

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE TAIPA  
MECANIZADA: ESTUDO DE CASO DA SEDE DO CANTEIRO  
EXPERIMENTAL DA UFMS**

**ANA CAROLINA VERALDO**

**CAMPO GRANDE**

**2015**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO DE TAIPA  
MECANIZADA: ESTUDO DE CASO DA SEDE DO CANTEIRO  
EXPERIMENTAL DA UFMS**

**ANA CAROLINA VERALDO**

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Sustentabilidade.

**Orientador: Prof. Dr. Andrea Naguissa Yuba**

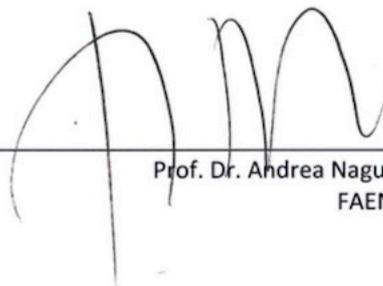
**CAMPO GRANDE**

**SETEMBRO / 2015**

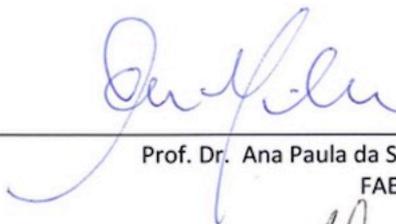
# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade  
Curso de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade

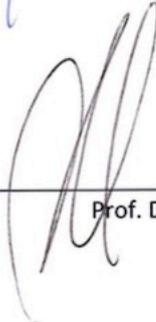
Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por Ana Carolina Veraldo, aprovada pela Comissão Julgadora em 03 de novembro de 2015, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Andrea Naguissa Yuba  
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Ana Paula da Silva Milani  
FAENG/UFMS



Prof. Dr. Akemi Ino  
IAU/USP

## **DEDICATÓRIA**

Dedicado à regeneração do Planeta.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Universo pela oportunidade.

À Nagui, pela sensibilidade de apontar um caminho e orientar o percurso, sempre com muita gentileza e presteza.

À Rede TerraBrasil, em especial ao amigo Márcio V. Hoffmann pelo conhecimento transferido e Célia Neves pelo apoio.

Aos professores Geovani F. Alves, Ana Paula Milani, David Alex, pelos ensinamentos colaborativos.

Aos pequenos gestos e palavras dos colegas professores, Simone Fortes, Juliana Trujillo, Gutemberg Weingartner, Maria Lúcia e João Onofre.

À minha família, que torce por mim.

Às experiências práticas difíceis com arquitetura e construção de terra, que me impulsionaram a buscar o conhecimento.

Aos patrocinadores e colaboradores: FUNDECT, CNPq, UFMS, Taipal Construções em Terra, Construgreen, Neomatex, Votorantim Cimentos, Sermix, Batlab, Ecomáquinas, Quartozolit, SF Formas, Mineração Xerez, Cerâmica Volpini.

E finalmente à terra, que nos alimenta, abriga e cura.

"Do que vale olhar sem ver?"

Goethe

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO .....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Metodologia da pesquisa.....	4
1.2 Estrutura do trabalho.....	5
2 A EVOLUÇÃO DA TÉCNICA.....	6
2.1 QUANTO À TERMINOLOGIA.....	6
2.1.1 Terra ou solo?.....	6
2.1.2 Taipa.....	7
2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICO-TECNOLÓGICA DA TAIPA.....	9
2.2.1 Da mecanização.....	10
2.2.2 Das formas.....	13
2.2.3 Dos detalhamentos de projeto.....	15
2.3 Desafios atuais do sistema construtivo da taipa mecanizada.....	20
2.3.1 Aspecto estético.....	20
2.3.2 Estabilização.....	24
2.3.3 Defeitos.....	25
2.3.4 A sustentabilidade da taipa mecanizada.....	28

2.3.5	O processo produtivo, o ciclo de vida e a cadeia produtiva de paredes de taipa .	31
3	A SEDE DO CANTEIRO EXPERIMENTAL .....	33
3.1	O projeto de arquitetura do protótipo habitacional .....	34
4	ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO.....	39
4.1.1	Montagem da forma .....	39
4.1.2	Homogeneização e transporte da mistura.....	43
4.1.3	Mistura solo-cimento-microfibra-água .....	45
4.1.4	Compactação da parede de taipa .....	46
4.1.5	Desforma e cura .....	48
4.2	Interfaces da taipa com outros subsistemas.....	50
4.3	Questões estudadas.....	52
4.4	Avaliação das interfaces do sistema construtivo.....	52
4.5	Defeitos ocorridos nas parede .....	60
4.5.1	Marcas superficiais.....	61
4.5.2	Defeitos medidos:.....	62
4.5.3	Métodos de medição .....	63
4.6	Avaliação dos equipamentos.....	73
4.6.1	Forma de aço .....	76
4.6.2	Forma de alumínio .....	76
4.6.3	Compactador pneumático e compressor .....	76
4.6.4	Misturador planetário .....	76
4.6.5	Betoneira: .....	77
4.6.6	Misturador sextavado .....	77
4.6.7	Esteiras .....	77
4.6.8	Triturador .....	78
4.6.9	Peneira vibratória .....	78

4.6.10	Speedy .....	78
4.7	Desempenho da produção .....	78
4.8	Produtividade .....	82
4.9	Gargalos, lacunas e perspectivas para a formação da cadeia produtiva .....	83
4.9.1	Projeto: .....	85
4.9.1	Execução: .....	87
4.9.2	Pós-execução: .....	89
4.9.3	Uso e manutenção: .....	90
4.9.4	Demolição: .....	90
4.10	Cenários atuais da cadeia produtiva no Brasil .....	91
4.11	Relações existentes entre as variáveis da produção de paredes de taipa .....	93
4.11.1	Os ganhos da mecanização e os obstáculos a serem superados .....	93
4.11.2	O desenho da edificação adequado à técnica .....	94
4.11.3	A qualidade da técnica, do material e aceitação do mercado .....	94
4.11.4	A cadeia produtiva e os cenários de produção .....	95
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	95
6	REFERÊNCIAS .....	96
	GLOSSÁRIO .....	102
	ANEXO I .....	104

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Horizontes principais do solo .....	7
Figura 2: Taipa de pilão tradicional no Vale de Todra, Marrocos .....	8
Figura 3: Classificação das três grandes famílias de sistemas construtivos com terra crua.....	8
Figura 4: Taipa tradicional x taipa mecanizada .....	9
Figura 5: Pré-fabricados de taipa mecanizada usados em Ricola Herb Center, Suíça.....	10
Figura 6: Tipos de misturadores.....	11
Figura 7: Parede A (esquerda) e parede B (direita), ambas com compactação pneumática ....	11
Figura 8: Tipos de compactadores: manuais, pneumáticos e mecânico.....	12
Figura 9: Equipamentos para transporte do solo .....	13
Figura 10: Sistemas de formas tradicionais.....	14
Figura 11: Tipos de formas de taipa na atualidade.....	14
Figura 12: Sistema G-1 à esquerda e sistema G-2 à direita .....	15
Figura 13: Evolução do tipo arquitetônico .....	16
Figura 14: Sanduíche de paredes de taipa mecanizada com função estrutural e térmica.....	16
Figura 15: Ações da umidade em paredes de taipa .....	17
Figura 16: Aberturas na taipa tradicional x contemporânea .....	18
Figura 17: Combinação taipa-concreto e quinas 45° - Catedral St Thomas More, WA .....	18
Figura 18: Detalhe de junta de controle e articulação entre paredes adjacentes .....	19
Figura 19: Camadas de solo em tonalidades diversas .....	21
Figura 20: Texturas lisas e rugosas em paredes de taipa na Áustria, Brasil e Austrália .....	22
Figura 21: Escalas granulométricas adotadas pela A.S.T.M., A.A.S.H.T.O, M.I.T e ABNT..	22
Figura 22: Seixos, cascalho, areias, silte, argila.....	23
Figura 23: Material que aderiu na forma durante a desforma .....	27
Figura 24: Etapas do ciclo de vida de duas paredes, destacando as etapas de transporte .....	30
Figura 25: Fotos da casa de taipa próxima a Birmingham, Alabama.....	31
Figura 26. Protótipo de habitação na UFMS.....	33
Figura 27. Vista oeste do protótipo de habitação.....	35
Figura 28. Vista sul do protótipo de habitação.....	35
Figura 29. Planta do protótipo de habitação.....	36
Figura 30: Implantação do protótipo habitacional de taipa, sede do canteiro.....	37
Figura 31. Ordem de execução das paredes do protótipo de habitação. ....	38

Figura 32. Cobertura metálica do protótipo de habitação. ....	38
Figura 33: Fluxograma do processo e etapas de execução e pós-execução da parede de taipa mecanizada. ....	39
Figura 34: Concretagem da fundação.....	40
Figura 35 : Projeto esquemático da forma utilizada na construção das paredes de taipa do protótipo .....	41
Figura 36: Detalhes da montagem da forma .....	42
Figura 37: Layout do canteiro e conjunto de máquinas utilizadas na execução da parede 6... 44	44
Figura 38: Etapa de lançamento e compactação da mistura dentro da forma .....	48
Figura 39. Desforma e cura das paredes. ....	48
Figura 40: Marcas de cortes e defeitos de nivelamento da superfície da parede. ....	61
Figura 41: Heterogeneidade na superfície da parede. ....	62
Figura 42: Manchas de eflorescências nas paredes de taipa. ....	62
Figura 43: Etapas da medição das fissuras e trincas. ....	64
Figura 44: Método de medição do arrancamento A, da parede 1. ....	68
Figura 45: Medição da desagregação .....	71
Figura 47: Misturadores avaliados .....	74
Figura 48: Misturador planetário.....	74
Figura 49: Compactador pneumático e compressor .....	75
Figura 50: compactador pneumático, esteira transportadora + triturador e peneira vibratória 75	75
Figura 51: Equipamento Speedy .....	75
Figura 52: Problemas do misturador planetário .....	77
Figura 53: Linha do tempo referente a construção das paredes de taipa e moldagem dos mini-painéis.....	79
Figura 54: Corpo de prova moldado paralelamente à execução das paredes.....	79
Figura 55: Valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova e capacidade de absorção de água da mistura de solo-cimento e solo-cimento-fibras.....	81
Figura 56. Comparação entre os processos construtivos.....	83
Figura 57: Processo de produção/ciclo de vida de paredes de taipa. ....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Arranjos da mecanização e traços adotados em cada parede.....	44
Tabela 2: Dados das medições e mapeamento de fissuras e trincas.....	64
Tabela 3: Dados das medições e mapeamento de fissuras e trincas.....	65
Tabela 4: Dados das medições e mapeamento de fissuras e trincas.....	65
Tabela 5: Dados das medições e mapeamento dos arrancamentos da parede 1 (interna e externa).....	68
Tabela 6: Dados das medições e mapeamento dos arrancamentos da parede 4 (interna e externa).....	69
Tabela 7: Dados das medições e mapeamento dos arranchamentos da parede 5.....	70
Tabela 8: Dados das medições e mapeamento da desagregação.....	72
Tabela 9. Resultados de ensaios físico-mecânicos dos corpos de prova de solo-cimento-fibra. .....	80
Tabela 10: Responsabilidades e agentes no arranjo produtivo do Cenário 1.....	91
Tabela 11: Responsabilidades e agentes envolvidos no arranjo produtivo de Cenário 2 .....	92
Tabela 12: Responsabilidades e agentes envolvidos no arranjo produtivo do Cenário 3 .....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Cronograma de execução do protótipo habitacional e paredes de taipa da sede do canteiro experimental da UFMS .....	44
Quadro 2: Passo-a-passo da execução da base da parede (baldrame).....	40
Quadro 3: Passo-a-passo da montagem da forma .....	43
Quadro 4: Passo-a-passo do processo de mistura solo-cimento-microfibras-água .....	46
Quadro 5: Passo-a-passo da compactação da parede .....	47
Quadro 6: Passo-a-passo do processo de desforma e cura .....	49
Quadro 7: Passo-a-passo das atividade de instalação da interface taipa-cobertura.....	50
Quadro 8: Passo-a-passo da execução das interfaces da taipa com esquadria (porta) e alvenaria e da amarração em “T” .....	51
Quadro 9: Taipa - fundação.....	54
Quadro 10: Taipa-taipa em (“T”) .....	55
Quadro 11: Taipa-taipa em “L” .....	56
Quadro 12: Taipa-esquadrias (portas) .....	56
Quadro 13: Taipa- alvenaria de tijolos maciços (fachadas) .....	57
Quadro 14: Taipa - cobertura. ....	58
Quadro 15: Taipa - revestimentos .....	59
Quadro 16: Taipa - instalações elétricas .....	60

## RESUMO

O efetivo potencial da técnica construtiva da taipa, como possibilidade para o mercado da construção civil, requer ações setoriais e também de cunho técnico. A ausência de normas técnicas e profissionais capacitados, são algumas dificuldades enfrentadas na propagação da técnica, mas também há as de âmbito tecnológico e sistêmico. Com base em dados coletados na construção de um protótipo habitacional, um curso de capacitação para produção de paredes de taipa e também na literatura, o presente estudo analisa as etapas e atividades do processo construtivo de um protótipo, do ponto de vista tecnológico, estético e sistêmico. Foram avaliados os equipamentos utilizados na produção das paredes de taipa, as soluções de projeto adotadas, o desempenho físico-mecânico, a produtividade e os defeitos ocorridos. Um método para medição in loco foi estruturado para a mensuração desses defeitos. Delineou-se também, no âmbito sistêmico, o cenário da cadeia produtiva da taipa no Brasil, com seus gargalos, lacunas e perspectivas. Os resultados mostram que o conjunto de soluções adotadas tem aspectos positivos a serem mais bem estudados: alguns arranjos da mecanização agregaram produtividade, soluções de desenho trouxeram mais qualidade de acabamento, a boa apropriação da técnica. Há melhorias a serem introduzidas no projeto dos equipamentos, pelo alto custo de aquisição e transporte nas condições atuais. É preciso aumentar o grau de controle dos procedimentos construtivos e a realização de mais ações para estruturação do setor, envolvendo o meio acadêmico, o mercado imobiliário, o setor produtivo, de serviços e usuários.

**Palavras-chave:** terra, sistema construtivo, sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

The effective potential of the construction technique of rammed earth, as a more sustainable building construction system for the construction industry, requires sectoral actions and also technical ones. The lack of technical standards and trained agents, are some of the barriers to transfer the technology properly. But, there are also technological and systemic issues to be solved before. Based on data collected during the construction process of a housing prototype, a training course and literature review, this study presents the analysis of the prototype production process, from the technological, aesthetical and systemic point of view. The equipments used were assessed, as well as design solutions, physical and mechanical performance, productivity and defects. A method to measurement of these defects was structured to be applied in loco. In a systemic view, a scenario of the production chain in Brazil was developed, including the obstacles, lacks and some perspectives. The results show that there were benefits: some mechanization arrangement brought productivity, design solutions were positive to aesthetical quality and the technique acceptance. There are also improvements to be introduced, in machinery design, because of acquisition and transport high cost. The construction procedures have to be controlled and the stakeholders roles have to be defined. It has to be done involving the academy, real estate market, the stakeholders and users.

**Palavras-chave:** earth, building construction system, sustainability



## INTRODUÇÃO

Os avanços da tecnologia e o paradigma da construção sustentável vêm estimulando inovações à arquitetura com paredes de taipa (solo estabilizado compactado), para agregar qualidade ao produto final. A mudança gradativa do processo artesanal para um processo mais racionalizado é perceptível nessa produção. Ao comparar as técnicas tradicionais com as praticadas hoje, constatam-se transformações e adaptações advindas do conhecimento adquirido em pesquisas, práticas e do meio socioeconômico e cultural do local onde são executadas (NEVES; FARIA, 2011).

A otimização dos sistemas e processos construtivos que utilizam a terra como matéria-prima é importante para contribuir na busca de soluções para diminuir o consumo de energia, a produção de resíduos e a ocorrência de desperdícios no setor da construção civil. Isso ajuda também na redução de esforço físico dos trabalhadores e na consequente aceitação das técnicas construtivas.

Em algumas regiões da América do Norte, Austrália e Nova Zelândia, as construções com paredes de terra estabilizada compactada (denominadas *rammed earth*) demonstram que a mecanização da técnica, aliada à introdução de outras inovações, melhoraram o seu desempenho, permitindo a inserção da técnica no mercado da construção civil com competitividade (SIREWALL, 2015; EASTON, 2015; RAMMED EARTH AUSTRALIA, 2015; RAMTEC, 2015; TERRA FIRMA, 2015).

Para que essa alternativa tecnológica também possa ser viável em uma escala ampliada ao contexto brasileiro, são necessárias ainda ações setoriais de desenvolvimento tecnológico, de cunho técnico, científico e políticas públicas, com a criação de normas nacionais, de modo que construtores possam ter parâmetros para atestar e garantir a qualidade das paredes, atendendo as exigências básicas dos usuários elencadas na ISO<sup>1</sup> 6241 (1984) e NBR<sup>2</sup> 15575 (ABNT, 2013).

É desejável que a técnica se torne uma atividade comprovadamente de baixo impacto, tenha trabalhadores qualificados e um ritmo de produção competitivo em relação às técnicas convencionais, entretanto, há barreiras a serem superadas para a sua viabilização.

---

<sup>1</sup> ISO: *International Organization for Standardization*

<sup>2</sup> NBR: Norma Brasileira Regulamentada

Apesar de muitas iniciativas para a disseminação da arquitetura de terra ainda não há, nos locais onde se constrói com terra, uma cadeia produtiva organizada. O fato de não haver normas técnicas específicas e pouca bibliografia para a execução de paredes de taipa, impede que financiamentos sejam aprovados para a construção de edificações neste sistema e dificultam o uso mais amplo da técnica.

Sabe-se que que o material foi considerado potencialmente, uma opção construtiva na década de 1970, quando impulsionados pela crescente demanda habitacional, o CEPED<sup>3</sup> e o IPT<sup>4</sup>, foram subsidiados em pesquisa para o emprego da taipa (técnica de paredes monolíticas) e bloco de terra comprimida (BTC) na construção de habitações (MILANI, 2008; NEVES, 2007). Nessa época, os estudos de THABA<sup>5</sup>, tiveram como foco, assegurar a qualidade do material em sistemas construtivos simplificados, evitando o uso de equipamentos sofisticados e desenvolvendo métodos de capacitação in loco para a mão de obra. O conteúdo resultou em um bom acervo de publicações de manuais e cartilhas, com um conteúdo simples e objetivo com recomendações técnicas para cursos de capacitação, treinamento operacional e projetos de assessoria e/ou assistência técnica. Mas o interesse crescente no desenvolvimento da indústria do concreto provocou mudança no foco dos investimentos, que resultaram na interrupção desse tipo de pesquisa (NEVES, 2007).

Desde então, houveram no âmbito ibero-americano, publicações do PROTERRA<sup>6</sup> e da Rede HABITERRA/CYTED<sup>7</sup>, com recomendações para elaboração de normas técnicas de taipa para a construção em zonas sísmicas e NBR 13553 (ABNT, 2012), atualizada em 2012, especificando os materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento, sem função estrutural. Na atualidade, há somente normas de solo-cimento para a produção de tijolos e blocos para alvenaria, pavimentação de estradas de rodagem e barragens de pequeno porte (NEVES; FARIA, 2011).

Pesquisas mais atuais no país evidenciam preocupação com questões pontuais do âmbito técnico (ciência dos materiais), sendo necessário o desenvolvimento de estudos com uma visão abrangente, das partes e da relação entre elas, a fim de impulsionar o aperfeiçoamento do sistema construtivo e a identificação das lacunas que impedem o seu desenvolvimento e a aplicabilidade.

---

<sup>3</sup> CEPED: Centro de Pesquisas e Desenvolvimento - Camaçari/BA

<sup>4</sup> IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

<sup>5</sup> THABA: Programa de Tecnologias da Habitação

<sup>6</sup> PROTERRA: Rede Ibero-Americana de Arquitetura e Construção com Terra

<sup>7</sup> HABITERRA/CYTED: Programa Ibero-Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento

Neste contexto, os códigos de outros países são os documentos disponíveis para nortear o desenvolvimento das construções de taipa no Brasil. É o caso das normas da Nova Zelândia (NZS 4297:1998; NZS 4298:1998; NZS 4299:1998), que são as únicas preparadas por uma comissão técnica e regulamentadas. Outras opções de literatura são “*Standards Australia Handbook*”, o “*Review of Rammed Earth Construction*” e publicações do CRATERRE<sup>8</sup>, que apesar de não terem o peso de uma norma completa, fornecem orientações técnicas para projeto, detalhamentos construtivos e execução, sendo um importante referencial para a aplicação do sistema construtivo.

Na oportunidade de se viabilizar a tecnologia da taipa como mais uma opção para a construção em escala, as **perguntas de pesquisa** que se formam, à partir da contextualização são:

- Quais ações são necessárias para a taipa ser utilizada em maior escala na construção civil?
- Quais são os obstáculos a serem superados?

Dada a abrangência que um estudo como esse demandaria, foi escolhido abordar a questão à partir das questões técnicas, ao invés de norteá-la por uma abordagem cultural ou política, por exemplo. Tem, então, como objetivo geral:

- Propor ações no processo construtivo da taipa mecanizada, para viabilizar a tecnologia para construção em escala.

Os objetivos específicos propostos são:

- Determinar a influência do processo mecanizado de produção de paredes de taipa;
- Identificar as etapas do processo construtivo de paredes de taipa, seu ciclo de vida e sua cadeia produtiva;
- Avaliar o processo construtivo mecanizado quanto aos ganhos de qualidade e produtividade;
- Elencar os gargalos, lacunas e perspectivas para o desenvolvimento da tecnologia.

---

<sup>8</sup> International Centre on Earthen Architecture

## 1.1 Metodologia da pesquisa

O presente estudo sistematiza o processo construtivo da taipa, levando em consideração o ciclo de vida e a sua cadeia produtiva, tratando de questões de caráter técnico e de estruturação do setor e os relativos à sustentabilidade em seu sentido mais amplo.

Foram avaliadas as etapas de projeto, execução e pós-execução, onde analisou-se as soluções construtivas de interfaces, a produtividade, o desempenho físico-mecânico, os equipamentos utilizados na produção e os defeitos ocorridos nas paredes, elencando-se ainda os gargalos, as lacunas e perspectivas à formação da cadeia produtiva. Ao tratar desses elos, de caráter técnico, toca em questões de estruturação do setor e os relativos à sustentabilidade em seu sentido mais amplo.

Foi conduzido com base em dados obtidos com a execução de um protótipo-casa de taipa mecanizada (habitação social com 105m<sup>2</sup>), literatura e com a realização de um curso de capacitação desenvolvido no âmbito dos seguintes Projetos:

1. “Inovações para a sustentabilidade das políticas públicas de produção de habitação social rural no Mato Grosso do Sul”<sup>9</sup>;
2. “Curso de capacitação para produção de paredes de taipa de pilão e solo-cimento plástico para desenvolvimento de tecnologia social de habitação rural no Mato Grosso do Sul”<sup>10</sup>;
3. “Curso de execução de paredes de taipa de pilão e solo-cimento plástico para tecnologia social de habitação rural no Mato Grosso do Sul” e “Inovações tecnológicas para produção de habitação social rural no Mato Grosso do Sul”<sup>11</sup>.

A abordagem geral é qualitativa e essencialmente descritiva, pois baseia-se num processo de descrição das ações desenvolvidas nos quatro projetos supra citados. Uma vez que ocorreram intervenções no decorrer da execução do protótipo, derivadas do acúmulo e troca de conhecimento, seria possível também atribuir traços de uma pesquisa-ação, segundo a classificação dada por Gerhardt e Silveira (2009).

O detalhamento dos procedimentos adotados em cada um dos estudos específicos realizados é descrito no capítulo 3

---

<sup>9</sup> FUNDECT- Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (edital nº 01/2010)

<sup>10</sup> CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (edital CNPQ/SPM-PR/SUDECO Nº 33/2012)

<sup>11</sup> UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (edital PAEXT/2013)

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O trabalho foi organizado em 6 partes, de forma a atender aos objetivos e proporcionar ao leitor um entendimento claro das etapas da pesquisa:

1. Introdução: é apresentada com justificativa, perguntas de pesquisa, objetivos gerais e específicos do trabalho e metodologia.
2. Evolução da técnica e desafios atuais do sistema construtivo: são apresentadas as definições e conceitos adotados na pesquisa, a evolução desde os sistemas tradicionais aos mais atuais e contextualiza o assunto dentro do panorama da arquitetura e construção de terra no mundo. Também são abordadas questões tecnológicas, como qualidade estética, desempenho estrutural, estanqueidade, adequação do projeto, controle tecnológico da produção, práticas executivas, patologias e questões sistêmicas (contextualização do tema no âmbito da sustentabilidade e da sua cadeia produtiva);
3. Apresentação do estudo de caso: descreve os procedimentos de execução das paredes e de controle tecnológico adotados.
4. Análise do processo construtivo: esse capítulo define as questões a serem estudadas e métodos para a coleta de dados de cada uma, apresentando também os resultados da avaliação das soluções construtivas de interfaces adotadas, a avaliação dos equipamentos, o desempenho da produção (produtividade e resistência físico-mecânica) e percentual de defeitos manifestados, além de um método expedito para medição in loco das patologias.
5. Considerações finais: apresenta uma avaliação geral das inter-relações das questões estudadas, procedimentos adotados para coleta de informações e estabelece algumas considerações sobre os elos da cadeia produtiva e as prioridades de ação.

## 2 A EVOLUÇÃO DA TÉCNICA

As técnicas de construção com terra surgiram em quase todas as civilizações do passado, e expandiram-se através das invasões e colonizações, comuns na história da Humanidade. Apesar das particularidades de cada região e nomenclaturas próprias, em geral apresentam semelhanças, o que muitas vezes confunde até os mais estudiosos (NEVES; FARIA, 2011).

A técnica da taipa será tratada neste capítulo, em uma abordagem histórico-tecnológica, relacionando as questões do material e do sistema construtivo com o contexto em que estão inseridos.

### 2.1 QUANTO À TERMINOLOGIA

Sendo um material e técnica construtiva utilizada em todos os continentes, fez-se necessário elaborar um conteúdo preliminar, para esclarecer os termos adotados na pesquisa (item 2.1).

#### 2.1.1 Terra ou solo?

É usual no âmbito da arquitetura e construção com terra adotar-se o termo **terra** para designar toda a produção arquitetônica que emprega o solo como a principal matéria-prima. Outras denominações são terra crua ou terra sem cozer que referem-se à todas as construções que empregam o solo sem alteração de suas características mineralógicas. Estão assim excluídos todos os materiais cerâmicos que alteram no seu processo de cozedura, as características iniciais da terra (BRUNO, 2005).

No âmbito da Engenharia, **solo** é o termo aplicado a todo material da crosta terrestre proveniente da decomposição de rochas, constituído por elementos minerais e/ou orgânicos, que dependem da composição química e mineralógica da rocha de origem, das características do relevo, dos diferentes climas e do tempo de exposição às intempéries (FARIA, 2005).

Os solos apropriados à construção geralmente estão localizados no subsolo, também chamado de horizonte B, livre de matéria orgânica. Em zonas semi-áridas e áridas, é possível encontrar solos adequados na superfície, após eliminar todo o material orgânico presente.

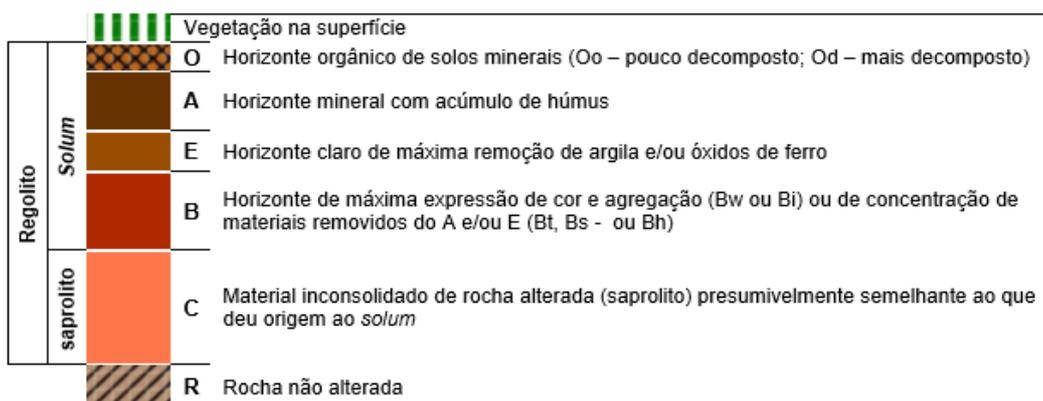


Figura 1: Horizontes principais do solo

Fonte: Adaptado de Lepsch (2010)<sup>12</sup> apud Neves; Faria (2011).

Neste trabalho o termo **solo** será adotado quando envolver classificações, caracterizações, métodos de estabilização e ensaios laboratoriais. **Terra** será usado para designar tanto o material que constitui a parede, após o processamento do solo, quanto a produção arquitetônica.

### 2.1.2 Taipa

O termo **taipa** ou **taipa de pilão** (no Brasil e em Portugal, *tapial* ou *apisonado* em outros países ibero-americanos), refere-se tanto à técnica de construção de paredes quanto ao produto final (a edificação, ou parede, ou arquitetura) (NEVES; FARIA, 2011; WALKER; STANDARDS AUSTRALIA, 2002).

