ji; TAO, Yiqi. A comparative study of thermal comfort in learning spaces using three different ventilation strategies on a tropical university campus. **Building and Environment**, [s.l.], v. 148, p.579-599, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.032>.

LIMA JÚNIOR, G. **Arquitetura vernacular praieira.** Recife: Programa Petrobras Cultural, 2007.

MARQUES NETO, J. C. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** São Carlos: Rima, 2005.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 307, de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, DF, 5 jun. 2002. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em 10 set. 2019.

MINKE, Gernot. **Manual de Construcción en Tierra:** La tierra como material de construccion y su aplicacion en la arquitectura actual. 3. ed Montevideo: Fin de Siglo, 2008.

PISANI, M. A. J. **Taipas:** A arquitetura de terra. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

HISTÓRIA de Pirenópolis, Goiás. 2017. Disponível em: <<https://historiacomgosto.blogspot.com/2017/05/historia-de-pirenopolis-goias.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

**PROGRAMA DE TECNOLOGIA DE HABITAÇÃO – HABITARE.** Rio de Janeiro: Finep, ago. 2004. Disponível em: <[http://www.habitare.org.br/conteudoget.aspx?cd\\_conteudo=262](http://www.habitare.org.br/conteudoget.aspx?cd_conteudo=262)>. Acesso em: 27 abr. 2019.

RORIZ, Maurício. **DESEMPENHO TÉRMICO E AS PAREDES DE CONCRETO.** Disponível em: <<http://nucleoparededeconcreto.com.br/destaqueinterno/desempenho-termico-e-as-paredes-de-concreto/>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

SANTANA, Caroline Ribeiro. **Terra: uso em habitação de interesse social no Brasil.** 2016. 164 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2016. Disponível em: <<http://www.arquitetura.uema.br/wp-content/uploads/2018/08/UEMA-AU-TCC-2016-SANTANA-Terra-Uso-em-Habitação-de-Interesse-Social-no-Brasil.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

SANTOS, Clarissa Armando dos. **Construção com terra no Brasil: panorama, normatização e prototipagem com terra ensacada.** 2015. 290 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SILVA, W. C. da; SANTOS, G. O.; ARAUJO, W. E. L. de. RESÍDUOS SÓLIDOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: CARACTERIZAÇÃO, ALTERNATIVAS DE REUSO E RETORNO ECONÔMICO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p.286-302, 1 set. 2017. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v6e22017286-301>.

SILVA, Cláudia Gonçalves Thaumaturgo da. **Conceitos e Preconceitos Relativos às Construções em Terra Crua.** Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2000.

TAIPA: UM GUIA PARA ARQUITETOS E ENGENHEIROS. 2018. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/taipa/>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

TELLI, Francielli Hang. **Taipa de pilão.** Florianópolis: Arq:ufsc, 2014. 15 slides, color. Disponível em: <<http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/files/2014/03/FICHA-25-Taipa-de-pilão.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

TINSLEY, J.; PAVÍA, S. Thermal performance and fitness of glacial till for rammed earth construction. **Journal of Building Engineering**, [s.l.], v. 24, p.1-15, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.job.2019.02.019>.

TORGAL, F. Pacheco; EIRES, Rute M. G. e JALALI, Said. **Construção em terra.** Portugal. Delegación Portugal, 2009.

## ANEXO A – Tabelas

Tabela 1 – Pesagem de amostra de solo para ensaio de sedimentação.

BECKER	PESO SOLO (g)	PROVETA
F	70,01	12
B	70,00	11
H	70,00	14

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 –Sedimentação Proveta 11.