Mileto, Vegas, López (2011) comentam da dificuldade de estabelecer com precisão a terminologia para definição da taipa, pela ampla difusão temporal e geográfica com um repertório variado de técnicas e materiais. Em geral, o método consiste em compactar uma mistura de solo, com ou sem aditivos estabilizantes, em uma umidade ótima (baixo teor de umidade), camada sobre camada, no interior de formas de madeira, denominadas taipal.

<sup>12</sup> LEPSCH, I.F. *Formação e conservação de solos*. 2ª. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

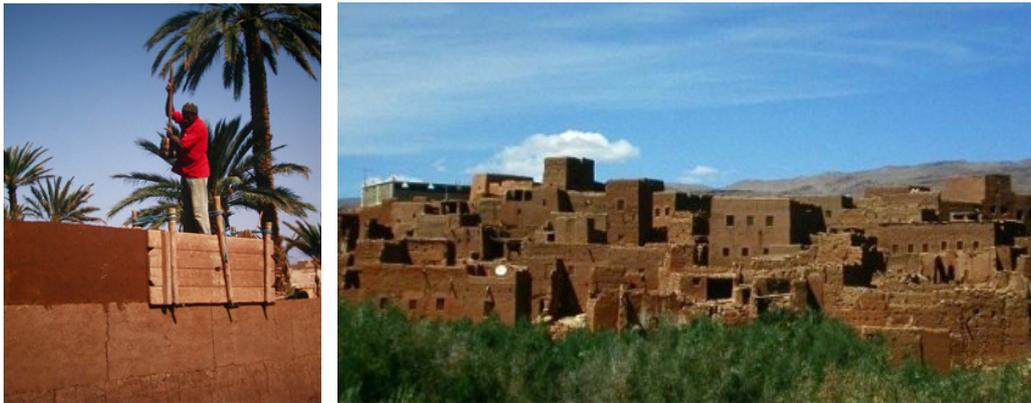
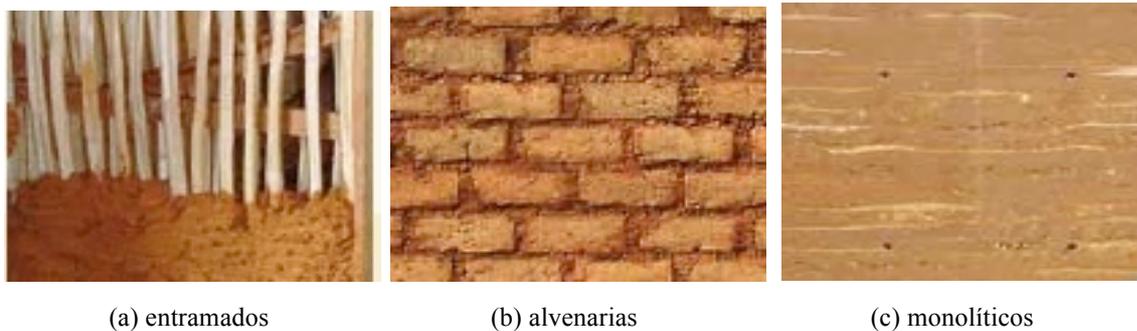


Figura 2: Taipa de pilão tradicional no Vale de Todra, Marrocos

Fonte: Rogermimo (2014).

Outros termos encontrados para a técnica são *rammed earth* (países anglo-saxônicos), *stampflembau* (países germânicos), *pisé* (francófonos), painéis monolíticos de solo-cimento ou solo estabilizado (Brasil) e correspondem a sistemas semelhantes, oriundos da taipa tradicional, porém com suas peculiaridades (ver Figura 3).

Em algumas regiões brasileiras, o termo pode ser popularmente adotado para se referir à técnica mista, também conhecida como taipa de mão ou pau a pique, classificada por CLAIR; COURT (2011) na família dos entramados<sup>13</sup>.



(a) entramados

(b) alvenarias

(c) monolíticos

Figura 3: Classificação das três grandes famílias de sistemas construtivos com terra crua

Fonte: Clair; Court (2011).

<sup>13</sup> Os autores sintetizam as diversas técnicas possíveis que utilizam a terra, em dezoito sistemas (antigos e modernos), subdividindo-as em três grandes famílias (Figura 3).

Nesse trabalho adota-se o termo **taipa mecanizada** para designar a técnica contemporânea de produção de paredes de terra estabilizada compactada a partir da mecanização da técnica, ou simplesmente **taipa** para generalizar a técnica, o método ou o produto final.

## 2.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICO-TECNOLÓGICA DA TAIPA

A taipa é uma técnica milenar e não se sabe ao certo quando e onde surgiu (China? Mesopotâmia? Ásia menor?), tampouco o seu destino futuro. Ao longo do tempo a técnica vem se adaptando às diferentes culturas, climas, história, evolução tecnológica, necessidades do homem e do ambiente construído. A descoberta do solo-cimento, o surgimento de novos materiais e tecnologias construtivas em diversas regiões do mundo, recriam o modo de construir, tradicionalmente artesanal.

A taipa contemporânea pode incorporar um novo modo de executar, agregando novos equipamentos, métodos, ferramentas e *design*. As seguintes diferenças são destacadas:

- Na concepção da arquitetura;
- Na associação com outros materiais e subsistemas (ver item 2.2.3);
- No aspecto estético (ver item 2.3.1);
- Na esbeltez e modulação das paredes;
- No modo de executar (manual x mecanização);
- No sentido da execução (horizontal x vertical);
- Nas formas.

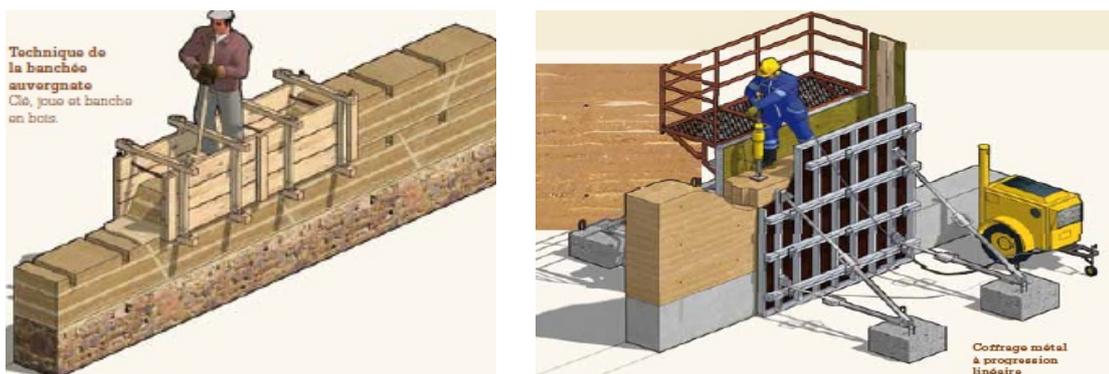


Figura 4: Taipa tradicional x taipa mecanizada

Fonte: Clair; Court (2011)

Na busca cada vez mais crescente por melhorias, novas soluções de projeto e execução vem sendo desenvolvidas. Com vistas à qualidade do produto final e um maior controle sobre os

custos, o tempo e o processo de produção do material, alguns países da Europa, por exemplo, desenvolvem projetos para construção de edificações com painéis pré-fabricados de taipa, que agregam um maior grau de mecanização (LEHMTONERDE, 2015; CASANATURAL, 2015; RUZICKA et al, 2015).



Figura 5: Pré-fabricados de taipa mecanizada usados em Ricola Herb Center, Suíça

Fonte: Lehmtonerde (2015).

### 2.2.1 Da mecanização

Segundo WALKER; STANDARDS AUSTRALIA (2002), nos tempos atuais, um maior grau de mecanização durante a construção torna a técnica mais competitiva. Esta afirmação é uma realidade em Países mais desenvolvidos.

É fato que o uso de compactadores mecânicos (pneumáticos ou elétricos), aliados a misturadores de diversos tipos<sup>14</sup> - com ou sem pás rotativas, eixos verticais e planetários ou portáteis (Figura 6), podem produzir uma massa mais homogênea e um adensamento mais uniforme do material, com possibilidades de melhorias nas especificações de resistência, esbeltez e durabilidade (EASTON, 2014; SIREWALL, 2015).

---

<sup>14</sup> Há a opção de utilização de betoneiras para concreto, na homogeneização da mistura durante a produção das paredes.



(a) com dispositivo de carregamento

(b) planetário

(c) portátil, tipo Rototiller

Figura 6: Tipos de misturadores

Fonte: Easton (2014); Lehmtoneerde (2015); Terra Firma (2015)

Ao comparar o desempenho técnico-construtivo de duas paredes de taipa a partir da mecanização das etapas de homogeneização da mistura (misturador de pás rotativas) e compactação (compactador pneumático), Heise; Minto; Hoffmann (2012) concluem que o processo de homogeneização mecanizado (parede A) se mostrou mais eficiente do que o manual (parede B), no que se refere à produtividade ( $0,18 \text{ m}^3 \text{ h/h}$  x  $0,12 \text{ m}^3 \text{ h/h}$ ), custo (R\$  $36,00/\text{m}^3$  x R\$  $79,00/\text{m}^3$ ), benefício (acabamento homogêneo x menor consumo de energia), ressaltando a satisfação do trabalhador pela minimização do esforço físico e do usuário, pela uniformidade do acabamento Figura 7.



Figura 7: Parede A (esquerda) e parede B (direita), ambas com compactação pneumática

Fonte: Heise; Minto; Hoffmann (2012).

Sabe-se que os compactadores de impacto mecânico, que usam ar comprimido para conduzir uma agulha (*tamper* de 7 a 15 cm de diâmetro), por serem mais leves e dinâmicos que os

soquetes manuais (7 a 10 kg)<sup>15</sup>, exigem um menor esforço físico humano (JAQUIN, 2008). No entanto, pela elevada energia dispendida na compactação, as formas devem ser mais reforçadas para atender aos esforços laterais (ver item 2.2.2).

Muitos desses compactadores, os pneumáticos por exemplo, exigem um compressor com peso considerável, que assim como alguns tipos de misturadores, devem ser transportados em caminhão tipo *Munck*.



Figura 8: Tipos de compactadores: manuais, pneumáticos e mecânico

Fonte: Minke (2001); Easton (2015)

O transporte e lançamento do solo, do local do preparo até a forma, tradicionalmente feito com baldes e cestos (HOUBEN e GUILLAUD<sup>16</sup> apud MANIATIDIS; WALKER, 2003), na atualidade podem ser feito por tratores compactos, tipo Bobcat, ou por esteiras com correias transportadoras (EASTON, 1996 apud MANIATIDIS; WALKER, 2003). Outros equipamentos, também podem complementar a produção, são eles: andaimes sanfonados (Figura 9), peneiras rotativas ou vibratórias e trituradores de misturas com solo, sendo esse último utilizado na fabricação de blocos de terra comprimida - BTC.

<sup>15</sup> CEPED (1984) indica soquetes de 2,5 a 3kg para a técnica de painéis monolíticos de solo-cimento.

<sup>16</sup> Houben, H. and Guillaud H.. 1994 *Earth Construction, A comprehensive Guide*. Intermediate Technology Publications, London, UK.



Figura 9: Equipamentos para transporte do solo

Fonte: Clifton Schooley & Associates (2008), Rammed Earth Australia (2015), Easton (2015).

### 2.2.2 Das formas

A forma tradicional, mais simples, ainda usada em muitos países em desenvolvimento, é composta por tábuas de madeira maciça (20 a 30 mm de espessura) e comprimento variável, reforçadas conforme as tradições regionais de carpintaria (NORTON<sup>17</sup> apud MANIATIDIS; WALKER, 2003).

Em estudos de Jaquin (2008), notou-se na Espanha (Villena) o comprimento da forma em torno de 1,75 m, com altura que podia variar entre 0,75m e 0,95m e nas paredes das edificações da China e Índia, a ausência de orifícios (cabodás), o que denota o uso de reforços externos para apoiar a forma (Figura 10).

No Marrocos, há relatos sobre o uso de montantes amarrados com uma corda, torcida e apertada com uma peça de madeira (CODY, 1990<sup>18</sup> apud JAQUIN, 2008). Segundo EASTON (1996), este tipo de solução foi utilizada em quase todos os continentes e até recentemente nos Estados Unidos (1960), quando se substituíram as cordas por barras de aço

<sup>17</sup> Norton, J. *Building with Earth. A handbook*. Second Edition, Intermediate Technology Publications, London, UK. 1997

<sup>18</sup> Cody, J. W.. *Earthen Walls from France and England for North American Farmers, 1806-1870*. 1990. 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture, Las Cruces, New Mexico, Getty Conservation Institute. Los Angeles.

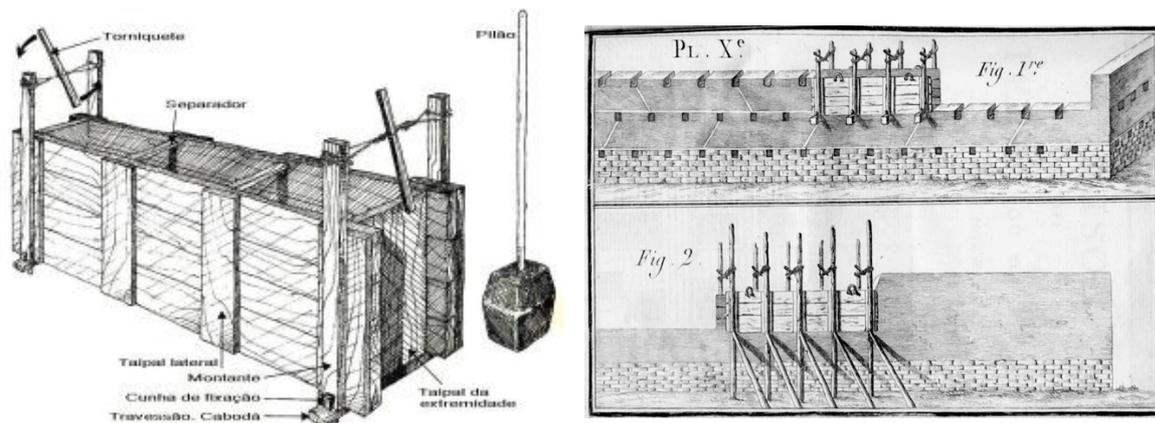


Figura 10: Sistemas de formas tradicionais

Fonte: Bardou (1986); Jaquin (2008).

Devido a uma crescente demanda por flexibilidade, na atualidade, profissionais e empresas construtoras de taipa desenvolvem seus próprios sistemas de formas, que permitem a produção de paredes em diferentes especificidades, formatos e tamanhos (curvas, encontro em U, L, T), em alguns casos inclusive, sem a presença de parafusos transpassantes. Para suportar a compactação mecanizada, as formas contemporâneas utilizam estruturas diversas para reforçar as chapas laminadas -21mm a 30mm, externamente (Figura 11).



(a) Chapas laminadas 21mm reforçadas com tábuas; (b) Alumínio com parafusos; (c) Aço sem parafusos

Figura 11: Tipos de formas de taipa na atualidade

Fonte: Terra Firma (2015), Rammed Earth Australia (2015), Taipal (2015)

Sabe-se que o empuxo, que provoca a flexão das peças, sob a ação de forças perpendiculares ao eixo longitudinal, aplicadas em pontos onde a peça não está apoiada, causam o abaulamento da parede. Logo, o tamanho e a estrutura da forma, devem proporcionar rigidez e travamento suficientes para suportar a pressão lateral exercida pela compactação do solo e ser leve o suficiente para possibilitar rapidez e eficiência na montagem e desforma. Além disso,

deve permitir diversas modulações e ser reaproveitada no maior número de obras possíveis, garantindo-se qualidade e economia (HEISE, 2004).

No Brasil, o sistema de painéis monolíticos de solo-cimento, desenvolvido e avaliado no CEPED, adota formas simplificadas e leves, com guias externas às paredes e recuperáveis (G-1) e com guias perdidas (G-2) ou recuperáveis, com moldes de laminado fenólico (18mm) de altura variável (40 a 50cm) e reforço de peças de madeira maciça, fixadas com parafusos transpassantes de ½ polegada (NEVES, 2007).

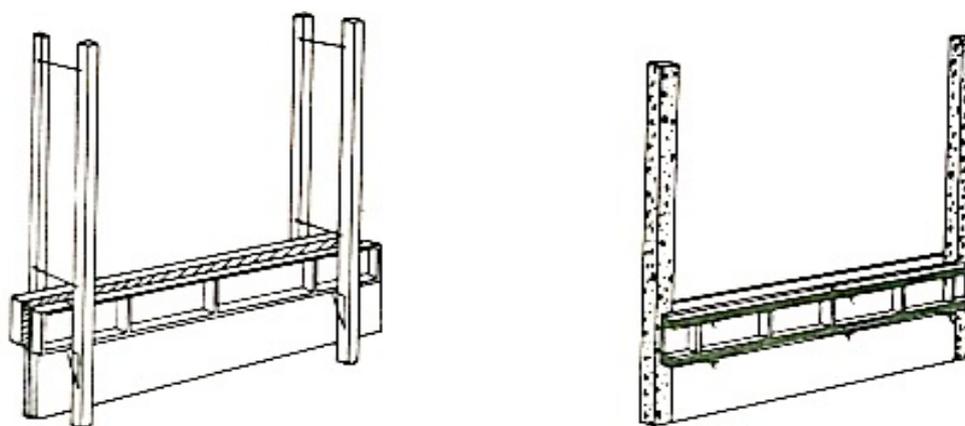


Figura 12: Sistema G-1 à esquerda e sistema G-2 à direita

Fonte: Ceped (1984)

Em ambos os sistemas (Figura 12), o painel executado serve como guia para o painel seguinte em formas trepantes. Na avaliação, levou-se em consideração o tempo gasto nas operações de montagem, enchimento, compactação e desforma e não as características de acabamento, porque segundo CEPED (1984), este não diferiu muito de um sistema para outro, embora o uso de formas metálicas tenha permitido obter uma superfície mais lisa.

### 2.2.3 Dos detalhamentos de projeto

Clair; Court (2011) observam uma modificação no tipo arquitetônico e nos modos de construir, partindo de um desenho mais tradicional (pequenas aberturas e paredes espessas) para um desenho adaptado à disponibilidade de outros materiais e técnicas, além das próprias exigências e necessidades funcionais dos tempos atuais (painéis independentes alternados com outros materiais, elementos e sistemas construtivos).

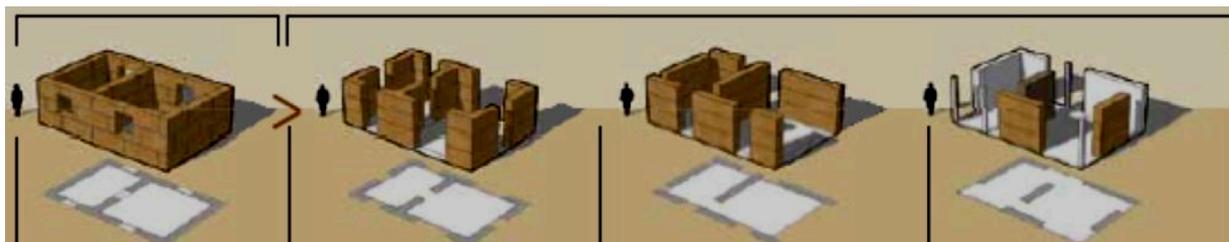


Figura 13: Evolução do tipo arquitetônico

Fonte: Clair; Court (2011).

A tipologia da edificação em taipa com caráter misto cria uma série de combinações e interfaces entre diferentes tipos de materiais e subsistemas adjacentes, que podem ser executados por equipes diferentes de construtores, facilitando o surgimento de defeitos na superfície da parede e conexões pouco engenhosas quando há o desconhecimento do material (características e comportamento). As paredes são moduladas conforme as dimensões da forma, com alguma flexibilidade (com o uso de contraformas, por exemplo), que possibilite a construção de paredes de diferentes tamanhos, alcançando melhor rendimento do sistema (NEVES; FARIA, 2011).

Apesar de possuir massa térmica elevada, em Países com temperaturas mais frias ou com propensão à abalos sísmicos, adota-se soluções de detalhamentos mais “complexas”. É o caso do Canadá, onde há exemplos de utilização de paredes duplas de taipa (tipo sanduíche), alternadas com isolantes e reforçadas com aço (SIREWALL, 2015). Em regiões de clima quente sistemas de *design* solar passivo são adotados, tirando-se proveito das características do local - clima, topografia, direção dos ventos e orientação da luz solar (WALKER; STANDARDS AUSTRALIA 2002).

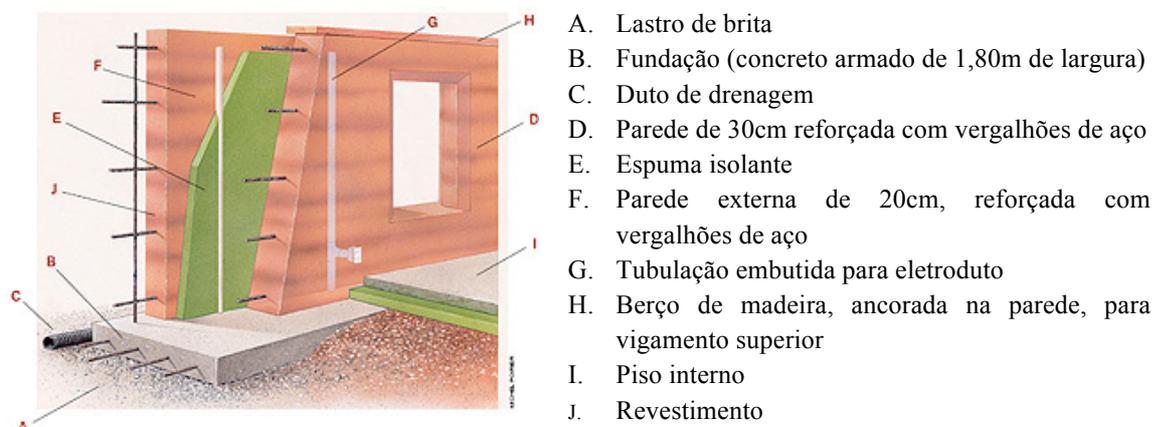


Figura 14: Sanduíche de paredes de taipa mecanizada com função estrutural e térmica

Fonte: adaptado de SIREWALL (2015)

Com vistas ao atendimento dos requisitos de desempenho elencadas na NBR 15575 (ABNT, 2013), modelos de detalhamentos atuais observados na literatura e edificações estrangeiras, podem ser fontes de solução para as edificações contemporâneas, assim como estudos sobre edificações patrimoniais de terra (seu estado, patologias e suas causas). Dentre as variadas possibilidades de soluções formais, funcionais e combinação de materiais, estão:

- Base da parede: deve proteger as paredes da umidade ascendente que pode subir por capilaridade e ainda, da água de chuva que respinga nas paredes. Fonseca (2007) descreve edificações de taipa históricas em Avis, Portugal, com fundações em pedra, elevadas do nível do terreno numa altura média de 0,50 m, mas códigos atuais de construção com terra (MANIATIDIS; WALKER, 2003) indicam o uso de fundações radier e sapata corrida para a base dos painéis.



Figura 15: Ações da umidade em paredes de taipa

Fonte: Clair; Court (2011).

- Aberturas: vãos nas paredes de taipa são pontos sensíveis da construção. Nas edificações antigas, os vãos das janelas e portas tinham reduzidas dimensões porque era comum a fissuração na taipa, provocado por tensões que ocorriam entre as esquadrias e as paredes e também pela presença de vergas mal dimensionadas que provocavam esforços de flexão excessivos no material.

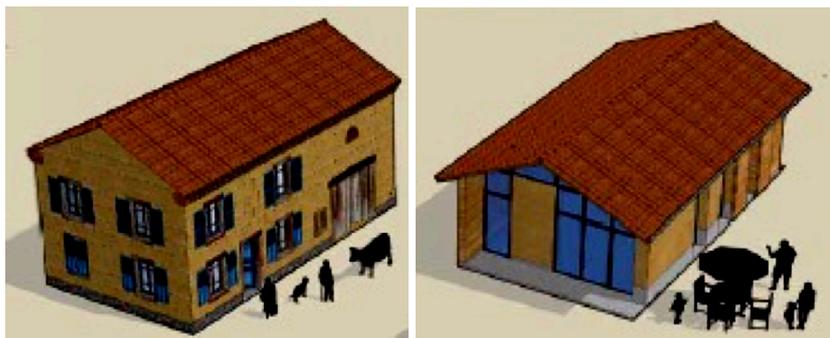


Figura 16: Aberturas na taipa tradicional x contemporânea

Fonte: Clair; Court (2011)

Em projetos contemporâneos, há casos de embutimento de molduras (esquadrias) de madeira<sup>19</sup> ou componentes pré-fabricados de concreto durante a compactação (NZN 4299, 1998; WALKER; STANDARDS AUSTRALIA, 2002 apud MANIATIDIS; WALKER, 2003). A combinação madeira-taipa é desejável para fechamento de vãos sob as esquadrias, devido à boa capacidade de absorção de umidade e permeabilidade que a terra possui, que evita o contato prolongado da madeira com a umidade<sup>20</sup>.



Figura 17: Combinação taipa-concreto e quinas 45° - Catedral St Thomas More, WA21

Fonte: Ramtec (2015) e do autor

- Quinas: as ações humanas e de outros seres vivos, como insetos e vegetação são fatores a considerar, por serem causadores de patologias no material. São áreas de vulnerabilidade a danos por atrito de passagem e onde processos erosivos são mais evidentes. Nas edificações antigas as quinas eram reforçadas com pedra, encaixadas no bloco de taipa (FONSECA, 2007). Soluções mais econômicas na atualidade são as quinas chanfradas a 45° (Figura 17).

<sup>19</sup> Segundo GONZÁLES (2006) através dos poros estabelece-se um mecanismo de equilíbrio de libertação/absorção de umidade em função das diferenças higrométricas entre a parede e a atmosfera.

<sup>21</sup> Cidade de Margaret River, região oeste da Austrália

- Espessura da parede: paredes portantes de taipa podem ser consideradas como pilares largos, aplicando-se então a teoria de flambagem, da resistência dos materiais (CEPED, 1984). Nas pesquisas de Jaquin (2008) em *Villena* foram observadas torres de taipa com paredes mais espessas na base do que no topo (de 3,6m de espessura na base para 2m no terceiro andar). As paredes de *Banos de la Encina* (ver anexo I) possuem 0,6m de espessura até a altura de 14m. Na atualidade, as paredes de taipa são dimensionadas em função de sua altura, na seguinte relação:  $d=0,043L$ , onde  $d$ =espessura (m) e  $L$ =altura da parede (m).
- Juntas de controle: Encaixes de amarração na articulação entre paredes adjacentes (Figura 18), podem ser preenchidas com selantes, após a secagem e encolhimento do painel, para evitar a entrada de umidade. Essas juntas podem evitar a ocorrência de fissuras de retração (WALKER, STANDARDS AUSTRALIA, 2002).

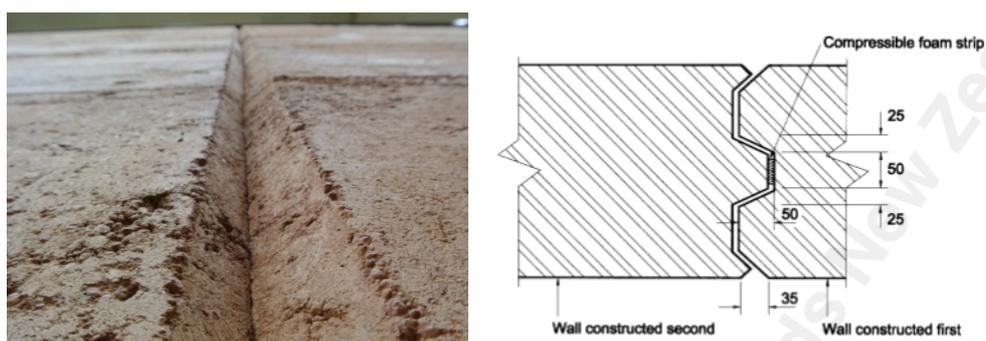


Figura 18: Detalhe de junta de controle e articulação entre paredes adjacentes

Fonte: NZS 4299 (1998)

- Tubulações: os códigos e normas internacionais geralmente recomendam não embutir tubulações de água nas paredes de terra. Para os eletrodutos, há recomendações diversas: aparente ou se embutido, que seja no terço central da espessura da parede sem exceder 10% de sua espessura e com furos menores do que 3 cm ou realizados com cortes pós compactação (WALKER; STANDARDS AUSTRALIA 2002).
- Cobertura: A cobertura é um elemento fundamental na proteção da construção contra as águas de chuva e a criação de coberturas com beirais largos ou varandas são estratégias de projeto para garantir a estanqueidade à água, principalmente em regiões mais chuvosas. Nos estudos de Fonseca (2007), sobre o estado de conservação das construções inventariadas em Avis, os beirais nas edificações tinham um balanço de apenas 0,20m, que eram arrematados com tijolos nos topos das paredes. Vigas ou “berços” de madeira ou

concreto na interface da taipa com a cobertura, dão unidade ao conjunto de paredes e combatem os esforços de tração (WALKER; STANDARD AUSTRALIA, 2002).