PROVETA 11		
Tempo	Leitura 1	Temperatura
30 s	1043	22
1 min	1043	22
2 min	1043	22
Tempo	Leitura 2	Temperatura
30 s	1043	22
1 min	1043	22
2 min	1043	22
Tempo	Leitura	Temperatura
4 min	1043	22
8 min	1043	22
15 min	1042,5	22
30 min	1042	22
1h	1041,5	22
2h	1040	22
4h	1039,5	22
8h	1038	24
24h	1036	22

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 3 – Sedimentação Proveta 12.**

<b>PROVETA 12</b>		
<b>Tempo</b>	<b>Leitura 1</b>	<b>Temperatura</b>
30 s	1040,5	22
1 min	1040,5	22
2 min	1040,5	22
<b>Tempo</b>	<b>Leitura 2</b>	<b>Temperatura</b>
30 s	1042,5	22
1 min	1042,5	22
2 min	1042,5	22
<b>Tempo</b>	<b>Leitura</b>	<b>Temperatura</b>
4 min	1042,5	22
8 min	1042	22
15 min	1042	22
30 min	1041,5	22
1h	1041	22
2h	1040,5	22
4h	1039,5	22
8h	1038	24
24h	1036	24

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 4 – Sedimentação Proveta 13.**

<b>PROVETA 14</b>		
<b>Tempo</b>	<b>Leitura 1</b>	<b>Temperatura</b>
30 s	1041,5	22
1 min	1041,5	22
2 min	1041,5	22
<b>Tempo</b>	<b>Leitura 2</b>	<b>Temperatura</b>
30 s	1044	22
1 min	1044	22
2 min	1044	22
<b>Tempo</b>	<b>Leitura</b>	<b>Temperatura</b>
4 min	1043,5	22
8 min	1043	22
15 min	1042,5	22
30 min	1042	22
1h	1041,5	22
2h	1040,5	22
4h	1039,5	23
8h	1037,5	24
24h	1036	24

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 5 – Massa seca de solo retido na peneira nº 200**

<b>Proveta</b>	<b>Capsula</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>1</b>	S1	1,24
<b>2</b>	S10	1,10
<b>3</b>	S4	1,02
	<b>Média</b>	1,12

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6 – Peneiramento de material contido na capsula S4

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>1,2</b>	0,0
<b>0,6</b>	0,16
<b>0,42</b>	0,11
<b>0,25</b>	0,16
<b>0,15</b>	0,34
<b>0,075</b>	0,25
<b>Fundo</b>	0,0

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7 – Peneiramento de material contido na capsula S1

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>1,2</b>	0,06
<b>0,6</b>	0,21
<b>0,42</b>	0,13
<b>0,25</b>	0,15
<b>0,15</b>	0,31
<b>0,075</b>	0,34
<b>Fundo</b>	0,04

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 – Peneiramento de material contido na capsula S10

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>1,2</b>	0,01
<b>0,6</b>	0,23
<b>0,42</b>	0,08
<b>0,25</b>	0,20
<b>0,15</b>	0,29
<b>0,075</b>	0,28
<b>Fundo</b>	0,01

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 9 – Média de peneiramento**

<b>Abertura peneira (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>1,2</b>	0,02
<b>0,6</b>	0,20
<b>0,42</b>	0,11
<b>0,25</b>	0,17
<b>0,15</b>	0,31
<b>0,075</b>	0,29
<b>Fundo</b>	0,02
<b>TOTAL</b>	1,12

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 10 – Valores obtidos para determinação do teor de umidade**

<b>Cápsula</b>	<b>Peso cap. (g)</b>	<b>Peso solo (g)</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>
13	25,56	30	55,56	53,93	25,56
23	25,19	30	55,19	53,49	25,19
19	25,22	30	55,22	53,68	25,22
10	25,64	30	55,64	54,01	25,64
27	25,69	30	55,69	54,05	25,69
6	24,22	30	54,22	52,52	24,22

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 11 – Amostras e seus respectivos balões volumétricos**

<b>Amostra</b>	<b>Balão Volumétrico</b>
<b>E</b>	<b>E</b>
<b>X</b>	<b>D</b>

Fonte: Autoria própria.



Tabela 12 – Pesagem e temperatura do balão volumétrico E.

<b>BALÃO VOLUMÉTRICO (E)</b>		
<b>LEITURA</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
1	701,03	23
2	700,82	23
3	700,77	23
4	700,5	23
<b>MÉDIA</b>	<b>700,780</b>	<b>23</b>

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Pesagem e temperatura do balão volumétrico D.