### **2.3 Desafios atuais do sistema construtivo da taipa mecanizada**

Na atualidade, discutem-se meios de se atender e manter as exigências de conforto e qualidade dos usuários. Um conjunto de “questões tecnológicas” inerentes ao material e à técnica são discutidas em boa parte das pesquisas acadêmicas em torno do tema da taipa, sendo tratadas como questões “micro” e envolvem: aspectos estéticos (cor, textura, acabamento), métodos de estabilização (solo-cimento e solo-cimento-fibras) e manifestações patológicas mais comuns em paredes de taipa. Já questões do âmbito “macro”, envolvendo a sustentabilidade da técnica em todos os seus aspectos, o sistema construtivo envolvendo desde o processo construtivo, a cadeia produtiva e o ciclo de vida, também podem determinar a qualidade e a estética da parede e não são tão comuns na literatura, sendo abordados também nesse capítulo.

São destacadas dentre as questões “micro” :

#### **2.3.1 Aspecto estético**

O aspecto estético do material (terra) deve ser incluído no processo de concepção da arquitetura. Segundo Gonzáles (2006), na técnica tradicional da taipa, geralmente ocultava-se o material através da aplicação de rebocos e tintas. Na atualidade, a parede de taipa, aparente, pode comunicar subjetivamente valores culturais, tecnológicos e simultaneamente ecológicos.

A riqueza de texturas, tonalidades e acabamentos que os diferentes tipos de solo possibilitam permite a introdução de uma nova abordagem, com possibilidades plásticas que atribuem qualidades sensoriais (ópticas, térmicas, táteis) à “pele” da edificação, diferenciando o produto.

São ressaltadas três qualidades para o aspecto estético da parede de taipa:

a) Cor:

A terra, gerada por diferentes processos, tem cores que variam de acordo com a quantidade de pigmentos vermelhos e amarelos originários do óxido de ferro. As tonalidades mais escuras, como a coloração quase preta, são geradas consoante maior ou menor existência de matéria-orgânica (GONZÁLES, 2006). *Munsell Soil Color Charts* são tabelas de classificação de

cores de solos, onde é possível, conhecer o tipo de solo, associando-se assim às características de textura e estrutura do solo. Em regiões onde há diferentes tipos de solo, a possibilidade de mescla permite a produção de paredes com tonalidades diversas. O efeito cromático também pode ser enriquecido por efeitos visuais especiais, intercalando-se camadas de argamassas, filetes de cal, corantes minerais ou pedriscos ao material.



(a) Edmonton Valley Zoo, Canadá

(b) Casa Bororo, Dourados-MS

Figura 19: Camadas de solo em tonalidades diversas

Fonte: Sirewall (2015) e do autor.

#### b) Textura:

No âmbito da arquitetura e construção com terra, textura é a propriedade que identifica o solo através da sua estrutura, formada pela proporção das diferentes classes de partículas que o constituem (item 3.4.2.1). Solos mais grossos, com pedregulhos, deixam a superfície mais rugosa e áspera, o que disfarça pequenos defeitos, enquanto solos mais finos deixam a textura da superfície da parede mais lisa e mais suscetível ao aparecimento de defeitos superficiais.

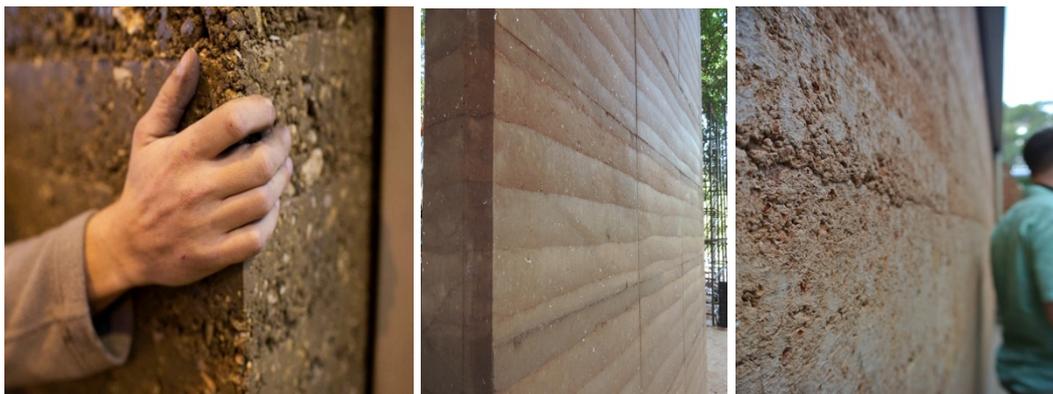


Figura 20: Texturas lisas e rugosas em paredes de taipa na Áustria, Brasil e Austrália

Fonte: Lehmtonerde (2015) e do autor

A textura é derivada do tamanho dos grãos presentes no solo. A classificação granulométrica é a classificação de solos segundo as dimensões dos seus grãos ou partículas e suas diferentes percentagens de ocorrência. A partir da análise granulométrica do solo se identifica sua estrutura, constituída e classificada de acordo com as dimensões dos grãos que o constituem, sendo a proporção (percentagens) entre eles, o que determina as propriedades e a sua adequação para cada técnica construtiva de terra crua. No Brasil, temos a seguinte classificação dos solos, de acordo com a sua granulometria (MOURA, 2011).

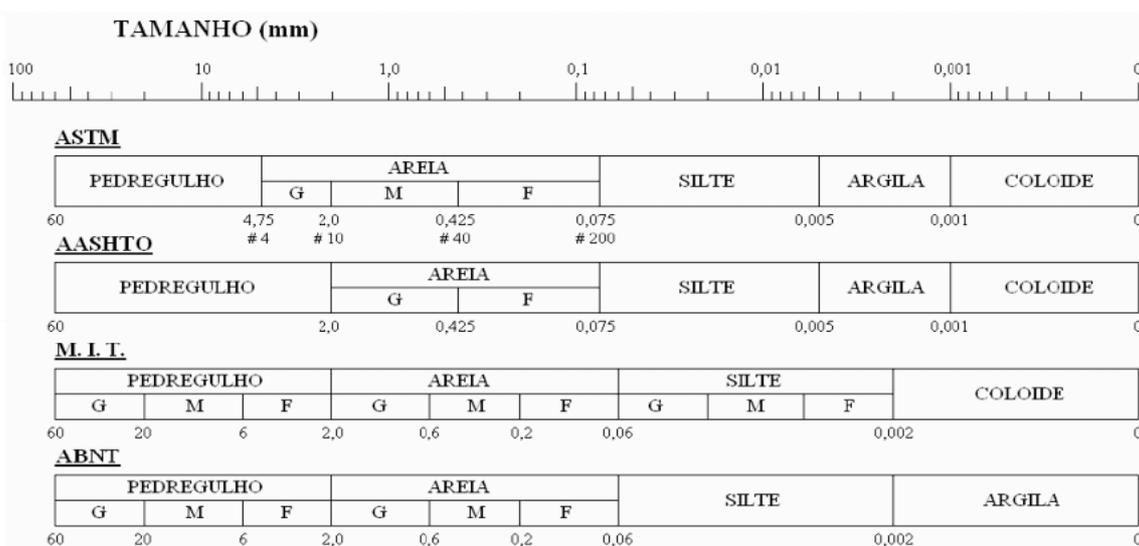


Figura 21: Escalas granulométricas adotadas pela A.S.T.M., A.A.S.H.T.O, M.I.T e ABNT

Fonte: Moura (2011).



Figura 22: Seixos, cascalho, areias, silte, argila

Fonte: Clair; Court (2011)

Para selecionar o solo adequado para a execução da taipa é importante considerar também, além das características intrínsecas do material, o local da obra, a oferta de tipos de solos aglomerantes, disponibilidade de máquinas, meios de transporte e ainda outros aspectos como o desenho proposto, a cultura construtiva e disponibilidade de recursos financeiros (NEVES; FARIA, 2011).

Maniatidis; Walker (2003) selecionam orientação de diversos autores para a distribuição granulométrica do solo apropriado para a taipa (não estabilizada) e concluem que a quantidade de argila pode variar entre 10% a 80% (o mesmo para o silte) e o limite de teor de areia entre 5% a 40%, o que demonstra que não é possível uma seleção muito ortodoxa de solos, uma vez que as variáveis envolvem principalmente as características de trabalhabilidade e, em alguns casos, a retração e compactação dos mesmos.

A presença de pedregulhos com diâmetro até 2,0 cm é aceitável desde que não ocorra em percentagens elevadas (CEPED, 1984). O teor de material graúdo (fração retida na peneira 4,8mm) não deve ser superior a 45%, pois a porção fina não preenche os vazios. CEPED (1984) indica os solos brasileiros adequados à taipa, àqueles com fração abaixo da peneira 4,8mm, com teor de areia: 45% a 90%; teor de silte + argila: 10 a 55%; teor de argila: menor do que 20%; Limite de liquidez: menor do que 45%.

### c) Acabamento:

O acabamento final da parede de solo compactado é função, fundamentalmente, do grau de compactação, das condições da superfície das chapas de compensado, do tipo de cura e granulometria do solo utilizado. Os acabamentos de paredes podem ser variados, um tradicional mais rústico ou um acabamento liso, quase plano, e geralmente não requerem

nenhum revestimento adicional. As paredes são deixadas em seu estado natural, onde ficam aparentes as camadas compactadas e as linhas tênues das formas. O bom acabamento da parede depende das condições internas e montagem correta das formas (no prumo, nível, alinhamento), da textura do solo e de procedimentos que assegurem que todas as partes sejam igualmente compactadas (CEPED, 1984).

Nas construções estudadas por Fonseca (2007), as paredes eram revestidas com rebocos feitos de cal e areia, o que provocava o aparecimento de patologias (fissuração e desagregação) pela incompatibilidade mecânica entre o reboco e a taipa. Na presença de água, a parede, mais porosa, expande e retrai, enquanto o reboco não, pois possui pouca capacidade de deformação. Nesse caso, quando há fissuração das paredes o revestimento também fissa.

Emulsões à base de silicone ou PVA<sup>22</sup> (hidrofugantes) são opções contemporâneas encontradas no mercado, de aplicação sobre a superfície das paredes externas, para repelir a água, enquanto permite a saída do vapor (WALKER, STANDARDS AUSTRALIA, 2002). O uso de tintas plásticas, além de ser passível de questionamento pelo prejuízo para a imagem da edificação de terra, resulta em problemas pela ação da umidade entre o revestimento e acabamento ou entre a taipa e acabamento. As tintas à base de látex, dependendo da textura da parede, não penetram em todos os poros, deixando áreas suscetíveis à penetração de água.

A aplicação de pinturas claras nos forros, pisos, esquadrias e paredes internas e adoção de caixilhos com áreas envidraçadas relativamente grandes, são estratégias que melhoram a luminosidade dos ambientes, sem a necessidade de revestir o material.

### **2.3.2 Estabilização**

O elemento aglutinador da técnica antiga da taipa era a argila. Para compensar a retração quando o solo era muito argiloso, usualmente adicionava-se minerais inertes (seixos, areias) ou materiais orgânicos (palha, crinas) para o controle da fissuração, conferindo maior resistência às misturas de terra (BRUNO, 2005). Nos tempos atuais diversos produtos e métodos estabilizantes vêm sendo utilizados: correção granulométrica (adição de areia ou argila), adição de cimento, cal (virgem ou hidratada), mistura de cal e cimento, fibras sintéticas e vegetais.

A escolha do processo de estabilização depende de uma série de fatores como viabilidade econômica, finalidade do produto final, características dos materiais empregados e

---

<sup>22</sup> Acetato de polivinila

propriedades que se deseja modificar (densidade, resistência mecânica, compressibilidade, permeabilidade e porosidade (BARBOSA; TOLEDO FILHO, 1997<sup>23</sup> apud MILANI, 2008).

Para que haja economia e redução na pegada de carbono com a minimização do uso de cimento, um estudo de dosagem torna-se necessário para obras com volumes acima de 1000m<sup>3</sup> de material, contando com o acompanhamento de laboratório (NEVES; FARIA, 2011 EASTON, 2015; KRAYENHOFF, 2015). Alguns autores, de forma generalizada, estabelecem para a estabilização do solo-cimento a dosagem: 10% a 14% (teor de cimento em massa) para o critério de resistência, 4% (teor de cimento em massa) para o critério de durabilidade (CEPED,1984).

Solos classificados como arenosos e granulometria desuniforme são ideais para a estabilização com cimento, pois além de requererem menor teor de estabilizante, os espaços existentes entre os grãos maiores são preenchidos por partículas menores do próprio solo e, neste caso, os produtos formados das reações de solo-aditivo, agem de forma integral na ligação entre os grãos. A estabilização com cimento melhora a resistência à compressão simples, expansão e contração, resistência ao desgaste, resistência à erosão e durabilidade (MILANI, 2008).

Métodos de incorporação de fibras e microfibras em dosagens adequadas à misturas com cimento podem melhorar ainda as características físico-mecânicas (tração direta, flexão e cisalhamento), a ductilidade e a tenacidade do material, permitindo maior resistência ao impacto (no caso de fibras de baixo módulo de elasticidade), mudança do comportamento na ruptura e controle da fissuração (JOHNSTON, 1994; HANNANT, 1994 ).

### **2.3.3 Defeitos**

Mesmo com todos os avanços, patologias em paredes de taipa ainda são originadas da influência de um conjunto de variáveis construtivas e funcionais. A relação entre a forma arquitetônica, os sistemas construtivos e a envolvente da edificação constitui, geralmente o trinômio, cuja resolução permite apurar muitas das causas das patologias (BRUNO, 2005). A origem pode estar relacionada com o projeto (impõe a técnica construtiva), o modo de executar e utilizar a edificação a sua classificação é feita de acordo com os sintomas, com a causa que gerou o problema ou ainda com a etapa do processo produtivo em que ocorreram.

---

<sup>23</sup>BARBOSA, N. P., TOLÊDO FILHO, R. D. *Construção com terra crua*. In: TOLÊDO FILHO, R. D.; NASCIMENTO, J. W. B.; GHAVAMI, K. *Materiais não convencionais para construções rurais*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. cap. 4, p.113-43.

Dentre as manifestações patológicas mais comuns, encontradas em paredes de taipa, estão:

### **2.3.3.1 Fissuras e trincas**

As causas mais comuns apontadas na literatura para a ocorrência de trincas e fissuras em paredes de taipa estabilizadas com solo-cimento são (ABCP, 1948):

- Retração do material; são as mais comuns, ocasionadas pela perda de umidade incorporada, aparecem logo após o período de cura, quando as paredes expostas começam a secar, diminuindo de volume à medida que a água vai sendo evaporada.
- Deformação das estruturas e recalques da fundação;
- Movimentações térmicas;
- Movimentações higroscópicas;
- Movimentações da forma.

Paredes em menores extensões, podem reduzir esforços de tração a limites compatíveis com a resistência do material, evitando assim o surgimento de trincas (ABCP, 1948). No estudo de fissuração executado pelo CEPED (1984), concluiu-se que a distância máxima entre guias deve estar entre 2,5 a 3,5 m, dependendo do teor de areia do solo. Os valores típicos indicados em Walker, Standards Australia (2002) para painéis de taipa são de 2,5 a 5,0 m. Esses autores indicam que, em geral, a localização de juntas de controle em paredes estruturais deve seguir as prática aceitas para estruturas de alvenaria.

### **2.3.3.2 Arrancamentos**

Formas com imperfeições, sujas e mal lubrificadas provocam aderência de trechos de solo compactado, que quando aderidos aos moldes podem ser arrancados, em profundidades variadas. Apesar de superficiais, esses defeitos, em função da área proporcional ao total da parede, podem causar um desconforto estético. (WALKER; STANDARDS AUSTRALIA, 2002, CEPED, 1984).



Figura 23: Material que aderiu na forma durante a desforma

Fonte: Fonte: CCS/UFMS.

### 2.3.3.3 Marcas e falhas superficiais

É fato que a parede de terra é suscetível à abrasão superficial e possui baixa tolerância à correções pós-execução, o que a torna mais sensível à qualidade das práticas executivas.

Muitas imperfeições podem surgir à partir de intervenções inábeis durante o processo produtivo. O modo de desformar, cortar, perfurar, golpear e incidir os instrumentos na parede recém produzida, podem gerar defeitos que prejudicam o seu aspecto superficial e características originais. Este fato se deve entre outros fatores, à tenacidade do material (GONZÁLES, 2006).

A execução de furos e cortes não são indicadas na literatura, a menos que especificado no projeto. Na medida do possível, qualquer regularização do material deve ser feito antes do seu endurecimento. Preenchimento de reentrâncias podem ser feitos com a mesma mistura em consistência mais plástica, entretanto deixam manchas pela variação de tonalidade, textura e brilho.

### 2.3.3.4 Eflorescência

Nos ciclos de umidificação/secagem que ocorrem nas superfícies expostas às ações da água, podem ocorrer fenômenos de eflorescências, quando após a evaporação, os sais ou carbonatos de cálcio presentes nas misturas de solo-cimento depositam-se à superfície originando manchas esbranquiçadas (WALKER; STANDARDS AUSTRALIA, 2002).

### **2.3.3.5 Desagregação:**

A desagregação do material é o principal responsável pela degradação estrutural das construções em terra ao longo do tempo, sob a forma de perda de seção. O problema pode ser provocado pelo efeito abrasivo do vento, desgaste por atrito (abrasão) ou erosão.

Foi analisado por Bui et al (2009), a erosão superficial por estéereofotogrametria, em muros de taipa expostos por 20 anos às condições climáticas do oeste da França, tendo encontrado uma profundidade média de cerca de 2mm (0,5% da espessura da parede) nos muros estabilizados com 5% (em massa) de cal e, de cerca de 6,4mm (1,6% da espessura da parede) nos muros não estabilizados com aditivos. Estes autores salientam que a erosão de uma parede de taipa não é uma função linear do tempo, sendo que durante a primeira hora após a construção, a parede pode demonstrar mais desagregação na superfície, que, em seguida, se estabiliza. Nesse caso, é devido à perda de energia de compactação em contato com a forma durante a produção, por causa do atrito.

O estudo evidenciou também uma heterogeneidade da erosão, nas partes superiores das amostras, que mais protegidas da chuva pelo telhado erodiam menos.

### **2.3.4 A sustentabilidade da taipa mecanizada**

Em razão da relação da arquitetura de terra com as discussões ambientais da sustentabilidade, tem sido cada vez mais comum encontrar textos que apresentem a terra como um elo de solução para variadas questões sistêmicas e ambientais. Entretanto, são vários os aspectos a serem levados em consideração para a análise da sustentabilidade de uma edificação.

Paredes de taipa são mais sustentáveis, especialmente quando usada em países em desenvolvimento onde os custos com materiais superam os custos de trabalho, onde outros materiais e tecnologias não são disponíveis ou em áreas isoladas, onde os custos com transportes são impeditivos (CIANCIO; BOULTER, 2012) e quando pouco ou nenhum cimento é usado e não existe qualquer reforço estrutural (BAHAR; BENAZZOUG; KENAI, 2004<sup>24</sup>, VENKATARAMA REDDY; JAGADISH, 2001; CIANCIO, 2011).

---

<sup>24</sup> BAHAR,R.,BENAZZOUG,M.,KENAI,S.*Performance of compacted cement-stabilised soil. Cement & Concrete Composites*, 26:811-820.

Segundo a Agenda 21 da Construção Sustentável e a versão para países em desenvolvimento (CIB & UNEP-IETC, 2002), a escolha de taipa como solução construtiva para paredes será sustentável se:

- socialmente: gerar trabalho digno e saudável, novas capacidades técnicas (projetistas e executores), novos conhecimentos (usuários e vizinhança);
- economicamente: gerar trabalho formal e remunerado de forma justa, ter custo competitivo (associado ao ciclo de vida, que além do custo inicial, contempla manutenção e demolição) colaborar para a dinamização da economia local;
- politicamente: houver a participação colaborativa nas tomadas de decisões, se a escolha do usuário for consciente ou for na pessoa capaz de gerar tal consciência;
- culturalmente: gerar satisfação ao usuário, seja pelo uso de técnica tradicional ou pela exclusividade do produto, houver reconhecimento e aceitação da técnica pelos executores;
- tecnologicamente: não houver perda de desempenho, comparado com as técnicas convencionais (durabilidade, conforto, segurança estrutural, estanqueidade, etc), houver ganhos de qualidade e produtividade.

Por ser um material abundante, não-tóxico e reversível o impacto ambiental da taipa pode ser reduzido, podendo apresentar um menor índice de energia incorporada<sup>25</sup> e emissões de carbono do que um edifício equivalente construído com materiais mais convencionais, como concreto, aço ou alvenaria de blocos cerâmicos (JAGADISH, 1988; CIANCIO; JAQUIN; WALKER, 2013). Esse fato se deve principalmente pela produção do material ser local, o que elimina etapas de transporte desde a extração do material ao processo de reversão (ver figura 24).

---

A energia incorporada ou emergia, por exemplo é geralmente usada para uma indicação do impacto e envolve toda a energia utilizada nas etapas e processos de geração de um produto (BOYLE, 2005).

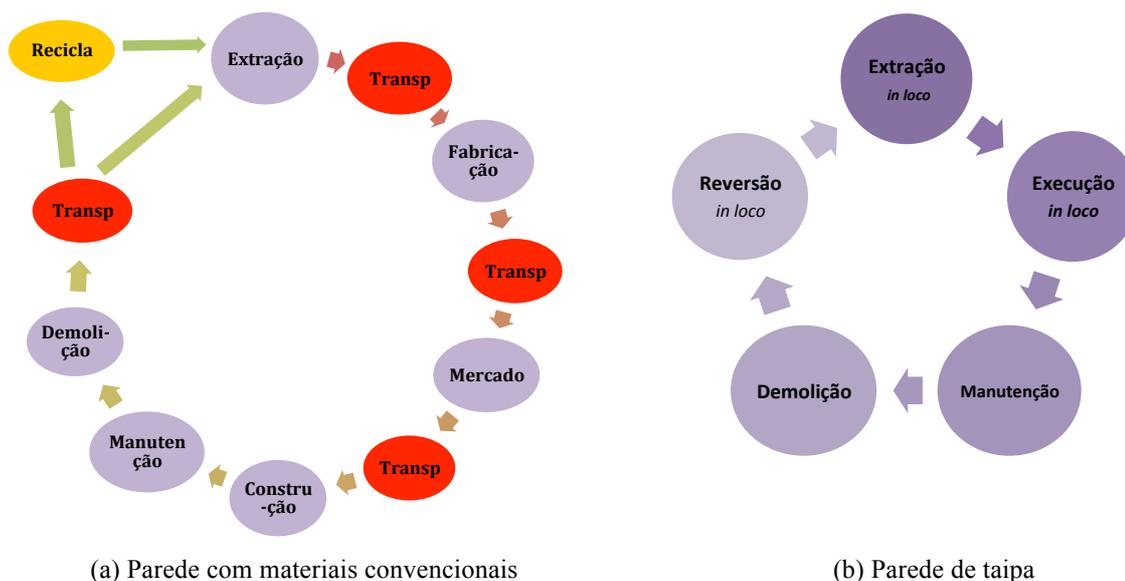


Figura 24: Etapas do ciclo de vida de duas paredes, destacando as etapas de transporte

Fonte: Do autor

Estudos recentes de Ciancio; Boulter (2012) comparam a energia necessária para a produção de paredes para a construção de um edifício e a energia dispendida para o seu transporte, sendo a primeira de taipa, com 10% de cimento (1m x 2,4m) e a segunda de painéis de aço (*steel frame*), ambas hipoteticamente localizadas em uma comunidade remota de Kimberley na Austrália. Os resultados mostraram que o consumo de energia no processo de produção da parede de taipa, é 75% menor do que a produção de paredes com estrutura de aço e que mesmo o cimento não sendo originado do local, a energia consumida no transporte dos painéis de aço foi 35% mais elevada do que a da parede de taipa.

Uma vez que a tecnologia seja corretamente apropriada, seu baixo nível de processamento a torna bastante habilitada para o desenvolvimento de tecnologia social, podendo alavancar empreendimentos com alternativas de trabalhos locais e fonte de renda para o meio rural e urbano (MOREL et al<sup>26</sup> apud CIANCIO, JAQUIN, WALKER, 2013). Exemplos bem-sucedidos de construções de casas em escala à partir do treinamento de mão-de-obra não-qualificada para o método da taipa mais tradicional, são encontrados no Brasil, EUA, Austrália. Em 1933, o arquiteto e engenheiro Thomas Hibben ensinou 14 trabalhadores não

<sup>26</sup>Morel J. C., Mesbah A., Oggero M., Walker P. *Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction*. Build Environ 2001;36:1119–26.

qualificados, a construir sete casas usando o método da taipa, como parte do programa de demonstração feito pelo Departamento de Agricultura do Alabama, sendo as casas utilizadas até os tempos atuais (CIANCIO, 2011). Cinco semanas foram necessárias para a construção das paredes da primeira casa, mas apenas cinco dias para a última, aponta Easton (2007).



(a) casa de taipa construída em 1933

(c) equipe de produção

Figura 25: Fotos da casa de taipa próxima a Birmingham, Alabama

Fonte: Yale (2015)

De um modo semelhante, em 1997, a construção de uma casa demonstrativa denominada *Arrillhjere* no oeste da Austrália, foi empreendido por vários grupos de *Alice Springs* um projeto de formação local de gerenciamento e fomento à participação indígena na construção de fundação e paredes de taipa (PARNELL, 2015). Segundo CIANCIO (2011) por meio do envolvimento prático, os aborígenes ganharam conhecimento de tecnologias e técnicas de construção, que retornaram às suas próprias comunidades.

No Brasil, muitas habitações para população de baixa renda e famílias em situação de precariedade, além de equipamentos comunitários com paredes monolíticas de solo-cimento foram construídas com a participação dos moradores em regime de mutirão e administração direta, principalmente para a população de baixa renda, resultado das iniciativas de transferência de tecnologia do CEPED (NEVES, 2015).

### 2.3.5 O processo produtivo, o ciclo de vida e a cadeia produtiva de paredes de taipa

A noção de cadeia produtiva, associada com as etapas do processo produtivo e também com a análise do ciclo de vida explicita os agentes envolvidos, permite uma visão global do sistema e mostra dinamicamente as diferentes lógicas do desenvolvimento, as estratégias dos atores, a

possibilidade de melhor articulá-los e entender o comportamento dos clientes com seus desejos e necessidades (YUBA, 2001).

A discussão incorpora, além do agente principal (produtor do edifício), os seus fornecedores (produtores de matérias-primas básicas, produtores de materiais, componentes e sistemas construtivos). A agenda 21 da Construção Sustentável para países em desenvolvimento (CIB & UNEP-IETC, 2002), define cinco grupos principais de agentes da cadeia produtiva:

- Setor de pesquisa e educação;
- Setor privado e de serviços: profissionais liberais, construtoras, fabricantes de materiais de construção, componentes, ferramentas, o setor de financiamento para construção e edificações;
- Usuários: clientes individuais ou grandes grupos;
- Governo: local e nacional;
- Organizações não-governamentais.

Questões relacionadas as lacunas, gargalos e perspectivas do ciclo de vida, processo construtivo e cadeia produtiva de paredes de taipa serão analisadas no capítulo 4.

### 3 A SEDE DO CANTEIRO EXPERIMENTAL

O propósito do protótipo habitacional construído foi evidenciar a viabilidade do uso da terra como material de construção e da técnica de produção de parede de taipa, para gerar oportunidades de trabalho com foco principalmente nas áreas rurais. Tem como pressuposto a mecanização do processo produtivo para reduzir o esforço e aumentar a produtividade em relação às técnicas tradicionais, contribuindo para a competitividade da técnica.

Foi motivado pela análise de que a habitação social nesse meio atualmente segue modelos urbanos de forma e produção, o que resulta em problemas de adaptação e logística. Esses mesmos problemas motivaram a busca de soluções o mais simplificadas possível (rol de materiais, equipamentos e grau de especialização da mão de obra) para os detalhes construtivos.

Visando a reprodução em escala, buscou-se:

- racionalizar o projeto arquitetônico em função da modulação das formas de largura 1,10m e altura máxima 3,50m. A espessura da parede foi definida em 20cm;
- otimizar o processo construtivo, com a mecanização das etapas de mistura e compactação;
- substituir materiais para criar alternativas aos materiais convencionais ou para facilitar o transporte (leveza, resistência a impactos).

A edificação é utilizada para abrigar salas de estudo, biblioteca e ferramentas do Canteiro Experimental do Curso de Arquitetura e Urbanismo.



Figura 26. Protótipo de habitação na UFMS

Fonte: CCHS/UFMS.

### 3.1 O projeto de arquitetura do protótipo habitacional

A execução do protótipo ficou a cargo de uma empreiteira, sendo que nenhum membro da equipe (1 empreiteiro, 1 pedreiro, 1 servente e dois auxiliares) tinha experiência prévia em construção com terra.

O treinamento dos operários foi feito por dois assessores do Projeto (ambos Arquitetos e Urbanistas), com experiência específica em produção de paredes de taipa, durante a primeira semana de obra. O projeto arquitetônico da habitação social rural tem a concepção de dois blocos unidos por uma varanda. A área coberta corresponde a 105m<sup>2</sup>.

A construção foi acompanhada desde a sua concepção, execução e pós-execução, junto de um docente com formação em Arquitetura e Urbanismo e dois graduandos em Engenharia Civil, em revezamento. Ocasionalmente, para assuntos específicos, contou-se com a consultoria de dois docentes Engenheiros Civis.