<b>BALÃO VOLUMÉTRICO (D)</b>		
<b>LEITURA</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
1	701,35	22,5
2	701,28	23
3	700,93	23
4	700,65	23
<b>MÉDIA</b>	<b>701,053</b>	<b>22,875</b>

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14 – Equações de calibração dos balões volumétricos.

<b>BALÃO VOLUM.</b>	<b>TEMPERATURA (X)</b>	<b>EQUAÇÃO</b>	<b>PESO (g)</b>
<b>E</b>	23	$y = -0,0022X^2 + 0,0192X + 674,06$	<b>672,455</b>
<b>D</b>	22,875	$y = -0,0021X^2 + 0,0272X + 675,04$	<b>673,319</b>

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 – Massa específica obtida pelo ensaio.

<b>Amostra</b>	<b>Massa Específica (g/cm³)</b>
<b>1</b>	2,489
<b>2</b>	2,415
<b>Média</b>	2,452

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de taipa em face externa.

Taipa Face Norte	26/ago	27/ago	05/set	07/set	09/set	14/set	15/set	23/set
07:00	14,4	18,3	15	19,2	24	20,2	22,8	13,7
08:00	17,1	19,8	16,2	20	25,4	20,8	23,5	15,6
09:00	20,1	22,6	19	22	27,2	25,4	26,6	18,9
10:00	24	28,6	26,9	25,8	30,6	29,7	31,5	22,2
11:00	28,2	30,8	32,7	28,8	34,7	33,7	35	25,6
12:00	35,1	35,8	34	33,9	34,8	37,9	37,8	30
13:00	38	39,8	33,8	35,2	37,4	38,2	40	32,3
14:00	40,3	41,9	31,3	36,8	37	40,2	41,3	35,9
15:00	40	42,8	30,4	36,3	37,2	39,8	41,4	35,4
16:00	37,2	41,8	25,6	32,9	37,9	40,9	40,4	33,8
17:00	32,4	39,8	23,5	32,5	34,7	35,9	37	29,7
18:00	28,2	34	21,5	30,3	33	32,8	34,2	27,2

Taipa Face Norte	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	29/set	01/out	02/out
07:00	16,4	20,1	18,5	18,1	18,3	19,1	21,2	25,3
08:00	17,7	20,7	19,5	20,2	19,2	20,5	23,5	27,6
09:00	20,6	22,1	20,9	24,1	21,8	24,2	28	31
10:00	25,9	22,3	27,6	28,5	25,3	28,2	31,5	34
11:00	30,5	22,1	30,6	31,9	29	31,9	34,7	34,9
12:00	32,8	25,7	32,3	35,9	32,9	35,4	37,9	39,9
13:00	37,9	27,6	36,7	39,4	35,2	39,4	39,8	40,7
14:00	36,9	30,6	37,9	42,3	37,7	40,8	41	39,9
15:00	38,3	31,8	39,5	42,4	38,9	41,7	41,3	42,9
16:00	34,8	27,5	39,5	42,2	38,4	42,1	39,8	40
17:00	33,7	26,6	34,8	37,8	36,6	39,7	36,5	36,8
18:00	30,5	25,3	30,4	32,7	31,6	34	34,5	21,3

Taipa Face Norte	03/out	04/out	05/out	06/out	17/out	18/out	19/out	20/out
07:00	22,8	22,6	22,9	17,7	23,4	25	20,2	22,9
08:00	23,3	23,5	23,6	18,4	24,2	27	21,9	24,6
09:00	23,7	27,9	24,4	18,5	25,8	30,1	24,1	25,5
10:00	25,6	31,2	27,4	18,5	26,6	32,5	27,3	26
11:00	28,3	34,9	27,2	18,4	28,6	37,4	34,9	26,3
12:00	30,8	33,9	30	19,7	32,3	38	34,4	28,2
13:00	32,8	35,6	28,7	19,6	32,2	41,1	38,4	30,4
14:00	33,3	38	23,3	19,3	32,5	36,2	35,7	29,3
15:00	35,8	36,6	22,1	19,9	37,4	28,5	36,9	30,1
16:00	37,3	37,9	22,4	20,8	36,5	27,4	35,5	30,5
17:00	33,9	35,2	21,5	21	34	26,2	33,2	28,6
18:00	31,2	33,2	20,4	20,1	32,2	25,5	31,1	27,7

Taipa Face Norte	21/out
07:00	20,8
08:00	20,8
09:00	21,2
10:00	22,8
11:00	23,9
12:00	23,3
13:00	22,2
14:00	22
15:00	23,7
16:00	22,3
17:00	21,4
18:00	21,1

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 20 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de taipa em face interna.**

Taipa Face Sul	26/ago	27/ago	05/set	07/set	09/set	14/set	15/set	23/set
07:00	14,3	18,2	14,9	19,1	23,8	19,9	22,8	13,9
08:00	15,3	19,2	15,7	19,7	24,4	20,1	23,2	14,7
09:00	16,8	20,8	18,1	21,2	25,8	22,5	25,2	16,7
10:00	18,9	23,1	22,1	23,3	27,8	25,1	27,8	19,2
11:00	21,6	24,5	25,1	25	29,6	27	29,7	20,7
12:00	23,3	26,2	27,9	26,9	31,3	28,5	31,2	22,9
13:00	25,2	27,9	30,1	28,6	32,9	29,8	32,2	24,6
14:00	27	28,9	29,1	29,5	33,59	30,7	33,3	25,6
15:00	26,8	30,1	28,4	30,1	34,2	31,4	33,9	27,6
16:00	26,7	30,5	24,8	29,8	34,4	32	34,3	27,9
17:00	25,9	30,1	22,8	30,3	33,8	31,5	33,7	27,2
18:00	25,1	29,3	21,2	29,5	33	30,6	32,9	26,2

Taipa Face Sul	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	29/set	01/out	02/out
07:00	16,3	19,8	18	18,4	18,4	19,8	21,8	25,5
08:00	17,2	20,3	19	20,6	19,6	21,7	23,4	27,3
09:00	19,1	21,2	19,6	22,6	20,6	23	26	29,3
10:00	22,1	21,8	21,3	25,4	22,7	25,5	28,2	31,9
11:00	25	21,7	24,3	26,9	25,3	27,2	30	32,9
12:00	26,7	23,6	25,2	27,6	27,1	28,9	31,8	33,6
13:00	27,5	25,4	26,8	28,7	28,9	29,6	33,2	34,7
14:00	29,2	26,7	27	29,4	29,5	31,2	34,4	35,5
15:00	29,8	27,5	29,1	30,8	30,4	32,9	35,2	36,6
16:00	30,1	26	29,3	30,9	30,8	32,4	35,3	36
17:00	30	26	28,6	31	30,6	32,7	34,5	35,9
18:00	28,7	25,4	27,7	30,3	29,6	31,6	33,7	35

Taipa Face Sul	03/out	04/out	05/out	06/out	17/out	18/out	19/out	20/out
07:00	23	22,7	22,9	17,5	23,1	24,4	19,2	21,4
08:00	23,1	23,1	23,4	17,7	23,8	26,5	20,4	23,6
09:00	23,3	25,6	23,9	17,8	25	28,5	22,8	24,7
10:00	24,1	27,6	24,7	17,8	25,6	29,9	25	24,9
11:00	25,2	29,3	25,2	17,6	27,7	31,5	26,4	25,1
12:00	26,5	29,6	27,1	18,5	29,4	32,2	29,6	26,9
13:00	27,8	30,4	27,9	18,6	30,4	33,2	34,3	27,4
14:00	28,2	31,2	25,3	18,8	30,9	24,6	32,5	26,6
15:00	29,4	31,9	24,5	19,2	33,4	23,6	32,5	27,7
16:00	30,9	32,5	24,4	19,7	33,2	22,9	30,5	28,5
17:00	30,3	31,8	23,5	19,9	32,7	22,1	26,8	26,4
18:00	29	30,7	22	19,7	31,7	21,5	24,6	23,2

Taipa Face Sul	21/out
07:00	20,9
08:00	21,1
09:00	21,6
10:00	24,4
11:00	25,4
12:00	24,1
13:00	22,3
14:00	21,6
15:00	24
16:00	21,9
17:00	20,5
18:00	20,3

Fonte: Autoria própria.