O registro das atividades foi feito por filmagens e fotografias. A obra teve duração de aproximadamente 6 meses.

Quadro 1: Cronograma de execução do protótipo habitacional e paredes de taipa da sede do canteiro experimental da UFMS

tem	discriminação do item	2013				2014				
		set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	ma
1.	Serviços Iniciais	■								
2.	Movimento de terra	■								
3.	Organização do canteiro	■								
4.	Fundação		■							
5.	Paredes de taipa		■	■	■					
6.	Cobertura				■					
7.	Alvenarias internas e Esquadrias				■	■				
8.	Revestimentos					■				
9.	Rodapés						■			
10.	Pinturas						■			
11.	Metais e acessórios						■			
12.	Vidros						■			
13.	Instalações hidrosanitárias		■			■				
14.	Instalações elétricas					■				
15.	Limpeza da obra						■			
16.	Curso de capacitação				■					■

O projeto arquitetônico da habitação social rural tem a concepção de dois blocos unidos por uma varanda. Dado que se trata de uma habitação para atendimento à demanda social, foi pensado como um embrião (cozinha, 2 quartos, banheiro, área de serviço e varanda), com

possibilidades de ampliação para 3 quartos e varanda convertida em sala. A área coberta corresponde a 107,3m<sup>2</sup> e a área construída é de 64,42m<sup>2</sup>.

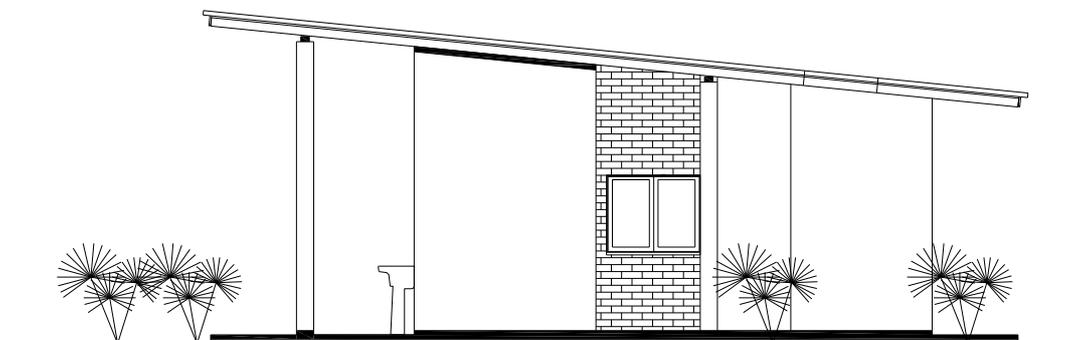


Figura 27. Vista oeste do protótipo de habitação.

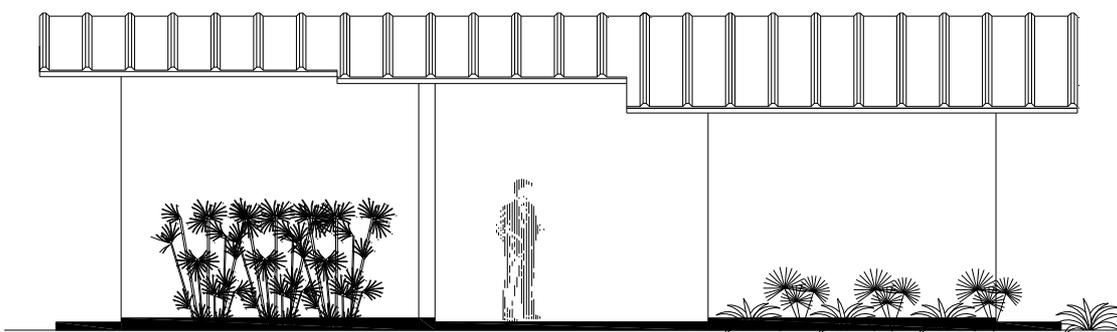


Figura 28. Vista sul do protótipo de habitação.

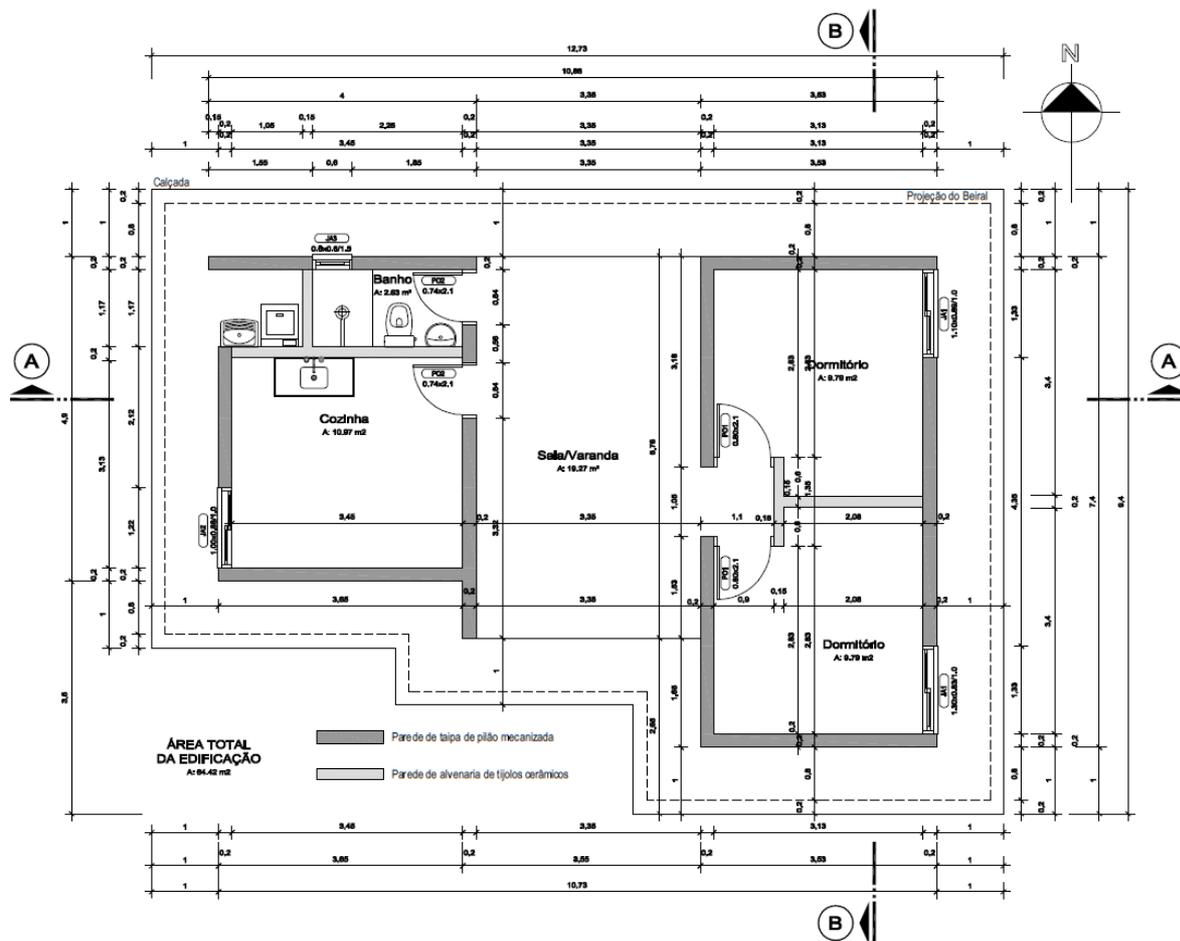


Figura 29. Planta do protótipo de habitação (com medidas).

O local de construção está situado no campus da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em Campo Grande/MS, dentro do Canteiro Experimental, da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia.

O terreno, originalmente inclinado, foi aterrado e finalizado com um talude, para acomodar a edificação. Todo o solo necessário para o aterramento e a execução das paredes foi adquirido de uma jazida localizada a cerca de 20km do local.



Figura 30: Implantação do protótipo habitacional de taipa, sede do canteiro

O protótipo tem paredes portantes de 20cm de espessura, construídas sobre a fundação rasa tipo *radier*, de concreto usinado com adição de macrofibra de polipropileno, tendo como base solo compactado e 7 cm de brita 1. Com o intuito de elevar a base das paredes de taipa do contato direto com o chão, foi executado sobre o *radier*, um baldrame de 10 cm de altura e 20 cm de espessura, ao longo de toda a extensão das paredes.

As paredes foram executadas em sequência de 1 a 6 (Figura 31), sendo 3 paredes retas e 3 em L, com alturas variáveis (mínimo de 2,70m e máximo de 3,50m) e algumas com inclinação, sendo intercaladas com painéis de alvenaria nas fachadas para encaixe das esquadrias. Esse detalhe eliminou a necessidade de vergas e contravergas nas paredes de taipa. Nenhuma parede foi executada com tubulação embutida.

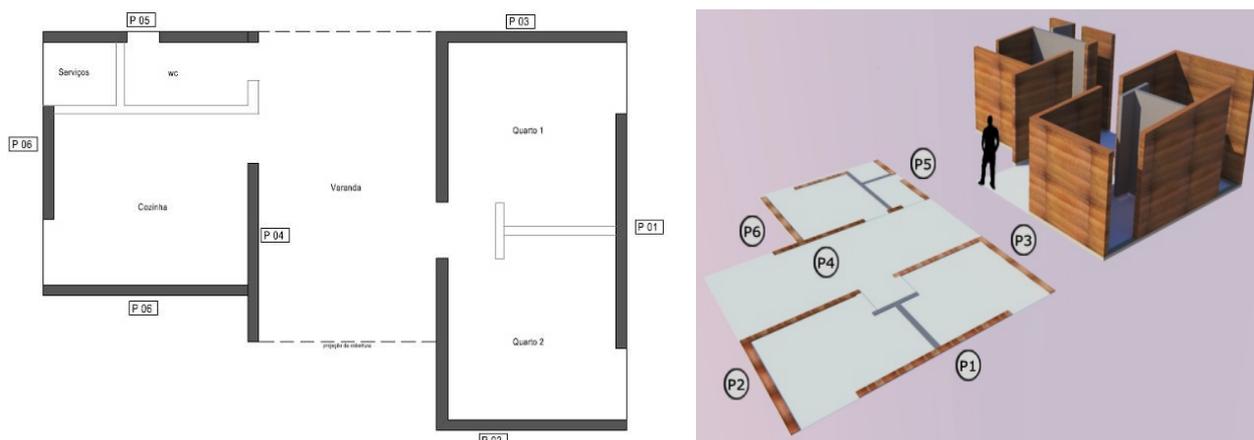


Figura 31. Ordem de execução das paredes do protótipo de habitação.

As paredes com tubulação embutida (hidráulica, esgoto) foram executadas em alvenaria de blocos cerâmicos revestida e as paredes com janelas foram executadas em alvenaria de tijolos maciços aparentes (Figura 26). Todos os encontros entre paredes foram solidarizados com barras de aço a cada 5 fiadas, visando dar unidade ao conjunto de paredes.

Uma cinta de amarração de madeira foi chumbada sobre as paredes prontas para distribuir de maneira mais uniforme as cargas de cobertura e ventos. A cobertura é constituída de estrutura de madeira com fechamento de telhas metálicas tipo “sanduíche” com isolamento de camada de isopor.



Figura 32. Cobertura metálica do protótipo de habitação.

As paredes foram revestidas com silicone e para correções foram utilizados massa PVA (diluída aplicada em método de pátina) e tinta à base de terra (ver item 4.4).

## 4 ANÁLISE DO PROCESSO CONSTRUTIVO

O processo de construção e as variáveis analisadas são tratadas nesse capítulo. As atividades realizadas em cada etapa do processo de construção do protótipo foram. A previsão de aplicação de procedimentos de controle tecnológico de cada etapa da execução e pós-execução foram sistematizadas em planilhas de obra. O fluxograma da Figura 33 apresenta a sequência dos procedimentos das etapas de execução das paredes de taipa e pós-execução.

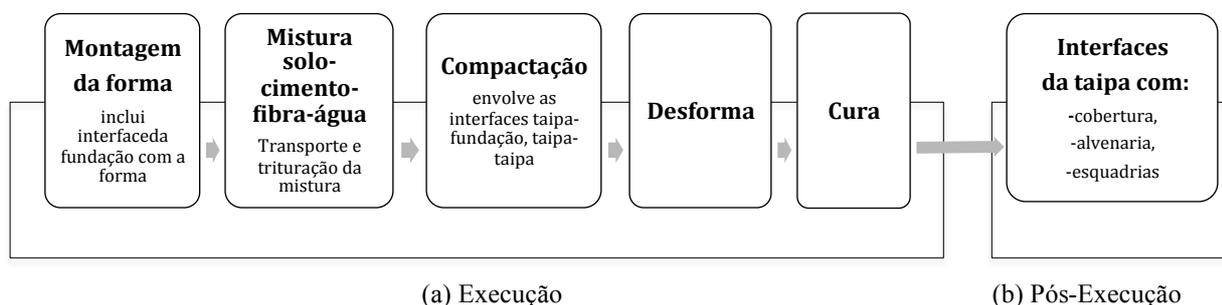


Figura 33: Fluxograma do processo e etapas de execução e pós-execução da parede de taipa mecanizada.

### 4.1.1 Montagem da forma

A forma utilizada na produção das paredes, de estrutura metálica (treliças de aço), com chapas de compensado plastificado de 20mm, foram parafusadas na fundação *radier* sendo o prumo, ajustado por um sistema de pé-rosqueável em uma das extremidades das treliças<sup>27</sup>. A Figura 34 ilustra o processo de concretagem do *radier* e do baldrame. O passo-a-passo da execução do baldrame (base da parede) é apresentado no (Quadro 2).

<sup>27</sup> A forma em questão foi projetada pela empresa Taipal Construções em Terra.



(a) caixaria do *radier* e baldrame

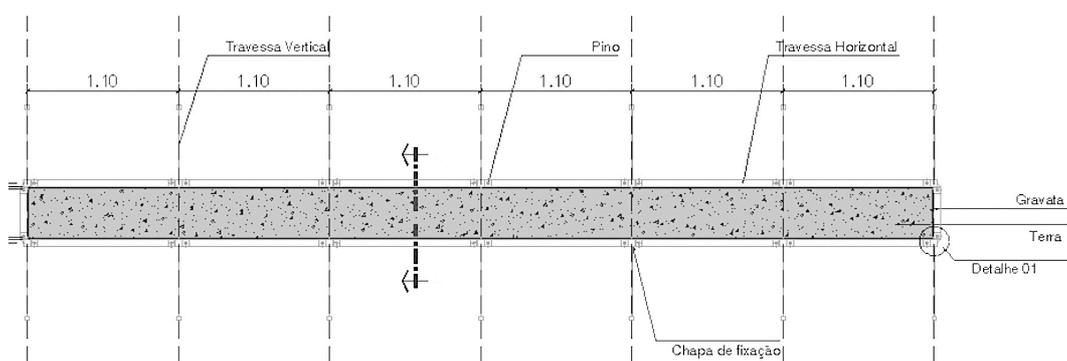
(b, c) concretagem do *radier* e do baldrame da parede

Figura 34: Concretagem da fundação

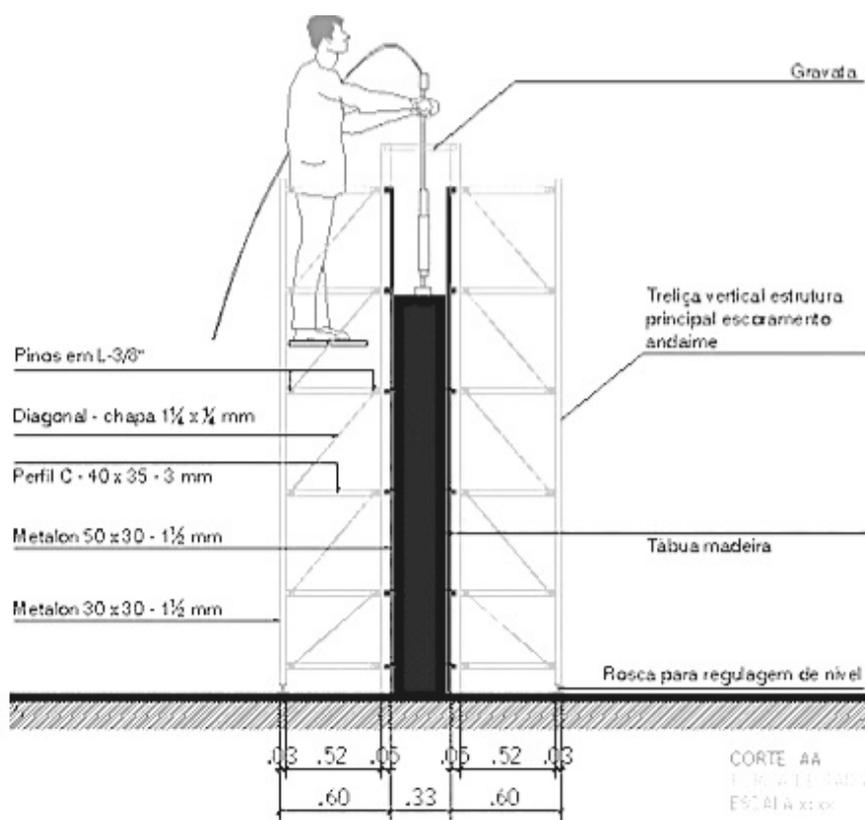
Quadro 2: Passo-a-passo da execução da base da parede (baldrame)

<b>Materiais:</b>		<b>Ferramentas:</b>		<b>Equipamentos:</b>	
✓	Tábuas de pinus 2,5 x 10cm para forma = xxm	✓	Colher de pedreiro	✓	Betoneira
✓	Sarrafos de 2,5 x 5cm para gravata	✓	Trincha		
✓	Cimento	✓	Prumo		
✓	Areia	✓	Nível		
✓	Brita	✓	Martelo		
✓	Impermeabilizante (tipo Vedatop)	✓	Serrote		
✓	Prego	✓	Linha de nylon		
✓	Cunhas	✓	Mangueira		
✓	Rodo float	✓	Despenadeira de madeira		
		✓	Régua de madeira ou metálica		
<b>ETAPA</b>		<b>BALDRAME</b>		<b>OBSERVAÇÕES</b>	
1	Montar as fôrmas do baldrame sobre a caixaria de <i>radier</i> , locando e nivelando os cantos				
2	Fixar firmemente as gravatas a cada 30cm				
3	Conferir as dimensões, prumo, nível, alinhamento e travamentos, conforme projeto				
4	Efetuar o lançamento do concreto com vedacit, espalhando-o com enxadas, pás. Usar o vibrador para eliminar bolhas.			✓	1.31/m <sup>3</sup>
5	Retirar as formas assim que iniciar a pega do concreto.			✓	evita danos na desforma
6	Tão logo a superfície permita, molhar e cobrir com lona plástica ou molhar pelo menos três vezes ao dia			✓	Em dias de sol e baixa umidade, molhar mais vezes
7	Conferir as medidas e efetuar correções, se necessário			✓	As medidas devem ser exatas
8	Passar o impermeabilizante no cume do baldrame				
<b>ITENS</b>		<b>COMO DEVE ESTAR</b>			
<b>Dimensões</b>	Largura: 20cm, Altura: 10cm				
<b>Cura</b>	Uma cura mal feita é identificada pela fissuração ou até pequenas trincas que surgem na superfície do concreto. A cura por umidificação deve ser feita no início da manhã às 8h, por volta de 12h, e por volta das 15h, ou sempre que a superfície estiver completamente seca, durante 3 a 5 dias.				
<b>Prumo</b>	A superfície deve estar aprumada para não comprometer a montagem da forma e a qualidade da compactação				
<b>Nível</b>	O topo deve estar nivelado				
<b>Alinhamento</b>	Deve estar perfeitamente alinhada e no esquadro, conforme indicação do projeto.				
<b>Acabamento</b>	A superfície do <i>radier</i> deve estar limpa, nivelada e sem imperfeições, para facilitar a montagem das formas. As laterais do baldrame devem estar bem acabadas, sem nenhuma deformação, rebarbas, furos e falhas, pois o mesmo ficará aparente dentro da casa.				
<b>Impermeab.</b>	Somente o topo do baldrame deverá ser impermeabilizado (3 demãos)				

As treliças da forma, a cada 1,10m estruturaram externamente as chapas de compensado (moldes), eliminando a utilização de parafusos transpassantes e andaimes. Além disso, o uso de contra-formas permitiu a execução de paredes retas em diferentes tamanhos. Detalhes da forma e sua montagem são apresentadas na Figura 34, Figura 35 e no Quadro 3.



(a) Planta



(b) Corte

Figura 35 : Projeto esquemático da forma utilizada na construção das paredes de taipa do protótipo

Fonte: Imagens cedidas por Taipal Construções em Terra.



(a) Parafusamento das treliças no radier (b) Pé-rosqueável



(c) Parede “L”: montagem do 1º lance de chapas (d) Encaixe com pinos e conexões de canto (“L”)



(a) mão-francesa

(b) indicação das peças da forma

Figura 36: Detalhes da montagem da forma

Quadro 3: Passo-a-passo da montagem da forma

<b>Materiais de apoio:</b>	<b>Ferramentas:</b>	<b>Peças da forma:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vassoura macia de plástico</li> <li>✓ Desmoldante</li> <li>✓ Estopa</li> <li>✓ Desengripante (WD 40)</li> <li>✓ Tábuas para andaimes</li> <li>✓ Parafusos sextavados</li> <li>✓ Caibros cortados diagonalmente (baguetes para moldagem dos chanfros)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Martelo</li> <li>✓ Prumo</li> <li>✓ Régua de nível</li> <li>✓ Cunhas</li> <li>✓ Escoras</li> <li>✓ Chaves de fenda e de broca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Treliças,</li> <li>✓ Travessas;</li> <li>✓ Mão francesa (entre treliças);</li> <li>✓ Gravatas (do topo);</li> <li>✓ Pinos,</li> <li>✓ Chapas de compensado nas dimensões: 1,10 m x 0,55m; 0,20 x 0,55 ; 1,10 x 0,75m</li> <li>✓ Conexão de canto (“L”)</li> </ul>
<b>ETAPA</b>	<b>O QUE FAZER</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>1</b>	Posicionar duas treliças (vertical) e travá-las com as travessas (horizontal);	✓ Utilizar os pinos
<b>2</b>	Alinhar as treliças com o baldrame e marcar o chão com a furadeira;	
<b>3</b>	Furar e fazer o primeiro aperto dos parafusos sextavados no chão;	
<b>4</b>	Aprumar com o pé-rosqueável;	
<b>5</b>	Travar os topos com as gravatas e instalar todas as peças (mão-francesa) fixar um dos pés da forma com os parafusos sextavados;	✓ Nos módulos de compactação a mão-francesa é dispensável
<b>6</b>	Posicionar os caibros nas quinas, por dentro da forma;	
<b>7</b>	Passar desmoldante nas chapas de compensado;	✓ As chapas devem estar limpas
<b>8</b>	Posicionar as chapas por dentro da estrutura, usar as cunhas para auxiliar no nivelamento;	
<b>9</b>	Escorar a estrutura nos pontos onde não há firmeza.	
<b>ITENS</b>	<b>COMO DEVE ESTAR</b>	
<b>Estrutura</b>	Bem travada para evitar movimentação durante a compactação;	
<b>Moldes</b>	As chapas de compensado devem estar bem retas e no mesmo nível para que na junção das pranchas não se formem vãos;	
<b>Prumo</b>	A estrutura da forma deve estar aprumada para evitar defeitos de interface entre as paredes de taipa;	
<b>Alinhamento</b>	A estrutura da forma deve estar bem alinhada com a base para evitar problemas no assentamento do piso e na viga da cobertura;	
<b>Piso</b>	Deve estar rígido, nivelado, sem imperfeições (protuberâncias)	

#### 4.1.2 Homogeneização e transporte da mistura

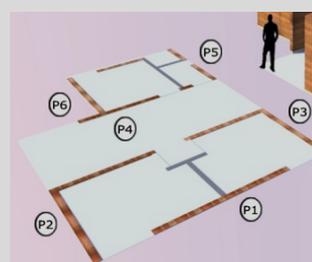
Após a montagem do 1º. lance de chapas, foi feito o lançamento das camadas da mistura (solo-cimento-água e solo-cimento-microfibras-água) e compactação, procedimentos que se repetiram sucessivamente até o enchimento das formas, na altura determinada em projeto.

Dois arranjos de mecanização foram adotados durante o processo construtivo (Tabela 1). Para a compactação foi utilizado um compactador pneumático em todas as paredes. A peneira e

uma esteira foram eliminadas no início do processo, sendo o misturador alimentado por baldes (ver marcações amarelas na Figura 37 e ver item 4.6.9).

Tabela 1: Arranjos da mecanização e traços adotados em cada parede

	Parede 1	Paredes 2 a 5	Parede 6
<b>Misturador</b>	Betoneira	Betoneira	Misturador hexagonal + triturador
<b>Traço da mistura</b>	1:10	1:12 + 200g de microfibra	1:12 + 200g de microfibra
<b>Transporte</b>	Balde 12 l	Balde 12 l	Baldes 12l + Esteiras rolantes
<b>Compactação</b>	Pneumática	Pneumática	Pneumática



O conjunto de máquinas utilizado na execução da parede 6 foi organizado conforme lay-out apresentado na Figura 37.

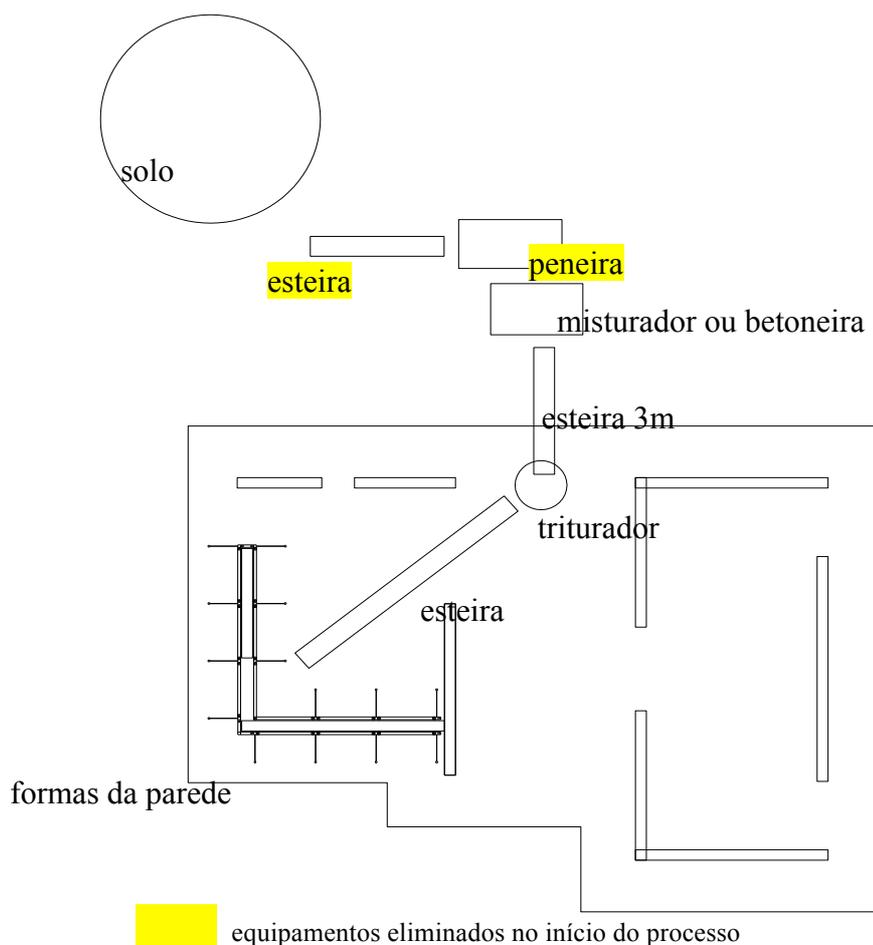


Figura 37: Layout do canteiro e conjunto de máquinas utilizadas na execução da parede 6.

### **4.1.3 Mistura solo-cimento-microfibra-água**

Amostras de solo foram enviadas para o laboratório de mecânica de solo das UFMS. Conforme o ensaio de granulometria o solo foi classificado como areia-siltosa pelo diagrama trilinear do Bureau of Public Roads/EUA e A2-4 pelo sistema Bureau of Public Roads e AASHTO (empregado na engenharia rodoviária), apresentando uma composição granulométrica com 77% de areia, 3% de silte e 20% de argila (BARBOZA, 2014).

A massa específica dos sólidos foi de 2,825 g/cm<sup>3</sup> e caracterizou-se como solo não-plástico. Desta forma, a estabilização adotada foi solo-cimento no traço 1:12 com adição de 1,4% de microfibra em relação à massa do cimento, com exceção da parede 1, produzida com solo-cimento no traço 1:10.

A quantidade de água foi estimada de acordo com o ensaio de Proctor-NBR 7182 (ABNT, 1986), sendo considerada 12% a umidade ótima da mistura utilizada (média de 81), sendo avaliada na obra pelo teste do “bolo” (Quadro 4).