**Tabela 21 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de alvenaria em face externa.**

Alvenaria Face Norte	26/ago	27/ago	05/set	07/set	09/set	14/set	15/set	23/set
07:00	13,3	16,3	18,7	18,7	22,2	18,6	21,4	12,1
08:00	17,5	18,8	19	20	24,7	19,6	22,9	15,4
09:00	21,6	24,8	20,6	22,7	29,9	26,3	27,1	19,6
10:00	26,8	33,6	25,9	28	33,5	31,4	33,4	22,8
11:00	32,5	34,7	30,9	31,1	36,5	36,3	37,4	26,1
12:00	41,8	42,1	32,7	35,2	38,5	40,4	40,5	31,6
13:00	43,8	46,2	32,5	36,59	39,9	40,8	42,6	33,4
14:00	46,5	47,7	31,1	37,59	41,8	42,9	43,8	37,2
15:00	41	47	30,7	35,9	39,4	41,8	43,3	38,2
16:00	35,9	44,1	27,8	32,9	36,8	41,7	41,9	34,4
17:00	27,7	38,1	26,4	32,5	35,2	34,8	36,2	30
18:00	22	30,1	25	29,6	32,4	30,5	32,8	27,2

Alvenaria Face Norte	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	29/set	01/out	02/out
07:00	15,9	19	16,8	16,4	16,2	17,4	20,4	24
08:00	20,4	20,3	18,2	21,4	18,4	22,7	24,2	27,6
09:00	21,5	22,2	21,6	26,4	22,3	26,6	29,4	32
10:00	29,9	22,4	28,4	31,3	25,6	31,8	33,9	35,2
11:00	34	22,2	31,9	34	31,9	33,7	36,5	34,3
12:00	34,4	26,7	32,8	37,8	33,9	36,9	38,5	40,7
13:00	40,3	28,2	38	43	35,3	39,7	41,3	42,3
14:00	36,9	31,2	39,2	46	37,4	41	42,3	41
15:00	40,3	32,8	41,5	44	38,2	40,5	42,1	43,6
16:00	36,3	26,4	40,6	43,3	37,4	42,2	40,3	39,6
17:00	33,5	25,6	33,2	39,4	36,3	38,8	36,9	35,7
18:00	29,1	23,4	28,2	31,6	30,2	32,9	33,7	21

Alvenaria Face Norte	03/out	04/out	05/out	06/out	17/out	18/out	19/out	20/out
07:00	20,6	22	22,4	17,5	22,6	23,9	19,2	21,6
08:00	21,2	23,1	23,4	17,7	24	27,8	22	24,5
09:00	21,8	27,5	24,5	18,2	26,6	32,7	25,3	25,7
10:00	23,9	31,3	28,1	18,1	27,6	36,5	30,7	26,5
11:00	27,5	35,9	29,6	18	30,5	41,1	35,8	26,6
12:00	33,2	35,9	33,5	19,9	35,5	42,3	35,9	29,2
13:00	34,9	38,5	31,4	19,9	35,3	43,3	40,9	32,2
14:00	35,4	43	24,5	19,9	35,4	37	37,9	30,2
15:00	38,7	41,6	24,2	20,6	41,5	24,9	38,9	31
16:00	40	40,4	24,1	21,2	39,9	23,5	36,3	31,3
17:00	34,9	38,5	22,4	21,5	35,59	22,4	32,8	28,4
18:00	31,6	34,5	20,6	20,3	32,4	22,2	29,6	26,5

Alvenaria Face Norte	21/out
07:00	20,4
08:00	20,2
09:00	21
10:00	23,9
11:00	24,7
12:00	23,5
13:00	21,5
14:00	21,2
15:00	23
16:00	21,1
17:00	19,7
18:00	19,5

Fonte: Autoria própria.