O solo, aparentemente livre de impurezas, foi homogeneizado sem peneiramento e seguiu as recomendações de Heise (2004) sendo feita em duas etapas: a primeira denominada pré-mistura, com o material seco e a segunda (mistura) com a incorporação da água. Adotou-se como medidor do solo e do cimento, baldes de 12 litros e para as microfibras (kg) e uma balança (portátil). O passo-a-passo das atividades do processo de homogeneização da mistura são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Passo-a-passo do processo de mistura solo-cimento-microfibras-água

<b>Materiais:</b>		<b>Ferramentas:</b>		<b>Equipamentos:</b>	
✓	Terra peneirada (malha 0,4mm)	✓	Aspersor	✓	Regador
✓	Cimento CII, CI OU CIII	✓	Colher de pedreiro	✓	Baldes
✓	Água	✓	Carriola	✓	Pá
✓	Lona plástica resistente	✓	Tábuas para andaime	✓	Enxada
✓				✓	Misturador
				✓	Speedy (opcional)
				✓	Balança portátil

<b>ETAPA</b>	<b>O QUE FAZER</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
1	Armazenar a terra próxima ao equipamento misturador	
2	Peneirar a terra na peneira de malha 0,4mm e armazenar em local protegido das intempéries (coberto), forrada com lona plástica ou “embalada”.	✓ Se a terra estiver úmida, “abri-la” até secar antes de peneirar
3	Pré-mistura seca: despejar a terra e o cimento no misturador com o equipamento em funcionamento	✓ Padronizar um medidor (baldes, pás)
4	Mistura: adicionar a água, de acordo com a dosagem indicada e misturar a massa até que fique homogênea.	✓ Misturar por apenas 60 segundos
5	Verificar o teor de umidade da massa com o teste do bolo. Inserir as fibras.	✓ Se necessário adicionar água e misturar
6	Descarregar a mistura na carriola ou na esteira (quando mecanizado)	
7	Transportar a massa em carrolas/ esteiras imediatamente até a fôrma	✓ Descartar a massa que não for usada dentro de 2 horas

<b>COMO DEVE ESTAR</b>	
<b>Solo</b>	Livre de impurezas, torrões e contaminantes
<b>Cimento</b>	Em pó, solto e sem pelotas, na validade
<b>Mistura</b>	Uniforme na cor, sem pelotas (grumos)
<b>Umidade</b>	Teste do bolo- comprimir com a mão uma porção da massa pronta. O bolo formado deve guardar o sinal dos dedos e estar coeso o suficiente para se quebrar em duas partes, sem esfarelar. Caso esfarele, a umidade está insuficiente.

#### 4.1.4 Compactação da parede de taipa

No intuito de ganhar produtividade, o serviço foi efetuado sempre pelo mesmo operador, que recebeu treinamento logo no início do trabalho, segundo orientações de Heise; Minto; Hoffmann (2012). A compactação se inicia com o lançamento da mistura dentro da forma, posterior balizamento da altura da camada (Figura 38) e foi controlada pela quantidade de passadas do compactador ao longo de toda a camada (4 vezes), sendo também visualmente controlada pelo operador. Quando não era mais observado o desprendimento do material e o compactador não marcava significativamente o solo compactado, configurava-se o momento ideal para finalização do procedimento.

Paralelamente a este procedimento, foi realizado o controle tecnológico, determinando-se o teor de umidade e a massa específica aparente seca a partir da retirada, pesagem e secagem de amostra de material compactado *in situ* e cálculo dos valores de grau de compactação (%), que atingiram valores entre 95% a 105%. As atividades dentro do processo de compactação são apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Passo-a-passo da compactação da parede

<b>Materiais:</b>		<b>Ferramentas:</b>		<b>Equipamentos:</b>	
✓	Colher de pedreiro	✓	Régua de compacidade	✓	Compactador pneumático
✓	Carriola	✓	Rodo de madeira	✓	Compressor
✓	Rastelo	✓	Soquete manual	✓	Tábua para andaimes
✓	Trena, régua				

<b>ETAPA</b>	<b>O QUE FAZER</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
1	Limpar e umedecer o baldrame de concreto	✓
2	Colocar a mistura dentro da forma até a altura de 20cm	✓ Utilizar o medidor de ferro
3	Espalhar uniformemente a mistura com o rodo de madeira	
4	Pré-compactar levemente com o soquete a mistura em toda a extensão da camada	✓ Não compactar o mesmo lugar diversas vezes ✓ Não bater com o soquete na forma
5	Compactar toda a superfície, repetindo 3 a 4 x passadas por toda a extensão da camada até o limite de compactação	✓ Nos cantos e locais onde o compactador não penetra, use um soquete manual menor.
6	Fazer ranhuras na camada recém-compactada com um rastelo e raspar levemente as pranchas com uma colher de pedreiro (limpeza), antes de iniciar a próxima camada;	
7	Verificar prumos e níveis da forma durante a compactação, se não estiver apurada corrigir antes de iniciar a próxima camada	
8	No caso de paralização da obra por mais de 30min, deve-se cobrir o topo da forma com lona para evitar a evaporação da umidade da camada pronta. Caso a interrupção aconteça por um período maior que 4 hs umedeça e polvilhe cimento na superfície para facilitar a aderência da próxima camada.	

<b>COMO DEVE ESTAR</b>	
<b>Camada</b>	A mistura fofa dentro da fôrma deve atingir o limite de 20cm (verificar o nível com o medidor)
<b>Grau de compactação</b>	A mudança no som e o aparecimento de marcas do compactador na camada, indicam que o limite foi alcançado
<b>Camada compactada</b>	Deve estar escarificada (com ranhuras) para facilitar a aderência da próxima camada
<b>Interface entre camadas</b>	A umidade deve estar similar à da próxima mistura
<b>Prumo</b>	Não deve haver movimentações no prumo da forma e nas deformações nas chapas. Se necessário, apoiar a estrutura com escoras.



(a) Lançamento da mistura

(b) Medição da camada

(c) compactação

Figura 38: Etapa de lançamento e compactação da mistura dentro da forma

#### 4.1.5 Desforma e cura

A cura das paredes foi feita sob lona plástica durante 7 dias. Este procedimento evita que a umidade incorporada na mistura evapore com rapidez e o fenômeno de hidratação do cimento do solo-cimento se processe normalmente nos primeiros dias, trazendo como consequência o aumento da resistência com a idade. O passo-a-passo das atividades relacionadas ao processo de desforma e cura consta na planilha do Quadro 6.



(a) Retirada das chapas de compensado

(b) Parede recém-desformada

(c) Envolvimento com lona

Figura 39. Desforma e cura das paredes.

Quadro 6: Passo-a-passo do processo de desforma e cura

<b>Materiais:</b>	<b>Ferramentas:</b>	<b>Equipamentos:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lona</li> <li>✓ Mangueira com bico</li> <li>✓ Fita adesiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Martelo borracha</li> <li>✓ Colher de pedreiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Serra circular ou serra mármore</li> <li>✓ Lixadeira orbital</li> </ul>
<b>ETAPA</b>	<b>ATIVIDADE</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
<b>1</b>	Destruir a fôrma, soltando os parafusos do chão	
<b>2</b>	Retirar cunhas e escoras	
<b>3</b>	Retirar: pinos, gravatas, travessas horizontais (perfil U)	✓ De cima para baixo
<b>5</b>	Retirar as chapas de compensado, uma de cada vez no sentido vertical	✓ Não bater as chapas na parede pronta
<b>6</b>	Retirar as treliças	✓ As treliças devem estar apoiadas para não cair
<b>No caso de defeitos na parede pronta:</b>		
	Furos: Se o buraco não for admissível, umedecer a superfície e polvilhar cimento e corrigir com a mesma massa da taipa, acrescida de água (mais plástica)	
<b>7</b>	Arrancamentos: Se for inadmissível, pode-se umedecer a superfície e polvilhar cimento e corrigir com a mesma massa da taipa, acrescida de água (mais plástica), cuidando para não asbordar do descolamento	
	Fissuras: Se for inadmissível (maior que 3mm), umedecer a superfície e corrigir com a mesma massa da taipa, acrescida de água (mais plástica), cuidando para não ultrapassar os limites da fissura	
	Partículas soltas, manchas: Lixar com a lixadeira orbital	
	Acabamentos:	
<b>8</b>	<p><b>• Cortes de inclinadas (empenas):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Compactar as camadas em degraus, desformar e traçar uma linha marcando a inclinação desejada na taipa. Depois cortar o painel recém-compactado com a serra circular, guiada por uma régua de madeira (caibro ou ripa)</li> <li>✓ Fazer a mistura do solo-cimento plástico ou argamassa para a última camada;</li> </ul>	✓ Primeiro risque a linha de corte, depois vá aprofundando o corte passando a serra mármore continuamente até atingir o limite da lâmina. Se precisar abra também riscos no topo para auxiliar a retirada de pedaços.
<b>9</b>	<b>CURA</b> Molhar o painel e (deixar a água escorrer do topo da parede até a base até que pare de absorver)	✓ Passar 3 a 4 vezes a mangueira por toda a superfície no sentido horizontal;
<b>10</b>	Cobrir e envelopar a lona plástica com fitas colantes, evitando a evaporação acelerada da umidade do material	
<b>COMO DEVE ESTAR</b>		
<b>Chapas de compensado</b>	Deve, ser limpas e guardadas em superfície seca e plana	
<b>Parafusos e peças da forma</b>	Devem ser retirados, limpos e armazenados em local protegido de umidade	
<b>Acabamento da parede</b>	É desejável que a superfície da parede pronta não deve estar com furos, arrancamentos, escamações, fissuras e embarrigamentos.	
<b>Cura</b>	As paredes prontas devem ser umedecidas com mangueira, no mínimo 1h após a desforma e permanecerem cobertas durante o tempo mínimo de 7 dias	

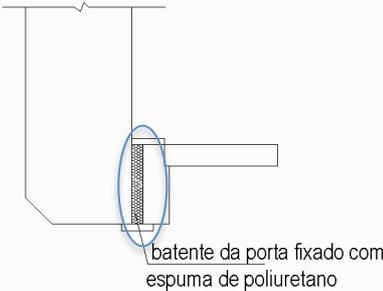
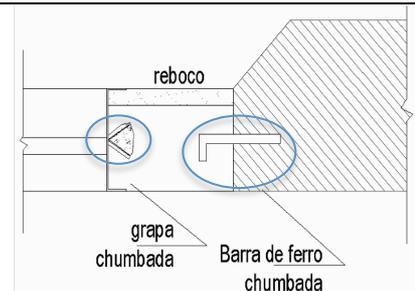
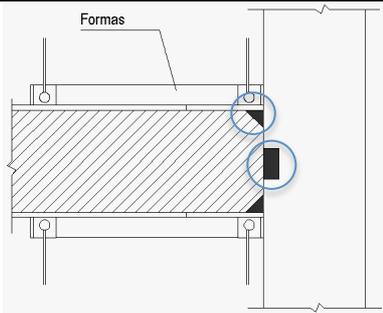
Quadro 7: Passo-a-passo das atividades de instalação da interface taipa-cobertura

<b>Materiais</b>	<b>Ferramentas</b>	<b>Equipamentos:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Berços de madeira 6x12</li> <li>✓ Pregos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Arco de serra</li> <li>✓ Martelo</li> <li>✓ Desempenadeira de madeira</li> <li>✓ Rodo de madeira 20cm</li> <li>✓ Colher de pedreiro</li> <li>✓ Nivel</li> <li>✓ Linha de pedreiro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Furadeira</li> </ul>
<b>DOSAGEM SOLO-CIMENTO PLÁSTICO</b>		
<b>ETAPA</b>	<b>ATIVIDADE</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
1	Compactar a última camada de solo-cimento (1:12) há 20 cm do cume da forma, para posterior aplicação do solo-cimento plástico. Nas paredes inclinadas (empenas)	
2	Escarificar com um rastelo e limpar as sobras	
3	Inserir uma faixa de seixos rolados, contornando toda a borda da forma	✓ Acabamento para a junta
4	Esticar a linha de náilon ou pintar por dentro da fôrma, a inclinação das empenas	
5	Despejar a camada de 20cm da mistura do solo-cimento plástico, espalhando com a colher de pedreiro e fazendo o requadro com a desempenadeira.	✓ Verificar a dosagem do solo-cimento plástico
6	Desformar após 1 h	✓ Verificar o tempo de cura do SCP
7	Iniciar a cura úmida tão logo a superfície permita (secagem ao tato). Molhar e cobrir com lona plástica por (7) dias	✓ Verificar os dias necessários para a cura do SCP
8	Furar o topo das paredes com uma furadeira, para inserir a resina epóxi e os parafusos de fixação dos berços de madeira (cobertura)	
<b>COMO DEVE ESTAR</b>		
<b>Topo da taipa</b>	O topo das paredes deve estar nivelado, limpo e curado para a fixação da cobertura e não deve apresentar nenhuma deformação, rebarbas, furos e descolamentos.	
<b>Berços de madeira</b>	Os berços de madeira deverão estar conectados entre si, formando uma cinta de amarração sobre o cume das paredes, conforme o projeto. A fixação deverá ser feita sempre nos cantos e no meio da cinta.	

## 4.2 Interfaces da taipa com outros subsistemas

As paredes do protótipo são compostas por paredes intercaladas de taipa e alvenaria de tijolos. As janelas foram instaladas nas paredes de alvenaria. Detalhes das atividades de execução das interfaces das paredes de taipa com taipa (encontro em “T”, parede de taipa com alvenaria e taipa com esquadrias (portas), são apresentadas na planilha do Quadro 8. Assim como detalhes das atividades de execução da interface parede de taipa com a cobertura constam no Quadro 7.

Quadro 8: Passo-a-passo da execução das interfaces da taipa com esquadria (porta) e alvenaria e da amarração em “T”

Materiais:		Ferramentas:	Equipamentos:
✓ Barra de aço	✓ Tijolos	✓ Arco de serra	✓ Furadeira
✓ Resina epóxi	✓ Argamassa de assentamento (1:3)	✓ Martelo	
✓ Batentes de madeira para portas	✓ Caibros cortados diagonalmente (bagues para moldagem dos chanfros)		
✓ Guarnições de madeira			
✓ Esquadrias metálicas			
ETAPA	ATIVIDADE	OBSERVAÇÕES	
TAIPA-ESQUADRIAS (PORTAS)			
1	Requadrar o vão da esquadria deixando uma folga de 1cm para possibilitar a colocação da espuma de poliuretano expansiva;		
2	Aprumar e nivelar os batentes das portas e janelas e colocar as cunhas de madeira para travamento e posterior fixação;		
3	Fixar os batentes com espuma de poliuretano expansiva, que poderá ser aplicada em faixas de 30cm, em 3 pontos em cada lado do batente com o aplicador. Não alisar a espuma. Deixar secar por uma hora, depois cortar com um canivete as sobras.		
4	Fixar as guarnições		
TAIPA -ALVENARIA			
5	Chumbar a alvenaria na parede de taipa, a cada 5 fiadas de tijolos, cuidando para que a barra de aço fique embutida na argamassa de assentamento (furar a taipa com furadeira, inserir a resina epóxi e o chumbador).		
6	Fixar as esquadrias metálicas das janelas na parede de alvenaria, chumbando as grapas na argamassa de assentamento .		
TAIPA E TAIPA			
7	Embutir um caibro dentro da fôrma para moldar um rebaixo na parede que será executada primeiramente, para encaixe do próximo painel. Na junta entre os painéis de taipa (encontro em T), embutir os baguetes de madeira (peça triangular de madeira) - 1/2 caibro.		
COMO DEVE ESTAR			
<b>Estabilidade</b>	As esquadrias devem estar bem fixadas		
<b>Acabamento</b>	Não deve haver vãos entre as esquadrias e as paredes. Nas juntas de dilatação vedar com a mistura de solo-cimento plástica		

### 4.3 Questões estudadas

Com base em dados levantados na construção do protótipo habitacional de taipa, define-se as seguintes pontos a serem avaliados:

- Interfaces da taipa com outros subsistemas;
- Defeitos ocorridos nas paredes;
- Desempenho dos equipamentos utilizados;
- Desempenho físico-mecânico das paredes;
- Produtividade;
- Gargalos, lacunas e perspectivas relacionadas a cadeia produtiva, ao ciclo de vida e processo construtivo;
- Relação existente entre todos os pontos analisados.

### 4.4 Avaliação das interfaces do sistema construtivo<sup>28</sup>

A avaliação das soluções de interfaces e variáveis que interferiram nos requisitos de desempenho adotados são apresentadas com base em revisão de literatura (CBIC, 2013), o projeto dos detalhes e as expectativas, o *as built* e as modificações sugeridas.

Para a avaliação das soluções de projeto e detalhes construtivos das interfaces das paredes de taipa com outros subsistemas, materiais e componentes, utilizou-se como base os requisitos de desempenho relacionados às exigências de habitabilidade apresentadas na NBR 15575 (ABNT, 2013) e ISO 6241 (1984) também analisadas em CBIC (2013), e que permitem a avaliação por verificação in loco, visando à futura contribuição para a elaboração de métodos expeditos para avaliação de edificações de terra. Por essa razão, não foram avaliadas as exigências que necessitem de ensaios em laboratório ou equipamentos mais sofisticados.

Os critérios adotados nesta pesquisa são: **estanqueidade**: as interfaces não devem permitir umidade ascendente do solo, percolação de umidade das paredes de fachada, janelas e cobertura e entre ambientes internos da edificação; **salubridade** (saúde, higiene e qualidade do ar): as interfaces não devem apresentar frestas ou reentrâncias que facilitem a infestação de insetos, aves e roedores ou proliferação de micro-organismos, bactérias e passagem de gases tóxicos e poeira; **conforto tátil**: os detalhamentos construtivos e as paredes de taipa não

---

<sup>28</sup> Esse conteúdo é parte integrante do trabalho intitulado “ANÁLISE DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA INTERFACES DE PAREDES DE TAIPA”, apresentado no XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, em Maceió-AL, 2014.

devem prejudicar as atividades rotineiras (caminhar, apoiar, limpar, brincar, posicionar móveis) e nem sofrerem degradações pelas condições de uso; **conforto visual:** as características superficiais (cor, textura e acabamento) das paredes de taipa devem ser mantidas; **exequibilidade:** o detalhamento deve buscar a máxima facilidade de execução, interferindo o mínimo possível na produtividade e considerar a melhor relação custo-benefício.

Para cada detalhe avaliado, foram considerados: proposta (decisões para os detalhamentos construtivos); expectativas (resultados esperados em relação aos critérios de desempenho definidos acima); *as built* (descrição do que foi construído, razões para modificação, interferências na taipa, desempenho); retroalimentação (modificações sugeridas pós-execução, com base em revisão bibliográfica e nas avaliações intermediárias durante a obra).

Limitações do método: mesmo com a definição de critérios de avaliação, a análise tem um grau de subjetividade pela falta de critérios de avaliação e normas desenvolvidos especificamente para o caso das edificações de terra e também por não ter sido definido um critério de ponderação entre as questões analisadas. O trabalho foi limitado à medição, pois a avaliação do grau de relevância para o desempenho das paredes depende de estudos complementares. Da mesma forma, a comparação com dados de outros autores também fica limitada à abordagem quantitativa, pela diferença de produção e de condições de exposição. Os dados obtidos em protótipo, tratam portanto de uma primeira aproximação do assunto, havendo a necessidade futura de agregar mais objetividade à análise.

As interfaces analisadas foram: taipa-fundação (Quadro 9); taipa-taipa (Quadro 10 e Quadro 11); taipa-esquadrias (Quadro 11) taipa-alvenaria de tijolos maciços (Quadro 13); taipa-cobertura (Quadro 14); taipa-revestimentos (Quadro 14), taipa-instalações elétricas (Quadro 16).

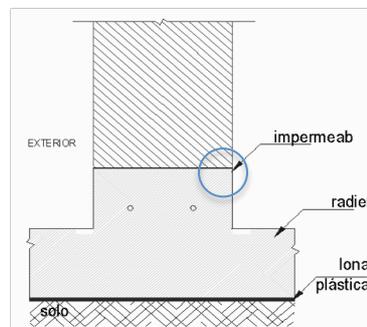
**Proposta:** fundação radier com base de concreto (baldrame)

**Expectativa:** que a base de concreto, impermeabilizada, cumprisse a função de rodapé. Para isso, o piso, a base e a forma da taipa deviam estar perfeitamente alinhados, apurados e nivelados, nas dimensões indicadas em projeto e sem irregularidades na superfície, de modo que a forma encostassem perfeitamente na base.

**As built:** a falta de alinhamento da base, deformações da estrutura da forma, irregularidades no nivelamento do piso dificultaram o contato da forma com a base, gerando vãos, que foram preenchidos com papel. Na desforma, falhas de compactação foram observadas nesse local (reentrâncias e desagregações). Além disso, a base ficou um pouco mais estreita do que a largura da forma e isto gerou uma diferença de alinhamento entre eles.

**Modificação:** com a obra em andamento optou-se por acoplar uma peça de aço em "T" entre a taipa e a base de concreto, a fim de vedarem-se os vãos, que foi revestida depois com um rodapé de argamassa

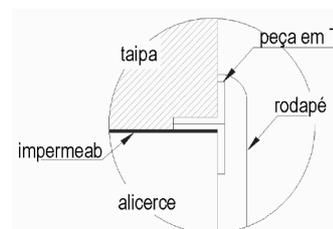
**Avaliação:** a peça metálica em T, de baixo custo e facilmente encontrada no mercado criou uma proteção para a borda externa da parede de taipa, suprimindo a necessidade de um rodapé. Entretanto por não ter sido inserida em todas as paredes (apenas nas paredes 4,5,6). optou-se por revestir por um rodapé de argamassa uniformizando o acabamento ao redor de toda a edificação.



Proposta inicial (corte)



Interface base-parede



Remediação (corte)



Aparência final da parede externa

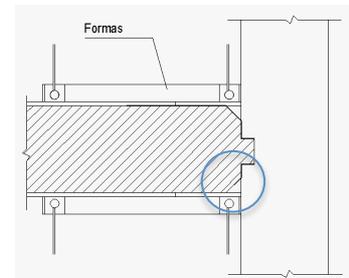
**Proposta:** criar junta de encaixe macho-fêmea na intersecção entre paredes

**Expectativa:** que a parede estivesse no prumo e a articulação não apresentasse defeitos. Houve discussão sobre a possibilidade de se fazer um acabamento chanfrado no encontro entre paredes.

**As built:** a falta de prumo dificultou o encontro da forma com a face da parede. Além disso, foi necessário a improvisação com chapas menores de compensado para o fechamento da forma nos cantos. Antes da compactação inseriu-se dentro da forma, uma peça de madeira a fim de moldar o rebaixo para a articulação das paredes. Esse ponto demandou compactação manual.

**Avaliação:** a junta demandou improvisações na forma, que mal apoiada, resultou em compactação insuficiente e reentrância com abertura maior que 3mm. Esse ponto pode tornar-se vulnerável com a ação dos agentes climáticos. A intersecção em T apresentou dificuldade executiva porque a forma não é adequada para essa esse tipo de solução.

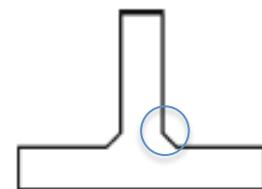
**Modificações sugeridas:** reforma das formas, inserindo-se uma peça exclusiva para estas intersecções



Proposta inicial (planta)



Aparência da interface em T



(a)

Fonte: Minke, 2006

#### Quadro 11 – Taipa-taipa em “L”

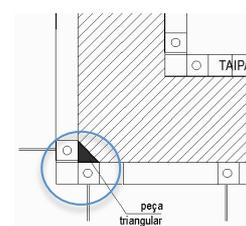
**Proposta:** solucionar as quinas de 90°, adotando-se cantos chanfrados à 45°

**Expectativa:** evitar a degradação por impacto de ações externas.

**Avaliação:**, a inserção do baguete de madeira (peça triangular) vedou a forma nos cantos onde normalmente há vazamento da mistura na compactação e proporcionou o moldagem do detalhe em chanfro. Houve melhorias no acabamento das quinas (menos irregularidades de compactação) e facilidade executiva.



Aparência do canto chanfrado



#### Quadro 12 – Taipa-esquadrias (portas)

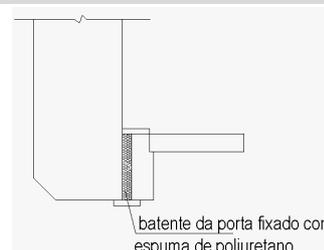
**Proposta:** assentar o batente das portas com espuma de poliuretano

**Expectativas:** que na colocação dos batentes a espuma regularizasse a falta de prumo dos vãos, evitando patologias.

**As built:** as parede 4 de taipa foi desbastada com serra mármore para recuperar o prumo na instalação da porta, o que ocasionou fissuras e deformações. Os batentes foram parafusados na parede.

**Avaliação:** não apresentou problemas de estanqueidade por serem zonas protegidas de chuva (partes cobertas), nem salubridade e desconforto tátil. No entanto, o desbaste das paredes com serra circular foi de difícil execução, além de ter gerado os problemas citados.

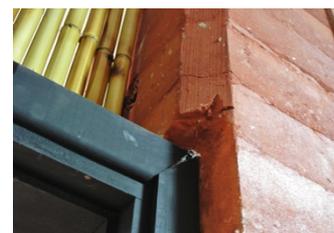
**Modificações sugeridas:** executar o vão com largura um pouco maior e deixar chapuzes embutidos nas paredes para fixação dos batentes



Proposta inicial



Parede pós-desbaste



Parede pós-desbaste

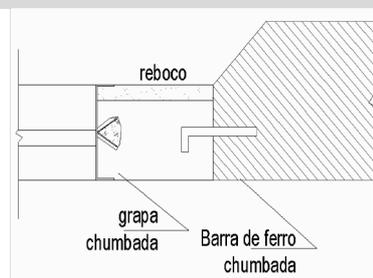
**Proposta:** executar paredes de alvenaria, nos vãos destinados à instalação das janelas (entre paredes de taipa)

**Expectativa:** evitar o uso de vergas e o aparecimento de fissuras ou trincas abaixo da esquadria.

**As built:** as faces das paredes de taipa estavam fora do prumo e áreas desagregadas que foram preenchidas com argamassa. O detalhe evidenciou a diferença de largura entre a base de concreto e a parede de tijolo, mais estreita.

**Avaliação:** a interface apresentou fissuras de dilatação entre os materiais. A quina chanfrada propiciou maior proteção a impactos pelas condições de uso do ambiente. O conforto visual foi prejudicado devido ao conjunto de pequenas falhas (falta de enquadramento, linearidade, fissuras de dilatação e manchas de argamassa). A amarração entre paredes foi executada conforme orientações do projeto e não houve dificuldade executiva.

**Modificação:** com a obra em andamento optou-se por pintar as manchas do excedente de argamassa com uma tinta de terra e cortar a sobra da base de concreto.



Proposta inicial



Aparência pós-corte da base



Aparência pré-pintura



Aparência pós-pintura

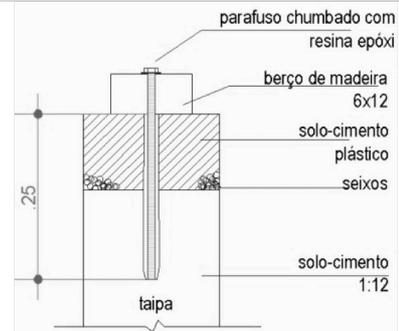
**Proposta:** moldar solo-cimento plástico no topo das paredes planas e inclinadas e chumbar as vigas de madeira na cinta

**Expectativa:** que a camada de solo-cimento plástico melhorasse o acabamento dos topos da taipa.

**As built:** as paredes foram executadas com altura maior do que o projetado e cortadas com serra mármore e talhadeira. Não houve a aplicação do solo-cimento plástico. As vigas frechais foram chumbadas nos terço médio dos topos da taipa com barra roscada (com pontas afiadas) e resina epóxi.

**Avaliação:** em todas as paredes, o volume compactado excedente foi maior do que o necessário, resultando em dificuldade de corte. O acabamento dos topos apresentou defeitos (partes desagregadas, desniveladas, mal compactadas e algumas fissuras entre camadas). A interface entre a madeira e taipa não apresentou bom resultado, devido à irregularidade da taipa, resultando em frestas para a entrada de insetos e poeira. A superfície áspera do topo também interfere nas condições de limpeza e manutenção da edificação.

**Modificação sugerida:** moldar uma camada de argamassa de 5cm dentro da forma (taipal), para proteger, nivelar e dar acabamento aos topos.



Corte do topo



Acabamento da superfície



Camada de argamassa

**Proposta:** proteger a superfície da taipa da umidade com o uso de hidrofugante. Nas paredes internas, revestir as paredes com maiores índices de patologias

**Expectativa:** que o uso da lixadeira suprisse a correção da maior parte de imperfeições da superfície (manchas, marcas de forma, protuberâncias).

**As built:** a aplicação do consolidante (silicone) nas paredes de taipa foi feita com um rolo e a tinta de terra na cor natural foi aplicada com esponja nas interfaces que necessitavam de correções. Na cozinha foi aplicada uma pintura à base de massa PVA diluída na cor branca.

**Avaliação:** as microfibras de polipropileno, adicionadas à mistura de solo-cimento apresentaram resistência no lixamento. O consolidante deu acabamento às paredes e fixou melhor as partículas, o que deverá contribuir para evitar o surgimento de novas patologias por esfarelamento ou abrasão. As tintas de terra, com aglomerante à base de PVA corrigiram as imperfeições estéticas e camuflaram as marcas de respingos e manchas de argamassa, porém destoaram da cor e textura originais da taipa. A aplicação da massa PVA na parede da cozinha corrigiu as fissuras da parede 6.



Sem consolidante



Com consolidante e tinta



Com massa PVA e pintura de pátina

**Proposta:** executar as instalações elétricas aparentes e a hidráulica embutida em paredes de alvenaria

**Expectativa:** não fazer cortes nas paredes para o embutimento, nem inserir dentro da forma durante a moldagem das paredes, para não sofrerem danos pela força de compactação.



Instalações aparentes

**As built:** conforme projeto.

**Avaliação:** os eletrodutos aparentes, dependendo da posição na parede, podem interferir nas condições de uso dos ambientes. Quanto à exequibilidade foi uma solução econômica, de fácil execução e não provocou problemas na taipa.

---

#### 4.5 Defeitos ocorridos nas parede

Todas as paredes, apresentaram vestígios de falhas de execução e no controle dos procedimentos. Alguns defeitos surgiram na desforma e outras, após o término da execução das paredes.

Dentre os defeitos detectados e identificados nas paredes do protótipo encontram-se cinco tipos, tendo sido medidos apenas três, conforme apresenta o item 4.5.2:

- Marcas superficiais
- Eflorescência
- Fissuras e trincas (medido)
- Arrancamentos (medido)
- Desagregação entre duas camadas (medido).

O método desenvolvido e adotado para a medição das fissuras e trincas, arrancamentos e desagregação entre duas camadas é apresentado no item 4.5.3.

#### 4.5.1 Marcas superficiais

As marcas identificadas segundo as suas possíveis causas, são apresentadas abaixo.

- **Das deformações e desnivelamento:**

No término da obra, marcas superficiais foram detectadas nas paredes. É o caso da P6, que teve um trecho afetado pelo rompimento de uma das chapas de compensado na compactação e o outro recortado, por um erro de leitura do projeto na execução de taipa abaixo da janela, onde deveria ter sido deixado um vão para alvenaria (Figura 40). Outras marcas (linhas tênues e desnivelamento) na superfície da parede são decorrentes das juntas entre os moldes de compensado da forma, que não estavam devidamente alinhados entre si.



Figura 40: Marcas de cortes e defeitos de nivelamento da superfície da parede.

A heterogeneidade da mistura, provocada pela presença de grumos, mesmo após a compactação deixou vazios e esferas dentro das paredes (Figura 41). O fenômeno pode ter sido causado pela maneira como a água foi inserida no misturador (com um regador), pelo tempo de rotação do equipamento que excedeu 60 segundos recomendados ou pela incorporação da microfibras. Sabe-se da possibilidade de pulverização da água com mangueira e bico aspersor e vazão controlada (litros/min), que permitem a dispersão de uma névoa fina, mas não foram testadas. A microfibras, incorporada na mistura, no estado seco, também não foi homogeneizada completamente, permanecendo aglomerações (tufos) visíveis na parede pronta. A mistura da P6, foi a única que não apresentou heterogeneidade por esferas (grumos) ou aglomerados de microfibras. Este fato se deve ao uso do triturador.



Figura 41: Heterogeneidade na superfície da parede.

- **Das manchas de Eflorescências:**

As paredes que ficaram expostas à ação de chuva intensa por dias seguidos, tiveram a sua superfície manchada por eflorescências esbranquiçadas, possivelmente oriundas do carbonato de cálcio, dado que a mistura utilizada no protótipo contém cimento. As paredes que apresentaram manchas foram P1, P2, P3, P6.



Figura 42: Manchas de eflorescências nas paredes de taipa.

#### 4.5.2 Defeitos medidos:

Um método expedito, simples, aplicável em campo e de fácil aplicação foi desenvolvido para a medição de fissuras e trincas, dos arranchamentos e da desagregação que se manifestou entre duas camadas.

Foi elaborado para fácil apropriação, de modo que pode ser aplicado em outros estudos, contribuindo para a formação de um banco de informações. Futuramente, tal banco pode ser utilizado para verificar a tolerância aos defeitos, assunto que tem poucas referências disponíveis.

### 4.5.3 Métodos de medição <sup>29</sup>

O mapeamento dos defeitos foi feito com suporte em revisão de literatura, paralelamente ao desenvolvimento de procedimento de medição.

O método baseou-se referências em NEVES (1993), complementado com dados de Bui et al (2009). A comparação dos dados obtidos com os de tais autores foi limitada aos dados quantitativos, pois a avaliação de significância depende de ensaios de resistência no protótipo e a consideração das diferenças de processo produtivo e clima.

Para auxiliar na medição dos defeitos adotou-se o software gráfico (AutoCad), fitas crepes colantes, um fissurômetro, fita métrica e um cordão. Levou-se em consideração os quadrantes deixados pelas chapas de compensado da forma (1,10m x 0,55m) para o mapeamento das patologias em cada parede. Um esquema foi desenhado contendo a localização destas falhas em relação aos quadrantes.

O software adotado para a medição de área dos arrancamentos e extensão de fissuras e trincas foi o AutoCad 2014, no seguinte procedimento:

- Comando *insert/attach* para inserir a figura;
- Comando *align* para alinhar a barra branca de 1m (ver Figura 43 e 40), com uma reta de 1m, desenhada no arquivo de desenho para ajustar a escala da imagem;
- Comando *polyline* para desenhar em cima da imagem;
- Comando *area* para verificar o perímetro ou área do desenho.

Os defeitos medidos foram:

- **Fissuras e trincas:**

---

<sup>29</sup> Esse conteúdo é parte integrante do trabalho intitulado: “Procedimentos expeditos para medição in loco de patologias de paredes de taipa”, apresentado na I conferência Latino-americana e Europeia sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, em Guimarães, Portugal, de 21 a 23 de Julho de 2015

Ocorreram na metade inferior das paredes (P1, P4 e P6), tendo como possibilidades de causa: deformação da fundação (radier), retração do material (pela extensão da parede), movimentação das formas ou impacto da construção de outras paredes.

As aberturas das fissuras/trincas foram medidas com um fissurômetro, ponto a ponto, no sentido do comprimento (média de 15cm entre eles). A extensão foi conferida em desenho feito no Autocad sobre a imagem fotográfica, sendo posteriormente confirmadas, *in loco*, com um cordão. O dados da medição e mapeamento dos defeitos são apresentados na Tabela 2.

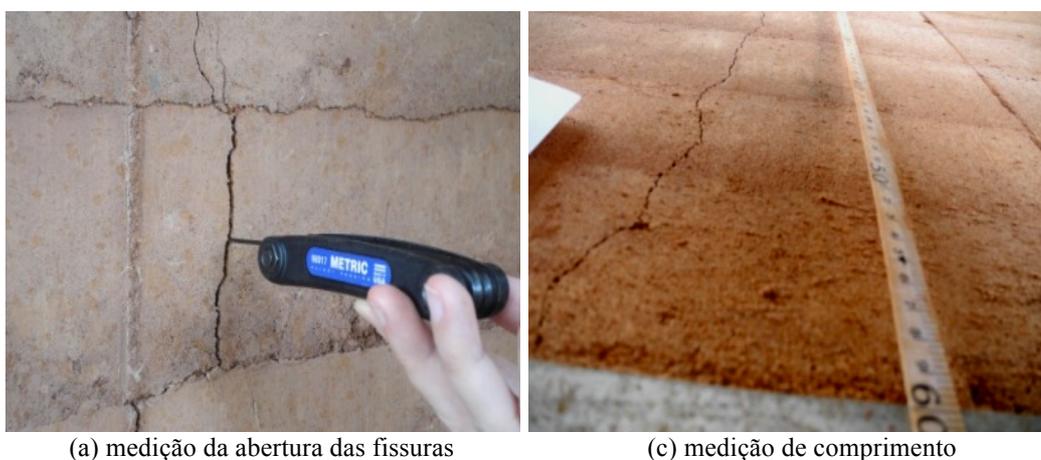
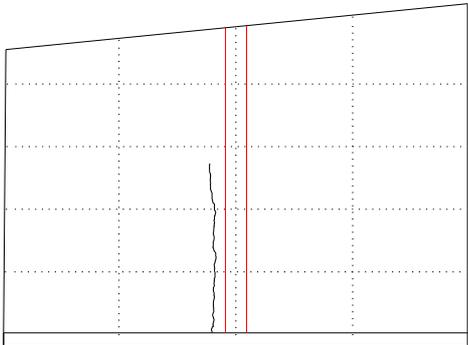


Figura 43: Etapas da medição das fissuras e trincas.

Tabela 2: Dados das medições e mapeamento de fissuras e trincas.

<b>Parede 1</b>		reta 4,37m
Estabilização	solo-cimento 1:10, sem fibras	
Fissura	atravessa a parede	
Comprimento	1,65m 1,62m em linha reta	
Abertura (mm)	mín: 0,5 máx: 0,9 média: 0,66 n: 10	
% em relação a altura da parede no eixo da fissura	55,3% (de 2,93m)	



Posição na parede

Fissuras menores do que 0,1mm não foram medidas; n=número de pontos aferidos; linhas vermelhas: projeção da parede interna de alvenaria, perpendicular à parede de taipa; linhas pontilhadas: projeção das chapas de compensado.



A maior fissura (55,3% da altura da parede) ocorreu na parede 1, sem microfibras, que também é a única parede que tem 4 módulos contíguos (4,37m de comprimento). Apesar de corresponder a mais da metade da altura da parede, tem abertura menor do que 1mm. O surgimento da fissura é anterior à execução da parede perpendicular, de alvenaria. Já as fissuras com maior abertura (atingiram 2mm) ocorreram na parede P6, onde também foi registrado um rompimento de um dos moldes da forma durante a compactação do 2º lance da forma (de baixo para cima), no trecho entre as duas fissuras. A direção e o tamanho das aberturas variam, sendo que os trechos mais abertos estão localizados nas regiões centrais de cada fissura.

#### ▪ **Arrancamentos**

Os arrancamentos medidos totalizaram  $0,7\text{m}^2$  em  $175\text{m}^2$  de superfície de parede (0,4%) e todas estão localizadas na metade superior das paredes. O tempo entre compactação e retirada das formas pode ter interferido nessa ocorrência, assim como a deformação das formas ou ainda a falta de uniformidade na compactação, cabendo então análises subsequentes sobre cada hipótese.

A área foi medida em desenho feito no AutoCad (Figura 45) sobre a imagem fotográfica do defeito, sendo os dados e mapeamento dos defeitos apresentados na

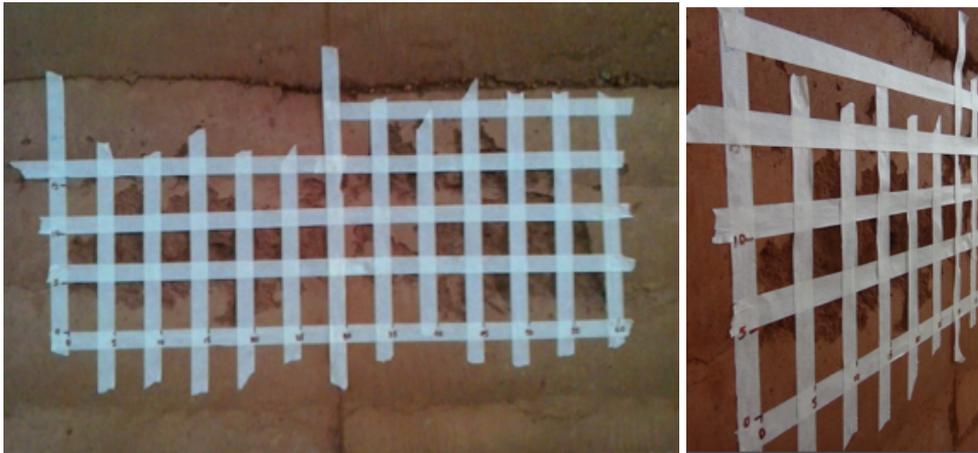
A medição da profundidade, uma malha 5 x 5 cm de fita crepe foi colada sobre as áreas defeituosas e, com uma vareta e régua, mediu-se a profundidade nas intersecções.



(a) perímetro desenhados em cad, sobre imagem, sendo destacado o arrancamento A.



(b) montagem das malhas de fita crepe sobre arrancamentos



(c , d) malha do arrancamento A (5cm x 5cm)

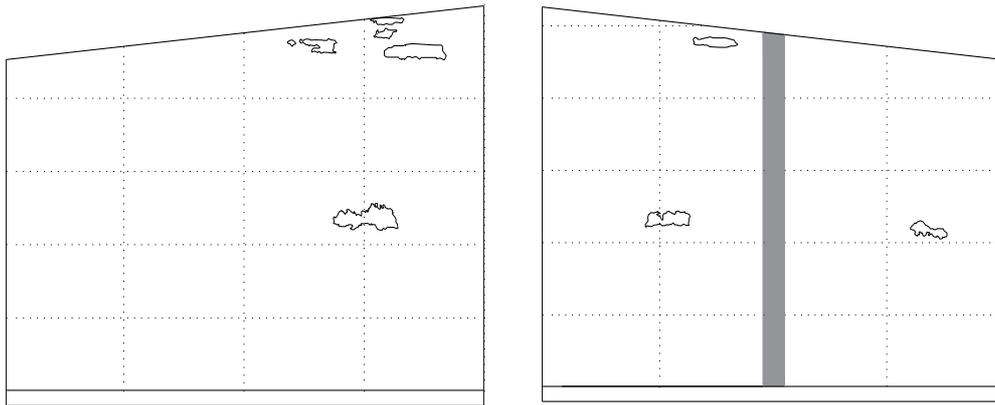
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.
5	0	5	4	3	3	0	0	1	3	4	7	4	0
10	0	4	3	5	4	3	0	0	3	3	3	3	0
15	0	0	0	0	0	0	3	12	4	5	5	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0

(e) tabela com anotação dos pontos medidos em cada intersecção (profundidade em mm)

Figura 44: Método de medição do arrancamento A, da parede 1.

Tabela 5: Dados das medições e mapeamento dos arrancamentos da parede 1 (interna e externa)

<b>Parede 1</b>	reta 4,37m, área 12,85m <sup>2</sup> estabilização: 1:10, sem fibras	
	externa: 0,29m <sup>2</sup>	interna: 0,11m <sup>2</sup>
Profundidade média	3,94mm n: 90	3,44mm n:58
% em relação a área	2,2%	0,9%
% em relação à profundidade	2,0%	1,7%

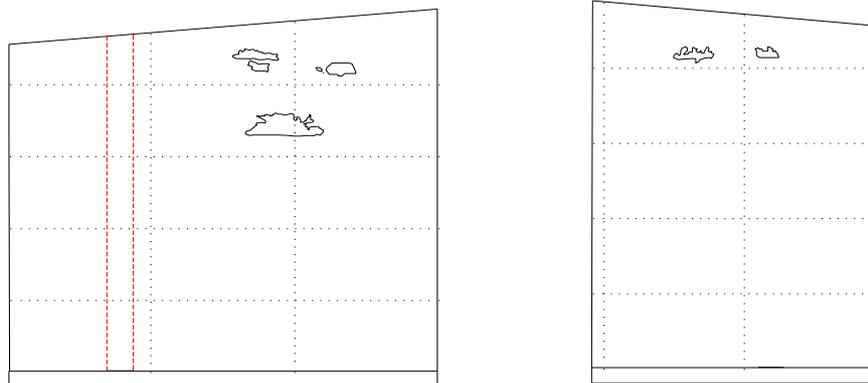


Posição na parede face externa (esquerda) e face interna (direita)

n=número de pontos aferidos. Linhas pontilhadas: projeção das chapas de compensado. Preenchimento cinza: parede perpendicular de alvenaria.

Tabela 6: Dados das medições e mapeamento dos arrancamentos da parede 4 (interna e externa)

<b>Parede 4</b>	reta 3,32m, área 9,97m <sup>2</sup> estabilização: 1:12, com fibras externa:0,12m <sup>2</sup>	interna: 0,10m <sup>2</sup>
Profundidade média	3,22mm n:49	3,42mm n: 14
% em relação a área	1,2%	1,1%
% em relação à profundidade	1,6%	1,7%

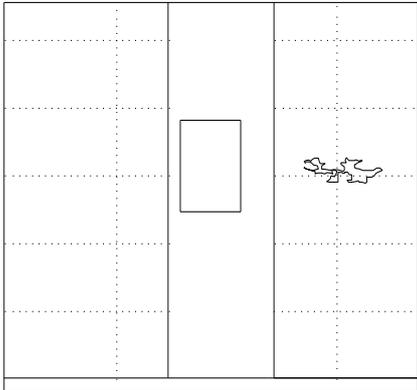


Posição na parede face externa (esquerda)

face interna (direita)

n=número de pontos aferidos. Linhas pontilhadas: projeção das chapas de compensado. Em vermelho: projeção da parede perpendicular de taipa (encontro e "T")

Tabela 7: Dados das medições e mapeamento dos arrancamentos da parede 5

<b>Parede 5</b>	reta 3,27m, área 9,40m <sup>2</sup> 1:12, com fibras	
	externa: 0,08m <sup>2</sup>	
Profundidade média	3,18mm n: 43	
% em relação a área	0,8%	
% em relação à profundidade	1,6%	

Posição na parede (ace externa)

n=número de pontos aferidos. Linhas pontilhadas: projeção das chapas de compensado.

A parede 01 foi a que apresentou maior área de arrancamentos (3,11% da área interna e externa), em relação às demais, apesar das diferenças não serem significativas. Essa parede é a que não recebeu adição de microfibras e foi a primeira a ser executada, estando os operadores ainda em treinamento. Quanto à profundidade, os arrancamentos em geral, não excederam 4mm (2% da espessura da parede).

#### ▪ Desagregação entre duas camadas

Logo após a desforma, foi observada a ocorrência de desagregação (material solto e de fácil remoção) na parede 2, ao longo de toda a sua extensão, na junção entre duas camadas, sendo a inferior compactada em um dia e a seguinte compactada após um intervalo de 12 a 15 horas.

O procedimento para medição da profundidade da desagregação registrada na P2, foi similar ao das fissuras/trincas. A profundidade foi aferida ponto a ponto, a cada 10cm, com o auxílio de régua e vareta (Figura 45). Três pontos extras foram medidos na extremidade na testeira da parede 2 (espessura da parede), por apresentarem profundidade visualmente significativa e são apresentados na Tabela 8.



(a) representação da malha desenhada no autocad



(b) desagregação entre camadas



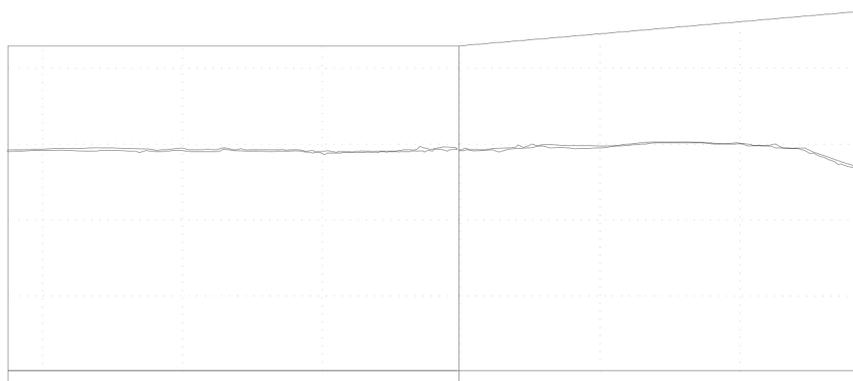
(c) método de medição da profundidade

Figura 45: Medição da desagregação

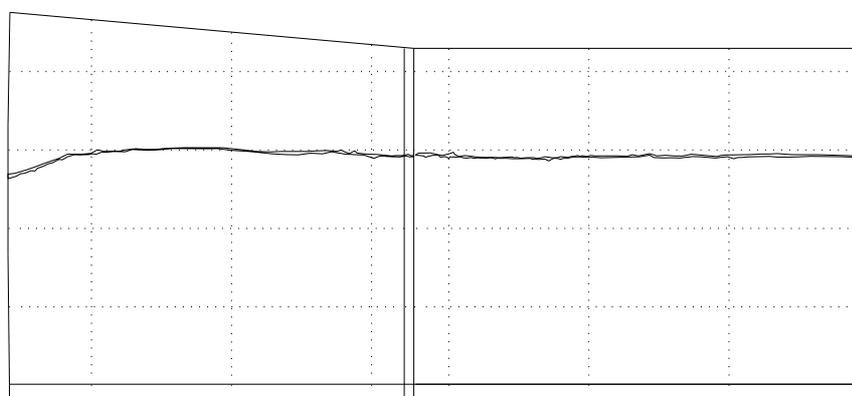
A profundidade média na face externa da parede é de 7,8mm e na face interna é de 6,7mm. Considerando a somatória da média das duas faces encontra-se o valor de 14,5mm, que representa 7,25% da espessura da parede.

Tabela 8: Dados das medições e mapeamento da desagregação

<b>Parede 2</b>	Em (L): 6,49m, traço 1:12 com fibra. Largura 20cm		
	P2 externa	P2 (extremidade)	P2 interna
Profundidade	Mín: 1 mm	Mín: 11 mm	Mín: 2 mm
	Máx:20mm	Máx:45mm	Máx:14mm
	Media: 7,77mm	Media:24,66mm	Media: 6,73mm
	n: 35	n: 3	n: 46
% em relação a altura	3,9%	12,3%	3,4%



Posição na parede interna



Posição na parede externa

n=número de pontos aferidos. Linhas pontilhadas: projeção das chapas de compensado

Para a desagregação, dado que ocorre nos dois lados da parede e em toda a extensão, cabem análises complementares sobre a segurança estrutural, em relação aos esforços excêntricos. Os dados obtidos, sistematizados, conferem informações objetivas (medidas) para avaliações futuras de desempenho. Vale a pena ressaltar que este defeito só ocorreu na parede 2.

## 4.6 Avaliação dos equipamentos

Foram avaliados os seguintes equipamentos na produção das paredes:

- a) Formas:
  - De aço<sup>30</sup> (detalhe Figura 36);
  - De alumínio<sup>31</sup>: adaptação de formas para concreto moldado in loco. Tem parafusos transpassantes. Estas formas foram testadas durante o curso de capacitação (Figura 46).
  - Compactador pneumático<sup>32</sup> (golpes por min: 780 bpm, peso: 13 Kg) + compressor (Figura 49).
- b) Misturadores (Figura 47):
  - Betoneira estacionária convencional de 400 litros para a mistura;
  - Misturador homogeneizador (sextavado)<sup>33</sup>;
  - Misturador planetário para mistura seca de concreto (Figura 48).
- c) Esteiras<sup>34</sup> (Figura 50):
  - Esteira transportadora de solo armazenamento até a peneira (3m);
  - Esteira transportadora de mistura solo-cimento-fibras, do misturador para o triturador (3m) - tratorada;
  - Esteira transportadora de mistura do triturador para a forma (6m) - tratorada.
- d) Complementares):
  - Peneira vibratória (Figura 50);
  - Triturador<sup>35</sup> (Figura 50);
  - Equipamento para o controle de umidade – Speedy (Figura 51).

---

<sup>30</sup> Forma projetada pela Taipal Construções em Terra, Piracicaba-SP (TAIPAL, 2015)

<sup>31</sup> Forma da empresa SF Formas, Campo Grande-MS (SFFORMAS, 2015)

<sup>32</sup> Modelo CP 0004 fabricado por Chicago Pneumatics (CHICAGOPNEUMATICS, 2015)

<sup>33</sup> ECO MIX 180 (ECOMÁQUINAS, 2015)

<sup>34</sup> Série ECO-TES-C (ECOMÁQUINAS, 2015)

<sup>35</sup> ECO TRS 70 (ECOMÁQUINAS, 2015)



Figura 46: Forma de alumínio em “L” cedida pela SF Formas



(a) Betoneira



(b) Misturador hexagonal (A) + Esteiras (B)

Figura 47: Misturadores avaliados



Figura 48: Misturador planetário



Figura 49: Compactador pneumático e compressor

Fonte: Chicagopneumatics (2015) e do autor.



Figura 50: compactador pneumático, esteira transportadora + triturador e peneira vibratória



Figura 51: Equipamento Speedy

Para a análise da adequação das máquinas e equipamentos utilizados, foram registradas as impressões dos pesquisadores, do empreiteiro da obra e da equipe de trabalho, tanto no processo de execução do protótipo, quanto no decorrer do curso de capacitação. A avaliação levou em consideração todas as variáveis do processo de produção.

Os resultados da avaliação dos equipamentos utilizados são apresentados abaixo:

#### **4.6.1 Forma de aço**

Apresentou a vantagem de dispensar andaimes e ser isenta de parafusos transpassantes, o que agilizou a compactação sem deixar orifícios na parede. Porém, são de difícil montagem devido quantidade de peças a serem travadas, niveladas e aprumadas. As treliças, a cada 1,10m, limitaram a compactação à pequenos trechos e deve haver uma revisão para os encontros entre paredes (em "T", em "L"). A deformação causada pelo empuxo da compactação ficou visível na parede pronta (ver .

#### **4.6.2 Forma de alumínio**

O seu uso original é adequado à execução de paredes de concreto moldadas in loco, portanto, além de não possuir dimensões adequadas ao trabalho, não são preparadas para suportar o empuxo da compactação (apesar de não terem apresentado deformação). Apesar de leves, as placas de alumínio estavam com a superfície rugosa, que facilitou a aderência do material e arrancamentos. A presença de barras de ancoragem no travamento das chapas também dificultou a compactação pneumática. Há a possibilidade de desenvolver um projeto específico mais adaptado à taipa mecanizada.

#### **4.6.3 Compactador pneumático e compressor**

Adequado ao uso, podendo futuramente, receber adaptações no socador, com outros formatos, para a compactação dos cantos.

#### **4.6.4 Misturador planetário**

O misturador planetário, apesar de ser indicado como o mais adequado para misturas de solo, apresentou defeito no início. O defeito foi constatado já no primeiro teste, à partir do vazamento de óleo pelo retentor e subsequente parada total da máquina. Além do vazamento de óleo, foi verificado que as peças que compõem as pás não tinham resistência suficiente para suportar a carga do solo, sendo visíveis o torcimento e deslocamento dos componentes (Figura 52). Vale a pena ressaltar, que dentre as fábricas consultadas, haviam somente equipamentos para mistura de blocos de concreto, que precisou ser adaptado (reforços nas pás).



Figura 52: Problemas do misturador planetário

#### 4.6.5 Betoneira:

O movimento rotativo provoca a formação de grumos (empelotamentos), agravado pela adição das fibras, que não geraram comprometimento estrutural, mas resultaram em uma aparência não homogênea da parede (ver Figura 41).

#### 4.6.6 Misturador sextavado

O misturador sextavado, comparado com a betoneira, apesar de proporcionar o tombamento da mistura ao invés do rolamento, apresentou um resultado similar no que se refere à homogeneidade da mistura e formação de grumos. Apesar de ter sido recomendado utilização de mangueira com aspersor para adição de água, foi utilizado regador, pelo necessário controle de volume. Além disso, durante a adição de água, a massa aderiu à superfície do misturador. A equipe de trabalho considerou que a alimentação com baldes também foi prejudicada pela “boca” de entrada deste equipamento ser mais estreita. Depois de compactado e aplicados os ensaios laboratoriais, ambos os tratamentos obtiveram características mecânicas semelhantes, ou seja, a variável estudada, método de preparação e homogeneização da mistura de solo-cimento-fibra-água não influenciou significativamente nas características físico-mecânicas do produto final (ver item 4.7).

#### 4.6.7 Esteiras

As esteiras tem o potencial de reduzir o desgaste da mão de obra, principalmente para a subida da mistura acima de 2m, entretanto foram inseridas no final do processo (P6), não obtendo boa aceitação dos trabalhadores. Na esteira entre misturador triturador, foi necessário desligar o equipamento com frequência para não travar o alimentador do triturador. Isso mobilizou três operadores (1 na mistura, 1 na esteira e 1 no triturador), o que antes era feito por apenas dois. Além disso, a mistura é depositada sempre no mesmo ponto. Melhorias para

o equipamento seria a execução de uma saída para a massa não utilizada (ficava retida no compartimento anterior à esteira deslizante) e maior flexibilidade de mobilização.

#### **4.6.8 Triturador**

O triturador foi necessário para fragmentar os grumos formados na rotação dos equipamentos betoneira e misturador hexagonal. Uma grande parte da mistura de solo-cimento-fibra-água aderiria na superfície interna do triturador, sendo necessário, para o maior aproveitamento da mistura, golpear o equipamento com martelo de borracha. Foi também preocupante por questões de segurança do trabalho, a necessidade de empurrar a mistura para dentro do alimentador, que constantemente obstruía.

#### **4.6.9 Peneira vibratória**

A peneira vibratória foi inviabilizada pela umidade excessiva do solo antes do preparo, que causava o entupimento da malha. Apesar do solo armazenado ter sido “envelopado” com lona, o procedimento não evitou a infiltração de umidade. Há opções de secagem com maçaricos, estufas ou por revolvimento do material em uma superfície plana (HEISE, 2004; NEVES; FARIA, 2011), mas não foram testados devido a limitação espacial do canteiro.

#### **4.6.10 Speedy**

O equipamento speedy se mostrou eficaz para a verificação da umidade do solo antes da homogeneização. No entanto, a avaliação da umidade de cada mistura não foi aprovada pelos operadores. Um dos motivos é que a introdução do cimento e das microfibras interferem na eficiência do equipamento e nos resultados. O outro é que o procedimento é demorado e não atende este tipo de solicitação.

### **4.7 Desempenho da produção**

Durante a execução das paredes, amostras da mistura foram retiradas para a moldagem de corpos-de-prova, com o intuito de se verificar as características físico-mecânicas do material ( Figura 53).