Tabela 22 – Dados de temperatura obtidos pelo sistema de alvenaria em face interna.

Alvenaria Face Sul	26/ago	27/ago	05/set	07/set	09/set	14/set	15/set	23/set
07:00	13,2	16,3	16,2	18,6	21,8	18,7	21,6	12,5
08:00	15,8	18,3	16,6	19,79	23,7	19,2	22,3	14
09:00	18,2	22,3	18	22,4	27,6	22,8	25,5	16,7
10:00	22,2	27,6	20,9	26,7	31,2	27,5	30	20
11:00	26,8	30,5	22,8	29,1	33,8	31	33,9	22,2
12:00	30,5	33,1	24,6	32,9	36,9	33,3	35,3	25,7
13:00	33,5	35,3	25,6	34,2	37,9	34,8	36,7	27,5
14:00	34,7	36,5	25,7	34,9	38,3	35,4	37,6	28,9
15:00	31,3	36,8	25,8	34,9	38	35,59	37,7	30,8
16:00	29,4	36,2	23,5	33	37,7	35,4	37,2	30,5
17:00	26,1	34,1	22,6	32,5	35,5	33,59	34,9	28,9
18:00	22,2	29,6	22	29,6	32,9	30,9	32,3	26,1

Alvenaria Face Sul	24/set	25/set	26/set	27/set	28/set	29/set	01/out	02/out
07:00	15,3	18,6	16,4	16,7	16,2	17	20,7	23,3
08:00	17,2	19,6	18,2	20,4	19	21	23,8	28,6
09:00	20,1	21,6	19,4	23,5	20,8	24	27,5	31,5
10:00	24,5	22,2	22	27,9	23,6	28	31,4	36,3
11:00	28,4	21,9	27,9	30,5	27,8	30,8	34,9	35
12:00	32	25,5	29,2	31,4	30,4	33,3	36,5	37,5
13:00	32,7	29,1	31	33,5	32,6	34,9	37,9	39
14:00	33,8	30,9	30,7	33,4	33,6	36,9	38,8	39,6
15:00	34,8	32	32,7	34,9	34,2	36,6	39,3	39,8
16:00	34,4	27,7	32,5	34,2	34,2	36,4	38,4	38,9
17:00	32,7	26,8	30,3	33,2	33,2	35,6	36,2	36
18:00	29,3	25,2	27,6	30,8	30,2	32,6	33,5	21,7

Alvenaria Face Sul	03/out	04/out	05/out	06/out	17/out	18/out	19/out	20/out
07:00	20,2	22,9	22,6	17,1	25	24,9	23,4	21,4
08:00	20,7	23,9	23,7	17,4	26,4	28,3	27	24,2
09:00	21,1	25,9	24,6	17,7	29,1	31,3	27,7	25,8
10:00	23	29,1	27,4	17,5	27,1	33,8	25,5	26,1
11:00	26	32,9	28,9	17,5	29,8	36,9	28,1	27,4
12:00	30	35,9	30,7	18,8	33,8	39,7	27,9	29
13:00	34,9	36,9	31	18,9	35,5	42,2	31,3	31,8
14:00	34,9	37,5	24,2	18,8	35,5	34,5	32,5	29,9
15:00	37,4	38,3	24	19,4	37,4	22,1	33	30,7
16:00	36	38,5	23,6	19,9	37	21,8	31,8	29,3
17:00	34,5	37,5	22,3	19,9	35,5	20,9	30,6	27,7
18:00	31,9	35,8	20,4	19,6	32,7	21,4	28,4	25,5

<b>Alvenaria Face Sul</b>	<b>21/out</b>
<b>07:00</b>	20,4
<b>08:00</b>	20,7
<b>09:00</b>	21,3
<b>10:00</b>	24,5
<b>11:00</b>	25,2
<b>12:00</b>	23,8
<b>13:00</b>	21,3
<b>14:00</b>	20,9
<b>15:00</b>	22,7
<b>16:00</b>	20,9
<b>17:00</b>	19,6
<b>18:00</b>	19,4

Fonte: Aatoria própria.