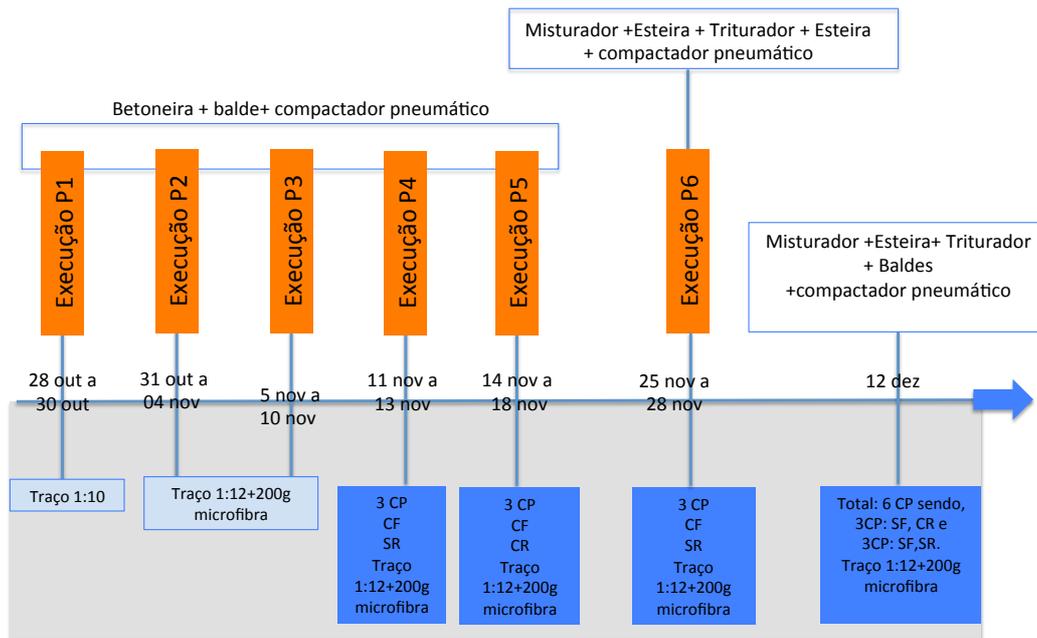


Figura 53: Linha do tempo referente a construção das paredes de taipa e moldagem dos mini-painéis

Foram moldados no total 18 unidades de mini-painéis, produzidos no canteiro em formas de compensado plastificado, travadas por peças de madeira, com dimensões internas aproximadas de 15 cm x 30 cm e altura de 29 cm e deixados em cura no próprio canteiro, nas mesmas condições das paredes, sendo após 3 meses armazenados em câmara úmida até o momento de serem submetidos aos ensaios laboratoriais.



Figura 54: Corpo de prova moldado paralelamente à execução das paredes.

Para a verificação do desempenho físico-mecânico das paredes de solo estabilizado foram analisadas as influências de três variáveis no comportamento do material, sendo elas o uso de ranhuras entre as camadas que compõem o corpo de prova, a adição da microfibras e o método de preparação e homogeneização da mistura de solo-cimento-fibra-água.

Os ensaios de compressão simples foram aplicados conforme disposições da NBR 8949 (ABNT, 1985) e o ensaio de absorção de água de acordo com a NBR 13555 (ABNT, 1996) aos 120 dias de idade, período em que grande parte das reações físico-químicas de estabilização do solo-cimento já ocorreram (MILANI; BERTOCINI; FREIRE, 2008).

Os resultados obtidos com a realização dos ensaios são apresentados a seguir.

O desempenho físico-mecânico do material solo-cimento-fibras foi analisado à partir dos resultados da Tabela 9, sendo ensaiados três corpos de prova para cada tratamento.

Tabela 9. Resultados de ensaios físico-mecânicos dos corpos de prova de solo-cimento-fibra.

	<b>SR/CF/ B</b>	<b>CR/CF/ B</b>	<b>SR/CF/ M</b>	<b>CR/CF/ M</b>	<b>SR/ SF/ M</b>	<b>CR/SF/ M</b>
<b>Tensão média (MPa)</b>	<b>1,60</b>	<b>3,65</b>	<b>4,31</b>	<b>3,34</b>	<b>2,77</b>	<b>2,54</b>
Desvio padrão	0,123	0,946	0,618	0,847	0,480	0,197
Coef. de variação	7,65%	22,80%	14,34%	25,34%	17,33%	7,76%
<b>Absorção água (%)</b>	<b>22,34</b>	<b>15,82</b>	<b>18,07</b>	<b>9,25</b>	<b>10,62</b>	<b>11,04</b>
Desvio padrão	2,65	2,61	0,26	-	0,92	1,22
Coef. de variação	11,86%	16,52%	1,42%	-	8,65%	11,04%

CR e SR - com ranhuras e sem ranhuras; CF e SF- com microfibras de polipropileno e sem microfibras de polipropileno; B - uso da betoneira para preparo da mistura; M – uso do misturador + triturador para preparo da mistura.

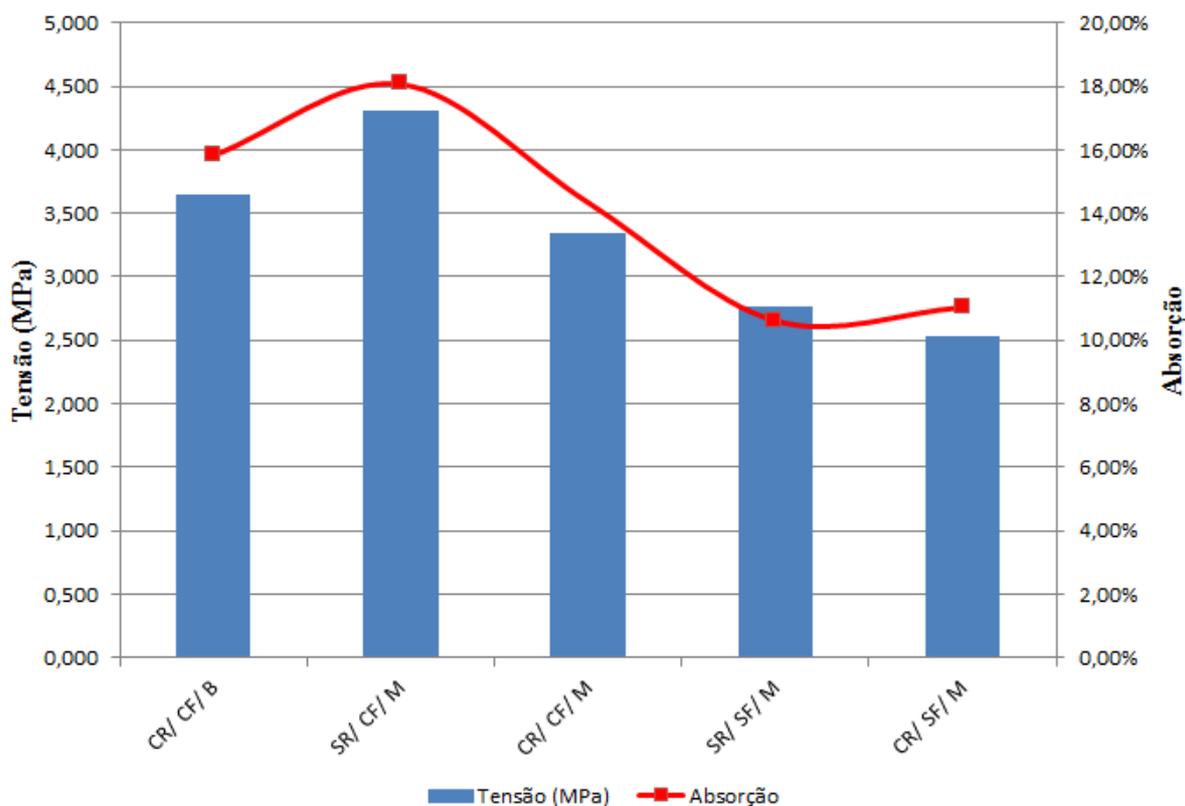


Figura 55: Valores de resistência à compressão simples dos corpos de prova e capacidade de absorção de água da mistura de solo-cimento e solo-cimento-fibras

Mesmo procurando garantir a fidelidade dos corpos de prova com as paredes do protótipo ocorreu um erro na moldagem dos corpos de prova SR/CF/B devido à inexperiência dos operadores e um erro na execução do ensaio de absorção de água do corpo de prova CR/CF/M, e conseqüentemente, apresentaram resultados muito divergentes dos demais, sendo excluídos da análise comparativa de desempenho do material.

Houve uma melhora significativa no comportamento mecânico da mistura solo-cimento das paredes de taipa utilizando microfibras de polipropileno, que obtiveram maiores valores de capacidade de absorção de água e de resistência à compressão simples (em média 36%) que as misturas de solo-cimento sem microfibras. A adição das microfibras no solo-cimento resultou em maior área superficial sem preenchimentos com produtos cimentantes (reações da hidratação do cimento) e conseqüentemente, em uma mistura fisicamente com maior capacidade de absorver água. O papel de “pontes” das microfibras com o solo estabilizado pode ter proporcionado uma melhora na capacidade de absorção de energia, tornando o material mais dúctil. As ranhuras entre as camadas compactadas não alteraram a resistência

do material, conseqüentemente, entende-se que o procedimento não provoca alterações mecânicas significativas sob esforços de compressão.

Todos os tratamentos atenderam aos requisitos especificados pela norma NBR 8492 (ABNT, 2012), ou seja, resistências à compressão simples mínima de 2 MPa e capacidade de absorção máxima de 20%, aos 7 dias de idade. Os valores de massa específica aparente seca dos tratamentos de solo-cimento e de solo-cimento-fibra não apresentaram diferenças significativas entre si, sendo os resultados em torno de 2,100 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4.8 Produtividade**

As medições da produtividade foram cronometradas e anotadas em fichas-padrão, sendo realizadas paralelamente ao processo de produção. O processo de medição cronometrou separadamente o tempo de lançamento da mistura, desde o término da homogeneização ao preenchimento de cada camada (altura máxima de 20cm) dentro da forma, e a compactação, que se iniciou com a adensamento do material e em seguida o impacto do compactador, com até 4 passadas ao longo de toda a extensão da forma.

A equipe de trabalho foi formada por: 1 empreiteiro, 1 pedreiro (montagem da forma), 1 servente (compactação) e dois ajudantes (mistura e transporte).

Ao comparar a produtividade (Figura 56) dos processos construtivos avaliados nesse estudo, observou-se que o conjunto betoneira e balde se mostrou até 12min/m<sup>2</sup> mais eficiente do que o conjunto de equipamentos misturador hexagonal + esteira + triturador. As paredes feitas utilizando o equipamento betoneira apresentaram produtividade de 48 minutos/m<sup>2</sup> de parede construída e uma boa homogeneização da mistura, apesar de ter facilitado a formação de grumos, durante o processo de rolamento. Utilizando o conjunto composto por misturador hexagonal + esteira + triturador na parede 6, obteve-se uma produtividade de 60 minutos/m<sup>2</sup> de parede construída e uma mistura sem grumos, já que o triturador desagregou em cortes as esferas que se formaram no funcionamento da máquina, tornando-a mais homogênea e solta e uma superfície da parede sem grumos ou tufos de microfibras, portanto mais uniforme.

Além disso, comparando-o com o método de construção de taipa utilizado por Milani; Bertocini; Freire (2008), ou seja, uso de fôrmas de compensado estruturadas com sarrafos, sendo o preparo e homogeneização da mistura feito com enxadas e compactação com pilão e produtividade de 90min/m<sup>2</sup>, pode-se observar um ganho de produtividade em até 42 min/m<sup>2</sup>.

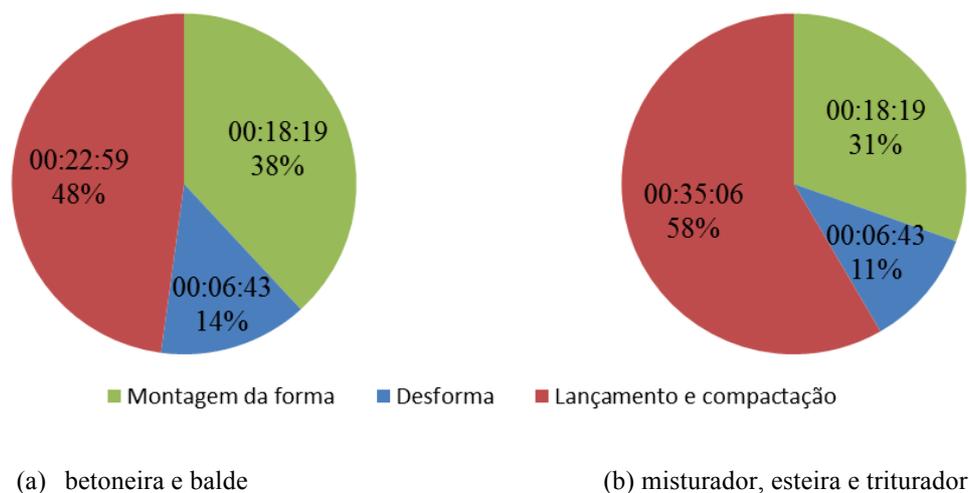


Figura 56. Comparação entre os processos construtivos.

#### 4.9 Gargalos, lacunas e perspectivas para a formação da cadeia produtiva

Considerando as etapas do ciclo de vida e processo construtivo, tem-se a seguinte sistematização:

1. Projeto: modular as paredes, definir a forma, detalhar as interfaces;
2. Planejamento da execução: extrair a matéria-prima, definir o lay-out do canteiro, capacitar de mão-de-obra;
3. Execução: montar a forma, preparar da mistura, compactar, desformar, curar (no caso da estabilização com cimento);
4. Pós-execução: instalar sub-sistemas, executar acabamentos, corrigir defeitos;
5. Uso e manutenção: correções, ampliações;
6. Demolição: reversibilidade.

Dentre a escassa bibliografia com abordagem sistêmica, que tratam dessa visão de cadeia produtiva, estão os trabalhos de: Dobson<sup>36</sup> (2015), Easton<sup>37</sup> (2015), Krayenhoff<sup>38</sup> (2015), apresentados no ICREC 2015<sup>39</sup>, além de Heise, Granja, Picchi (2010), Neves, Faria (2011), ABCP, 1948, Heise, (2004), CEPED (1984), que apresentam questões relacionadas à pesquisa e de desenvolvimento da técnica e do sistema construtivo, sob a perspectiva de diminuir os

<sup>36</sup> Diretor da empresa australiana Ramtec

<sup>37</sup> Rammed Earth Works, Napa, CA, USA

<sup>38</sup> Diretor , Tech Energy Systems, Sirewall, Canada

<sup>39</sup> First International Conference on Rammed Earth Construction, Perth and Margaret River, Western Australia, 2015.

obstáculos à utilização mais generalizada da técnica. A visão geral desse processo é apresentada na

Figura 57, com base nas referências citadas.

O levantamento de gargalos, lacunas e perspectivas de cada etapa foram complementadas com relatos de membros da Rede TerraBrasil<sup>40</sup>, sendo apresentados na sequencia.

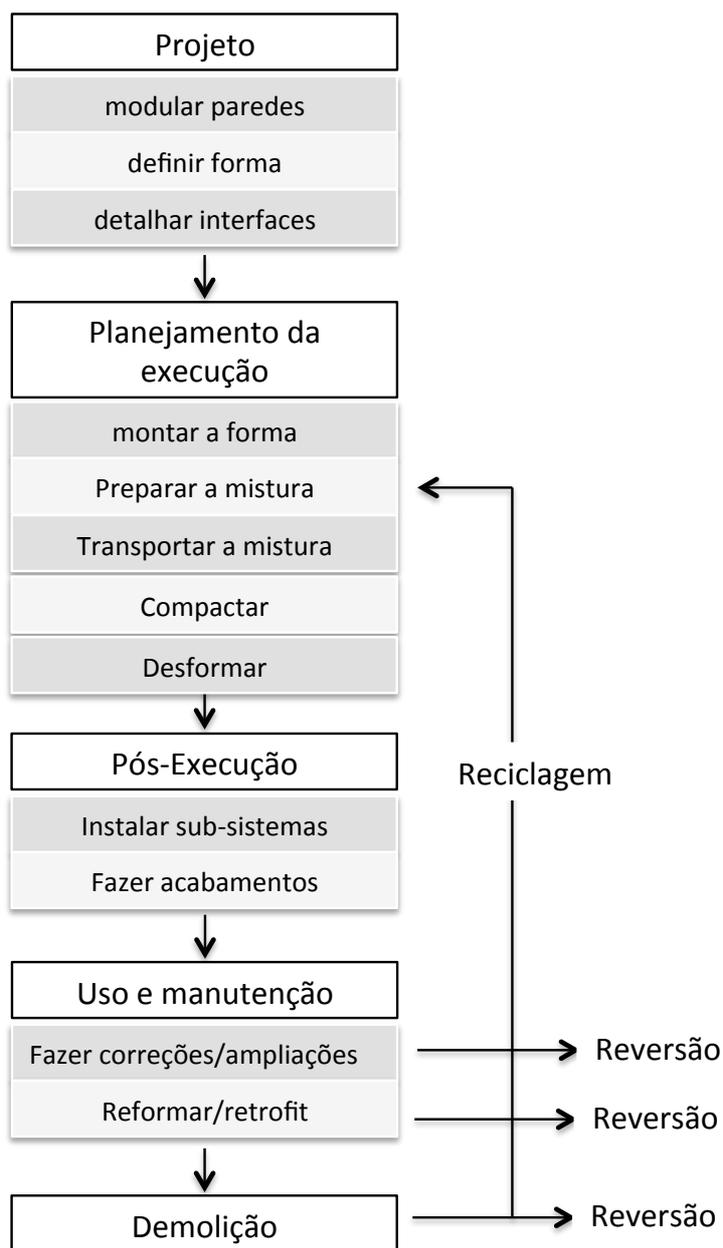


Figura 57: Processo de produção/ciclo de vida de paredes de taipa.

<sup>40</sup> A Rede TerraBrasil congrega profissionais, estudantes, entidades de classe e a sociedade constituída em torno das discussões sobre o tema arquitetura e construção com terra no Brasil.

#### **4.9.1 Projeto:**

O momento da concepção do projeto deve acionar todo e qualquer tipo de contingências e de agentes que modificam e interferem na concepção do desenho. A relação entre o desenho e a técnica construtiva de taipa exige e responde à um conjunto de propriedades técnicas e de especificidades no que diz respeito às características do material e à maneira de se construir. Deve-se conhecer o sistema de construção, as potencialidades e limitações da técnica, possibilidades de encaixes e ligações para interfaces a fim de se propor coisas exequíveis e viáveis, sem a necessidade de procedimentos complexos, sujeitos à qualidade da mão-de-obra (ver item 2.2). Projetar nos moldes tradicionais e depois adaptar para a técnica em questão pode resultar em perdas de investimento, tempo e eficiência.

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- No Brasil, é escassa a opção de equipamentos e máquinas no mercado;
- O conhecimento sobre arquitetura de terra não faz parte do currículo tradicional dos cursos de Arquitetura e Urbanismo ou de Engenharia Civil no Brasil, ocasionando um desconhecimento generalizado por parte dos projetistas;
- Não há normas técnicas vigentes para obras em taipa no Brasil e há pouca bibliografia de referência para detalhamentos construtivos.

##### **4.9.1.1 Planejamento da execução:**

O canteiro em uma obra de taipa é a fábrica cujo produto final (parede) está sendo produzida. Quando mal planejado ocorrem desperdícios (de tempo, material, mão-de-obra, equipamentos, informações e controles), que interferem na qualidade e produtividade da execução.

- a) **Layout do canteiro:** os canteiros desenvolvem-se em um ambiente sujeito à variações climáticas e à rotatividade da mão de obra. As suas limitações físicas e espaciais (declividade, drenagem, acessos, entorno, local, disponibilidade de energia e água podem limitar o uso de determinados equipamentos e máquinas e interferir na alocação dos postos de produção. Para a produção das paredes de taipa o canteiro deve prever:
  - Via de circulação para entrada e estocagem da terra (material à granel) e das máquinas, pois alguns equipamentos exigem transporte mecanizado;

- Local para processamento da terra (secagem, destorroamento, peneiramento e preparo da mistura), de preferência coberto e próximo à produção da parede;
  - Área livre para preparação das formas, próxima à produção da parede;
  - Local para extração do solo, preferencialmente próximo à obra.
- b) Capacitar mão-de-obra:** na ausência de mão-de-obra capacitada, o treinamento é uma opção que pode ser feita no canteiro. A possibilidade de treinamento de pedreiros, serventes e mestres para a execução das paredes, permite que a técnica seja facilmente apropriada para execução. Mas não se pode confundir a facilidade de apropriação com uma “técnica simples”, porque envolve uma ampla gama de conhecimentos e controle do processo de mistura, da compactação, da montagem e desforma e a cura da parede, que apesar de simplificados, exigem procedimentos padronizados e uma equipe trabalhando em cooperação.
- c) Adquirir solo para taipa:** preferencialmente a fonte é o próprio canteiro. O local de onde será retirado o solo deve ser o mais próximo do canteiro de obras. Na ausência de solo adequado e de um fornecedor, escolher uma jazida. Para o meio urbano, deve-se checar a existência de jazidas de solo adequado nas proximidades da obra, devendo ser o local devidamente licenciado para tal fim, pelo órgão ambiental competente. A extração do solo pode ser mecânica ou manual. Solos mais argilosos apresentam maior dificuldade para serem explorados e possivelmente será necessário destroar e peneirar antes da correção e estabilização. Solos mais arenosos além de exigirem menor esforço podem dispensar a correção granulométrica antes da estabilização. O solo deve estar limpo de matéria orgânica, portanto retirados de estratos inferiores ao perfil “A” do solo (Figura 1).

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- Não existem fornecedores de solo para construção em terra no Brasil. Comumente os fornecedores de materiais básicos revendem solos provenientes de cortes para aterros de diferentes terrenos sem qualquer especificação do tipo de solo;
- O solo é altamente variável (jazidas). A presença de substâncias deletérias para o processo de cimentação (húmus, cloretos, sulfato) podem inviabilizar a sua aplicação.

A solução desse problema é dispendiosa por requerer pessoal qualificado e constantes análises de material (composição, reatividade da argila predominante, etc.);

- Há diversos manuais com a descrição de testes de campo que apesar de resultados razoavelmente precisos não fornecem respaldo técnico para o construtor;
- Não existem em todas as cidades, laboratórios de mecânica de solos ou com técnicos preparados e atualizados para realizar os ensaios.
- Não há cursos de capacitação formais e a educação se limita ao âmbito da sensibilização.

#### **4.9.1 Execução:**

##### **4.9.1.1 Montagem das formas**

A estrutura da forma deve dar rigidez e travamento suficientes para suportar a pressão exercida pela compactação do solo. Esta estrutura deve estar aprumada, alinhada, nivelada e bem fixada de maneira que não se movimente durante a execução, pois essa movimentação irá implicar na perda de prumo das faces da parede e em defeitos na superfície (ver item 2.3.3.1). A modulação reflete na produtividade, pois auxilia a colocação das formas na obra, principalmente em obras com operários sem prática na leitura das plantas técnicas. As placas para confinar a mistura e moldar a parede devem ser tratadas com desmoldante para o material não aderir e ser arrancado durante a desforma. A qualidade da forma é determinante na produtividade e no aspecto estético da parede. É desejável que todos os componentes da forma sejam modulares e reutilizáveis. No encontro entre paredes adjacentes, é possível embutir peças de madeira para modelar as juntas de controle. Como as formas representam um custo significativo nas obras em taipa, a coordenação modular é necessária para viabilizar o reuso.

##### **4.9.1.2 Preparo da mistura:**

Deve-se obter as características físico-químicas do solo disponível para conhecer a necessidade de correção do solo que consiste na melhoria das características físicas com a adição de outro solo ou estabilizantes (ver 2.3.2). O solo deve ser peneirado na porção necessária, devendo estar seco. A água é acrescentada aos poucos até o ponto ótimo de umidade, que é verificado pelo teste do “bolo”. Soluções mais econômicas devem envolver um estudo de dosagem.

#### **4.9.1.3 Transportar a mistura até a forma:**

O transporte da terra dentro do canteiro (do local do preparo do solo até cada forma) exige grande parte do tempo e do número de operários trabalhando na obra. A mistura deve ser espalhada dentro da forma em um limite de 20cm de altura da camada, balizados para atingir a densidade desejada sem causar danos à camada anterior.

#### **4.9.1.4 Compactar:**

Compactar consiste em aplicar sobre a terra cargas dinâmicas com a finalidade de aumentar a sua densidade e conseguir melhores parâmetros de engenharia. Desse modo, as partículas do solo são reorganizadas minimizando os vazios entre elas, tornando-se um material denso, estável e resistente à cargas de compressão. A densidade é o fator de maior importância para taipa, pois ela será determinante para outras características. A densidade máxima dependerá do tipo de solo, da umidade (antes e durante o preparo da mistura) de compactação e da energia imprimida. A verificação do teor de umidade *in loco* pode ser feita com o emprego do teste do bolo. Pouca compactação irá levar a uma estrutura débil enquanto a compactação além do ponto ideal pode causar danos à camada, inclusive fissurações. O reconhecimento é feito através do som emitido pelo compactador que se modifica durante o processo ou pela identificação visual das marcas deixadas pelo compactador (JAQUIN, 2008). É conveniente adotar para a altura das camadas da mistura medidas entre 15cm a 20cm e um número de passadas contínuas do compactador por camada. Recomenda-se escarificar a camada inferior (ranhuras na diagonal à face da parede com profundidade e largura de cerca de 0,5cm). No caso de haver paralização da compactação em mais de 12 hs, além de escarificar, deve-se umedecer e pulverizar cimento. A qualidade do material após a compactação envolve o controle da evaporação da umidade incorporada, principalmente quando se tratar de solo-cimento (ver item 2.3.2).

#### **4.9.1.5 Desformar:**

Primeiro as estruturas devem ser soltas para aliviar a pressão na forma, assim é possível retirar as placas que confinam a terra sem danificar a superfície das paredes. O projeto da forma deve prever que, como na montagem, essa atividade deva ser rápida e precisa, pois acontecerá várias vezes e será importante para a produtividade da obra. Deve-se evitar atrito no material e impacto, seja com ferramentas na forma ou com a própria forma na parede. Uma cura mal feita é outro fator de prejuízo para o acabamento, podendo apresentar um

esfarelamento superficial (pulverulência). As juntas entre formas, bem como o encontro com outros materiais podem apresentar saliências podendo ser regularizadas com uma colher de pedreiro, com o material ainda fresco.

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- Não há equipamentos apropriados para a compactação de terra no Brasil. Os compactadores pneumáticos tipo agulha (*tamper*) são fabricados no exterior;
- Para a mecanização dessa etapa da produção com o uso de esteiras rolantes ou uma pequena pá carregadeira é necessário um grau de planejamento e espaço adequado no canteiro;
- No Brasil não existem fabricantes de formas para taipa. As formas para concreto moldado *in loco* não são dimensionadas para a pressão exercida pela compactação da terra;
- No Brasil não há referências para a solução dessas articulações;
- O teste do bolo não é um procedimento padronizado e o comportamento do solo pode variar de acordo com o agente estabilizante e a eficiência do método speedy é questionável para checar a umidade das misturas com estabilizantes;
- Alguns estabilizantes como o CP III e CH I (cimento Portland) e cal hidratada, mais apropriados para a o uso na construção com terra são difíceis de encontrar no mercado de materiais de construção em algumas regiões do País;
- Não existem máquinas adequadas para o preparo da mistura seca de diferentes tipos de solo com estabilizantes. Os equipamentos feitos para a fabricação de blocos de concreto, cuja mistura da massa possui umidade semelhante à da taipa, são subdimensionados para suportar a força da adesão da argila.

#### **4.9.2 Pós-execução:**

##### **4.9.2.1 Acabamentos e correções:**

Depois de compactadas, as paredes devem ficar cobertas por ao menos três dias para que a perda de água não ocorra muito rapidamente causando fissuras. Durante toda a duração da obra, as paredes devem ficar protegidas para não sofrerem nenhum tipo de avaria por parte das outras atividades da construção. Após o término da obra e a secagem das paredes é importante aplicar uma camada de produto hidrofugante e que aumente a resistência à abrasão

da superfície, mas que mantenha a permeabilidade da parede para que possibilite as trocas com o meio e assim melhore a salubridade e o conforto térmico do ambiente.

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- As técnicas de construção convencionais, geralmente utilizadas para a construção do restante da obra, tem grande potencial de geração de danos às paredes de taipa;

#### **4.9.3 Uso e manutenção:**

As características do produto e especificidades do material definem também o modo de se utilizar e fazer as devidas manutenções ao longo do tempo de vida útil previsto para a edificação. As anomalias de origem endógena devem ser reparadas pelos construtores e incorporadores, observados os prazos legais e de garantia. As anomalias de origem exógena devem ser reparadas pelos causadores desses danos. Para fixação de acessórios, evitar impacto e utilizar somente parafusos com buchas especiais. Deve-se evitar atrito, pois a abrasão pode desgastar a superfície prejudicando a sua aparência. Limpar com utilização de pano úmido. Não utilizar produtos químicos corrosivos ou abrasivos. Não utilizar objetos cortantes ou perfurantes para auxiliar na limpeza. Evitar bater com peças pontiagudas. Não molhar e evitar a presença constante de umidade.

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- Não há na literatura atual, manuais contendo condições de uso, operação, manutenção e prevenção de falhas e acidentes decorrentes de utilização inadequada dos diversos elementos e componentes de uma obra com paredes de taipa.

#### **4.9.4 Demolição:**

Depois de demolidas, dependendo do tipo e da quantidade de produtos usados na estabilização (aglomerantes, hidrofugantes, plastificantes, etc.), as paredes podem voltar à condição do solo original (reversibilidade). As paredes depois de trituradas também podem ter o material remanescente, com a adição de aglomerante, usado em outras construções.

#### **Gargalos, lacunas e perspectivas:**

- Estudos mais aprofundados são necessários para a comprovação da viabilidade financeira e sustentabilidade ambiental de se realizar esse procedimento de trituração (consumo energético, exequibilidade, equipamentos).

#### 4.10 Cenários atuais da cadeia produtiva no Brasil

Nos Países onde a cadeia produtiva é mais organizada, os cientistas procuram melhorar a dosagem e métodos de estabilização das misturas com novas alternativas de estabilizantes, engenheiros desenvolver normas e ensaios e arquitetos buscam a adequação do projeto aos métodos estabelecidos pelos construtores (EASTON, 2015).

Um dos problemas da falta de uma estrutura clara de produção de paredes de taipa é a dificuldade para identificar os agentes responsáveis por cada etapa do processo produtivo.

Informações, complementadas com informação verbal de membros da Rede TerraBrasil resultaram no esboço de alguns cenários em relação à atuação dos agentes (projetistas, construtores e usuário) que a compõe.

Tomando como base a cadeia produtiva dos materiais convencionais, os agentes podem atuar de formas diferentes nessa cadeia produtiva, justamente por tratar-se de uma cadeia em formação, com papéis e responsabilidades por definir:

- Cenário 1: O projetista é o construtor especialista de taipa e assume a carga de responsabilidade por praticamente todas as etapas do processo produtivo, com ou sem aporte técnico. E ao usuário cabe a responsabilidade de lidar com as etapas posteriores à conclusão da obra (ver Tabela 9). Nesse arranjo, o projetista-construtor precisa deter máquinas e equipamentos, ser responsável por treinar a própria equipe e padronizar os seus procedimentos, responsabilizando-se também pelo projeto e construção como um todo, pelos subsistemas adjacentes, pela conclusão e entrega da obra.

Tabela 10: Responsabilidades e agentes no arranjo produtivo do Cenário 1

	AGENTE (ATOR)	RESPONSABILIDADES
<b>Cenário 1</b>	Projetista-construtor de taipa	   
	Usuário	 

 projeto  
  planejamento  
  execução  
  pós-execução  
  uso e manutenção  
  demolição

- Cenário 2: nesse cenário o projetista se responsabiliza pelas etapas de projeto e parte do planejamento da execução e lida com equipe de terceiros na capacitação, ficando sob encargo do usuário a responsabilidade de lidar com um construtor que pode desconhecer a técnica e o sistema construtivo.

Tabela 11: Responsabilidades e agentes envolvidos no arranjo produtivo de Cenário 2

	AGENTE (ATOR)	RESPONSABILIDADES
<b>Cenário 2</b>	Projetista	 
	Construtor convencional	 
	Usuário	 

 projeto  
  planejamento  
  execução  
  pós-execução  
  uso e manutenção  
  demolição

- a) Cenário 3: nesse arranjo, o construtor especialista em taipa projetada, detém máquinas e equipamentos, é responsável por treinar a própria equipe e padronizar os seus procedimentos, mas não se responsabiliza pela construção como um todo, delegando ao construtor convencional a instalação dos subsistemas adjacentes, a conclusão e entrega da obra.

Tabela 12: Responsabilidades e agentes envolvidos no arranjo produtivo do Cenário 3

	AGENTE (ATOR)	RESPONSABILIDADES
<b>Cenário 3</b>	Projetista-construtor de paredes de taipa	  
	Construtor convencional	
	Usuário	 

 projeto  
  planejamento  
  execução  
  pós-execução  
  uso e manutenção  
  demolição

#### **4.11 Relações existentes entre as variáveis da produção de paredes de taipa**

Muitas variáveis interferem ou sofrem interferência de outras. Construir essa visão pode ser útil para o entendimento das relações de causa e efeito entre os problemas, na perspectiva de viabilizar a tecnologia para o mercado.

Ao longo dos temas abordados, perceberam-se influências entre os seguintes assuntos:

##### **4.11.1 Os ganhos da mecanização e os obstáculos a serem superados**

A mecanização se mostra eficiente tanto pela revisão de literatura quanto pela avaliação realizada no estudo de caso. Mas a aplicação para o mercado brasileiro esbarra atualmente na falta de construtores especializados e máquinas adequadas. Na análise geral, as marcas detectadas em todas as paredes têm em comum problemas relacionados ao desempenho da forma e equipamentos, pela falta de controle do processo e ineficiência das práticas executivas. Notou-se que as formas são cruciais para garantir a qualidade da parede e é necessário que sejam de fácil montagem.

Dentre todos os equipamentos testados, nota-se que o uso do equipamento betoneira / misturador sendo a mistura transportada por baldes, aliado à um controle de qualidade da produção se mostra mais adequado no processo construtivo quando comparado com a aplicação do conjunto misturador homogeneizador + esteiras + triturador, possivelmente porque o custo da mão de obra ainda é baixo, permitindo ao empreendedor um arranjo mais econômico. Além disso, apesar dos ganhos da produtividade e o bom desempenho físico-mecânico do produto final, a introdução de máquinas não foi plenamente aceita pelos operadores, pois há avanços a serem introduzidos no projeto dos equipamentos, ferramentas e formas, para superar os obstáculos que ainda persistem: dificuldade de montagem das formas e sua deformação durante a compactação, misturadores específicos para misturas de solo e equipamentos transportadores mais eficazes.

Nota-se também, que a mecanização completa só é viável para atender uma escala de produção maior e que dependendo do cenário de construção, a utilização de alguns equipamentos se torna inviável, pelo alto custo de se adquirir, custear e transportar.

Uma das limitações da pesquisa é que as falhas na padronização dos procedimentos acabaram interferindo no desempenho de algumas máquinas. É o caso da peneira vibratória (ver item

4.6.9) e da formação de grumos na homogeneização. Logo, o aperfeiçoamento do controle tecnológico torna-se necessário para que de fato possa ser apropriado em obra, agregando uniformidade e referências aos executores.

#### **4.11.2 O desenho da edificação adequado à técnica**

Apesar de todas as dificuldades enfrentadas na construção do protótipo (projetistas e construtores em aprendizagem, a falta de normas e literatura, falta de experiência), os produtos obtidos no desenho das interfaces e os resultados alcançados no processo (estabilização, mecanização) de maneira geral agregaram informações relevantes à pesquisa. Não tanto pelos produtos pontuais, mas pelas implicações que cada decisão acarreta no processo produtivo. A análise das soluções de projeto, apresentou as interfaces e detalhes considerados satisfatórios são: chanfro das quinas (taipa-taipa), peça em "T" metálica (taipa-fundação), instalações, revestimentos e acabamentos. A interface taipa-alvenaria apresentou maior interferência no aspecto estético da parede de taipa e foi provocada pelos defeitos de prumo da taipa e cortes inadequados no material. Os cortes pós-secagem também não apresentaram bons resultados de acabamento e exequibilidade. Nota-se que os dados qualitativos das soluções de projeto, aliados à estudos futuros de desempenho das interfaces, considerando os requisitos que não foram avaliados nesta pesquisa, poderão contribuir para o desenvolvimento de diretrizes de projeto, projeto de normas e evolução da tecnologia de terra.

#### **4.11.3 A qualidade da técnica, do material e aceitação do mercado**

Houve uma melhora significativa no comportamento mecânico das paredes maciças de solo estabilizado utilizando microfibras de polipropileno e as ranhuras entre as camadas de solo compactado não influenciaram na resistência à compressão simples das paredes. Entretanto, para a aceitabilidade da técnica deve-se amenizar os defeitos nas paredes, aperfeiçoar as práticas executivas e de desenho com o domínio maior da técnica por parte dos construtores e projetistas. O trabalho de identificação e mensuração de defeitos e lacunas de controle tecnológico é uma primeira aproximação para o desenvolvimento de métodos de controle de qualidade e tecnológico, que acrescido de futuros dados quantitativos (para proporcionar uma ordem de grandeza a cada uma das variáveis) e um trabalho paralelo de aceitabilidade, pode tornar-se um procedimento de avaliação de qualidade. Cabe ressaltar que, dos defeitos relatados, há os que nem sempre são considerados problemas. Com exceção dos que oferecem riscos aos usuários, a tolerância para cada defeito, ou seja, sua aceitabilidade, depende de cada

observador, até mesmo para considerá-los como um problema de fato ou apenas como mera característica da técnica.

#### **4.11.4 A cadeia produtiva e os cenários de produção**

Fica evidente nas referências estrangeiras, uma preocupação não só com os procedimentos básicos da construção (montar forma, misturar, compactar, desformar, curar, etc), mas em como agregar qualidade (estética, produtividade) para atender às necessidades dos usuários sem diminuir o grau de sustentabilidade. Além disso, a organização que existe entre os agentes das cadeias produtivas de outros países não é percebida no contexto nacional. Dentre os cenários analisados nota-se: no 1º. uma maior concentração de responsabilidades sobre o projetista-construtor; no 2º e 3º. fragilidades de elos, que podem gerar uma indefinição de papéis e ausência de cooperação. Com base no cenário atual nacional, os agentes identificados são: projetistas, projetistas-construtores (especializados), construtor de paredes de taipa e construtores convencionais.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A descrição do processo construtivo e seus agentes pode ser trivial para as cadeias produtivas de materiais consolidados no mercado, mas para a taipa ainda constitui um exercício de elaboração de cenários, dado que existem várias possibilidades de arranjos, desde a produção mais artesanal até a pré-fabricação de elementos inteiros e visto que está mais no campo da possibilidade do que de um fato concreto. Entende-se também que a taipa, quando integrada numa lógica de economia de mercado, pode ser uma solução pontual, de exceção.

Estando ainda em formação, muitos agentes não são facilmente identificáveis, por não existirem na atualidade ou porque seus papéis são exercidos por múltiplos agentes.

Sobre a cadeia produtiva, os elos são na maioria apenas conjecturas e projeções, considerando os cenários ideais, pois na atualidade, a falta de domínio da técnica pelos agentes usuais da construção civil obriga, necessariamente, a uma verticalização do processo, sob controle/responsabilidade de um ou dois agentes.

Dos gargalos à formação da cadeia produtiva, notam-se questões relacionadas ao meio acadêmico, ao mercado imobiliário, ao setor produtivo, aos bancos e aos usuários, além dos próprios gargalos tecnológicos. A execução de protótipo, que em princípio, permitiria

trabalhar as questões de caráter tecnológico as que são relacionadas ao meio acadêmico, possibilitou a experiência da influência das demais questões de outras dimensões, relatadas neste trabalho.

Mesmo dentre as questões trabalhadas, cabe a seguinte reflexão: até que ponto a "horizontalização" dessa produção (tomando como referência os materiais convencionais), que também implica em compartimentação do conhecimento (e portanto, das responsabilidades), é benéfica? Pois isso pode resultar nos mesmos problemas que a cadeia dos materiais convencionais. E, por outro lado, sendo essa cadeia formada por pequenos empreendedores, há como criar suporte à manutenção dessa verticalização? Ou ainda, quais agentes devem ter a visão do todo? Seria possível proporcionar a visão do todo à todos?

A realização do trabalho permitiu explicitar as relações entre as variáveis do processo construtivo de edificações de taipa, porém, tendo em vista que se trata de um estudo amplo e multidisciplinar. Cada um dos assuntos elencados demandam aprofundamento em estudos futuros.

## 6 REFERÊNCIAS

ABCP-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Casas de parede de solo-cimento*. Boletim de informação N. 54, p. 521 a 540.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15575: *Edificações Habitacionais - Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 7182 - *Solo - Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 1986. 10p.

\_\_\_\_\_. NBR 13553 - *Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural*, 2012. 3p.

\_\_\_\_\_. NBR 13555 - *Solo-Cimento – Determinação da absorção d'água*. Rio de Janeiro, 1996. 1p.

\_\_\_\_\_. NBR 8949 – *Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples*. Rio de Janeiro, 1985. 7p.

\_\_\_\_\_. NBR 8492 - *Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água*. Rio de Janeiro, 1984. 5p.

ROGERMIMO. *Architecture de la vallée du Todra: Le pisé*. 2014. Disponível em: <http://www.rogermimo.com/Todra/fr-architecture.htm>. Acesso em: 03 abril 2015.

BARBOZA, C. S. 2014. *Avaliação físico-mecânica do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas*. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - UFMS, Campo Grande.

BARDOU, P., ARZOUMANIAN, V. *Arquitecturas de adobe*. 3ª ed. México: Gustavo Gili, 1986.

BRUNO, P. *A conservação de paredes de terra crua: da análise à intervenção prática*. In: Houses and cities built with earth: conservation, significance and urban quality. 2005. Monsaraz, **Anais...** Lisboa: Argumentum Novembro de 2005 p. 55-58.

BOYLE C. *Sustainable Buildings in New Zealand International Centre for Sustainability Engineering and Research*. 2004. Disponível em: [https://www.ipenz.org.nz/ipenz/forms/pdfs/Sustainable\\_Buildings.pdf](https://www.ipenz.org.nz/ipenz/forms/pdfs/Sustainable_Buildings.pdf). Acesso em: 14 set. 2015. One of a number of discussion papers produced by the IPENZ Presidential Task Committee on.

BUI Q.B., MOREL J.C, VENKATARAMA REDDY B.V, GHAYAD W. 2009. *Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering*. Building and Environment, Volume 44, ed.5: 912-919. Disponível em: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleListURL&\\_method=list&\\_ArticleListID=699793882&\\_sort=r&\\_st=13&view=c&md5=6e7812a5fa34be9c069daebel1ef16880&searchtype=a](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=699793882&_sort=r&_st=13&view=c&md5=6e7812a5fa34be9c069daebel1ef16880&searchtype=a). Acesso em 15 nov. 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). *Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013*. Fortaleza: Gadiole Cipolla Comunicação, 2013, 300p.:il

CASANATURAL. *Taipa de pilão pré-fabricada*. Disponível em: [www.casa-natural.com/pt/terra-batida-elementos-taipa-pilao-pre-fabricada](http://www.casa-natural.com/pt/terra-batida-elementos-taipa-pilao-pre-fabricada). Acesso em 12 ago. 2015.

CLAIR, E., COURT, J. (Coord). *Rénover et construire en pisé. Parc Naturel Régional Livradois-Forez*. 2011. Disponível em: < <http://www.pise-livradois-forez.org/>>. Acesso em 07 set. 2015.

CEPED - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. 1984. *Manual de construção com solo-cimento*. 1984. 3ª. Edição. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CHICAGOPNEUMATICS.2015. Disponível em: <http://www.chicagopneumatic.com.br>. Acesso em 11 de julho de 2014.

CIANCIO D., JAQUIN P., WALKER,P. *Advances on the Assessment of soil suitability for rammed earth*. Construction and building materials, n. 42, p. 40-47, 2013.

CIANCIO D., BOULTER M. *Stabilised rammed earth: a case study in Western Australia*. 2012. Proc ICE – Eng Sustain:162 (2):141-54

CIANCIO D. *Use of rammed earth in aboriginal remote communities of Western Australia: A case study on sustainability and thermal properties*. In: International Workshop on Rammed Earth Materials and Sustainable Structures & Hakka Tulou Forum: Structures of

Sustainability at International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering. 2011. **Anais...** Xiamen University, China. Disponível em: <[http://www2.cemr.wvu.edu/~rliang/ihta/papers/8%20FINAL%20Daniela%20Ciancio\\_paper\\_workshop.pdf](http://www2.cemr.wvu.edu/~rliang/ihta/papers/8%20FINAL%20Daniela%20Ciancio_paper_workshop.pdf)>. Acesso em 23 out. 2014.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB. *Agenda 21 on sustainable construction*. Rotterdam: CIB Report Publication 237. 1999.

CLIFTON SCHOOLEY & ASSOCIATES. *Rammed Earth pictures*. Clifton Schooley & Associates: Rammed Earth Designers & Builders. 2008. Disponível em: <http://www.rammedearth.info/rammed-earth-pictures.htm#Pictures>. Acesso em 02 jan. 2015.

DNER-ME - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. 1994. *DNER-ME 052: Solos e agregados miúdos – determinação da umidade com emprego do “Speedy”*. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/NORMAS/DNER-ME052-94.PDF>. Acesso em: 15 nov. 2014.

DOBSON S. *Rammed Earth in the modern world*. In: International Conference on Rammed Earth Construction, 1., 2015, Perth and Margaret River. **Anais...** Perth: University of Western Australia, Australia, 2015. P. 3 -10.

EASTON, D. *Rammed Earth Works*. 2014. Disponível em: <http://www.rammedearthworks.com/blog/>. Acesso em 29 nov. 2014.

EASTON, D. *The Future and the common ground*. In: International Conference on Rammed Earth Construction, 1, 2015, Perth and Margaret River. **Anais...** Perth: University of Western Australia, Australia, 2015. P. 11 -16.

EASTON, D. *The Rammed Earth House*. 1996. Chelsea Green Publications Company, Vermont, USA.

EASTON, D. *The rammed earth house*, Chelsea Green, 2007.

ECOMÁQUINAS. 2015. Disponível em: <<http://www.ecomaquinas.com.br>>. Acesso em 21 set. 2015.

ELMESÓNDESPEAPERROS. *Castillo de Baños de la Encina, un tesoro musulmán*. Disponível em <(<http://www.xn--elmesondespeaperros-63b.es/castillo-de-banos-de-la-encina-un-tesoro-musulman/>)>. Acesso em: 16 set. 2015.

FARIA, O. *Caracterização de solos para uso na arquitetura e construção com terra*. In: *Arquitetura de Terra em Portugal*. Lisboa: Argumentum, 2005. 179-185 p.

FONSECA, I. *Arquitetura de Terra em Avis*. 1ª. Edição. Lisboa, Portugal: Argumentum, 2007, 93-103 p.

GERHARDT T.E.; SILVEIRA D.T (Org.). *Métodos de Pesquisa*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120 p. Disponível em <http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 06 set. 2015.

GONZÁLES, F. D. *Geometrias da Arquitetura de terra: A sustentabilidade Geométrica das construções em Terra Crua*. 2006. Lisboa: Universidade Lusíada Editora, 203p.

HANNANT, L. Fibre-reinforced cements and concretes. In: J. M. ILLSTON. *Construction Materials; their nature and behaviour*. 2ed. London: J. M. Illston/E & FN Spon., 1994. p.359-403.

HEISE, A.F. *Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo-cimento em taipa de pilão*. 2004. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2004.

HEISE A.F., GRANJA A.D., PICCHI F.A. *Oportunidade de aplicação dos princípios e ferramentas da mentalidade enxuta no processo de produção do painel monolítico de taipa de pilão*. In: Congresso de arquitetura e construção com terra no Brasil, 3, 2010. Anais..., Campo Grande-MS.

HEISE A.F., MINTO F.C., HOFFMANN M.V. *Proposta de contribuição para análise do desempenho técnico construtivo das paredes de taipa de pilão*. In: CONGRESSO DE ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO COM TERRA NO BRASIL. 4. **Anais...** Fortaleza-CE, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241. *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*. London, 1984. Disponível em [http://www.usp.br/fau/fau/administracao/congregacao/planodiretor/site\\_antigo/material/leitura\\_tecnica/01\\_tabela\\_iso\\_6241.pdf](http://www.usp.br/fau/fau/administracao/congregacao/planodiretor/site_antigo/material/leitura_tecnica/01_tabela_iso_6241.pdf). Acesso em: 06 jun. 2013.

JAGADISH, K. S. *The progress of stabilized soil construction in India*. In: Proceedings of National Seminar on Application of stabilized mud blocks in Housing and Building, Bangalore, India, November 1988, pp. 17-43.

JAQUIN, P. 2008. *Analysis of historic rammed earth construction*. 2008. 585 p. Tese (Doctor of philosophy) – School of Engineering, Durham University, Durham, 2008. Disponível em: <<http://etheses.dur.ac.uk/2169/>>. Acesso em 15 jan. 2015.

JOHNSTON, C. D. Fibre-reinforced cement and concrete. In: V. M. MALHORTA. *Advances in concrete technology*. 2ed. Ottawa: V. M. Malhotra, 1994. p.603-673.

KRAYENHOFF M. *Rammed Earth in a concrete world*. In: International Conference on Rammed Earth Construction-ICREC, 1, 2015, Perth and Margaret River. **Anais...** Perth: University of Western Australia, Australia, 2015. 111 -114 p.

LEHMTONERDE. *Ricola Herb Centre*. 2015. Disponível em: <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pID=87>. Acesso em: 07 set. 2015.

MANIATIDIS, V., WALKER, P. *A Review of Rammed Earth Construction for Dti Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing'*. Bath: Natural Building Technology Group, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, 2003. Disponível em: <http://staff.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2014.

MIILANI, A.P.S; BERTOCINI S.R.; FREIRE, W. J. *Estudos para viabilizar o uso do material solo-cimento-cinza de casca de arroz na construção de paredes monolíticas*. Congresso de Arquitetura e Construção com Terra no Brasil. 2. **Anais...** Maranhão. 2008.

MIILANI, A.P. *Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica*. 2008. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MILETO C., VEGAS F., LÓPEZ J.M. *Criterios y técnicas de intervención en tapia. La restauración de la torre Bofilla de Bétera (Valencia)*. Informes de la Construcción, Vol. 63, 523, 81-96, julio-septiembre, 2011.

MINKE, G. *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. 1ª. edição, Kassel, Alemanha: Universidad de Kassel, 2001. 51 p.

MINKE, G. *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel, Switzerland: Birkhäuser, 2006. 199 p.

MOURA E. *Transportes e obras de terra: movimento de terra e pavimentação*. 2011. Disponível em: < [http://professoredmoura.com.br/download/Aula-4\\_Granulometria.pdf](http://professoredmoura.com.br/download/Aula-4_Granulometria.pdf)>. Acesso em 01 ago 2015.

NEVES, C. *Desempenho de paredes de edificações em uso: metodologia de avaliação*. In: Simpósio Ibero-Americano sobre Técnicas Construtivas Industrializadas para Habitação de Interesse Social, 3. Fórum Brasileiro da Construção Industrializada - Habitação, 1. São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPT/CYTED/ABCI, 1993.

NEVES, C. *Solo-cimento: Dosagem e Técnicas Construtivas*. In: Seminário Arquitetura de Terra em Portugal. 5, 2007, Aveiro, Portugal. **Anais...**Lisboa: Argumentum, 2007. 86-88 p.

NEVES, C.; FARIA, O. B. (Org.). *Técnicas de construção com terra*. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em <[http://redproterra.org/images/stories/pub\\_pdf/tecnicas\\_de\\_construcao\\_com\\_terra.pdf](http://redproterra.org/images/stories/pub_pdf/tecnicas_de_construcao_com_terra.pdf)>. Acesso em 20 set. 2014.

NEVES, C. *O uso do solo-cimento em edificações. A experiência do CEPED*. Disponível em: <<http://www.cricyt.edu.ar/secprensa/siacot/cdenlinea/ponencias/comision4/Neves,%20Celia/O-Celia%20Neves.pdf>>. Acesso em 15 set. 2015.

NZS 4297. *Engineering Design of Earth Buildings, Standards New Zealand*. 1998. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/nz/ibr/nzs.4297.1998.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2014.

NZS 4298. *Engineering Design of Earth Buildings, Standards New Zealand*. 1998. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/nz/ibr/nzs.4298.1998.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2014.

NZS 4299. *Engineering Design of Earth Buildings, Standards New Zealand*. 1998. Disponível em: <<https://law.resource.org/pub/nz/ibr/nzs.4299.1998.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2014.

- PARNEL M. *Arrillhijere Demonstration House*. Disponível em: <http://www.caddet-re.org/html/298art6.htm>. Acesso em 12 set. 2015.
- RAMMED EARTH AUSTRALIA. *Environmentally Sustainable Commercial and Domestic Rammed Earth Construction*. 2015. Disponível em <<http://www.rammedearthaustralia.com.au/index.htm>>. Acesso em: 07 set. 2015.
- RAMTEC. *Rammed Earth Specialists*. 2015. Disponível em: < <http://ramtec.com.au/>>. Acesso em: 07 set. 2015.
- RUZICKA J., HAVLIK F., RICHTER J., STANEK K. *Advanced prefabricated rammed Earth structures – mechanical, building physical and enviromental properties*. In: International Conference on Rammed Earth Construction, 1, 2015, Perth and Margaret River. **Anais...** Perth: University of Western Australia, Australia, 2015. P. 139 -143.
- SIREWALL. *Strutural Insulated Rammed Earth*. 2015. Disponível em: <<http://sirewall.com/sirewall-system/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.
- SFFORMAS.2015. Disponível em: <http://www.sfformas.com.br>. Acesso em: 10 out. 2015.
- TAIPAL. *Construções em Terra* . 2015. Disponível em: <http://www.taipal.com.br/>. Acesso em: 05 jun 2015.
- TERRA FIRMA. *Earth Building Company*. 2015. Disponível em: <http://www.earthhomes.co.nz/>. Acesso em: 07 set. 2015.
- VENKATARAMA REDDY B. V., JAGADISH, K. S. *Embodied energy of common and alternative building materials and Technologies*. Energy and buildings 35. 2003. 129-137 p. May, 2001.
- WALKER, P., STANDARDS AUSTRALIA. *The Australian Earth Building Handbook*. Watford, BRE Bookshop.2002.
- YALE. *Photogrammar*.2015. Disponível em <<http://photogrammar.yale.edu/records/index.php?record=fsa2000000305/PP>>. Acesso em: 15 ago 2015.
- YUBA A.N. *Análise da Pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais*. 2005. 227 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

## **GLOSSÁRIO**

**AGENTES DE DEGRADAÇÃO:** Tudo aquilo que age sobre um sistema, contribuindo para reduzir seu desempenho, como sol, chuva, ações dos usuários da edificação, etc. (CBIC, 2013).

**CANTEIRO:** Por canteiro entende-se o espaço onde se desenvolvem as operações de apoio e execução (obra) e produção do produto da obra (HEISE, 2004).

**CAPILARIDADE:** Ascensão ou movimento da água nos interstícios de um solo, devido às forças capilares originadas por tensão superficial (NBR 6502/1995)

**COESÃO:** Capacidade que os elementos constituintes do solo têm em permanecer ligados entre si (GONZÁLES,2006).

**COMPONENTE:** Unidade integrante de determinado sistema da edificação com forma definida e destinada a atender funções específicas (bloco de concreto, folha da porta, etc) (CBIC, 2013).

**DEGRADAÇÃO:** Redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação (CBIC, 2013).

**DESEMPENHO:** Comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas (CBIC, 2013).

**DEFEITO:** irregularidade, imperfeição física, deformidade. (Mau funcionamento de um mecanismo), falha.

**ELEMENTO:** Parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (estrutura de cobertura, parede de alvenaria, etc) (CBIC, 2013).

**FALHA:** Ocorrência que prejudica a utilização do sistema ou do elemento, resultando em desempenho inferior ao requerido (CBIC, 2013).

**INOVAÇÃO TECNOLÓGICA:** Aperfeiçoamento tecnológico, resultante de atividades de pesquisa, aplicado ao processo de produção do edifício, objetivando a melhoria de desempenho, qualidade e custo do edifício ou do sistema.

**LIMITE DE LIQUIDEZ:** O limite de liquidez (LL) é o teor em água acima do qual o solo adquire o comportamento de um líquido, e é identificado pela Concha de Casagrande.

**PATOLOGIA:** Toda irregularidade, falha, defeito ou disfunção que se manifesta no produto em função de erros no projeto, na fabricação, na instalação, na execução, na montagem, no uso ou na manutenção, bem como problemas que não decorram do envelhecimento natural (CBIC, 2013).

**PLASTICIDADE:** Propriedade que um solo apresenta, em determinadas condições de umidade, de poder sofrer grandes deformações permanentes, sem sofrer ruptura, fissuramento ou apreciável variação de volume (NBR 6502/1995).

**SISTEMA:** Maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a atender uma macrofunção que o define (fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura) (CBIC, 2013).

**TENACIDADE:** Resistência à penetração dos instrumentos (GONZÁLES, 2006)

**TRADICIONAIS** - Processos baseados na produção artesanal, com uso intensivo de mão de obra, baixa mecanização (produção essencialmente manual), com elevados desperdícios de mão de obra, material e tempo, dispersão e subjetividade nas decisões, descontinuidade e fragmentação da obra (TARALLI, 1984 apud SABATTINI, 2007).

**MANUTENÇÃO:** Conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a sua capacidade funcional da edificação e seus sistemas constituintes a fim de atender às necessidades e segurança dos seus usuários (CBIC, 2013).

**PATOLOGIA** ou manifestação patológica, entende-se toda irregularidade que se manifesta no produto em função de falhas que não decorrem do seu envelhecimento natural (CBIC, 2013).

## ANEXO I

*Banos de La Encina*, é um castelo construído em taipa, no século X para uso militar que sofreu poucas mudanças ao longo do tempo, por isso é um dos castelos mais bem preservados do tempo dos Mouros (ELMESÓNDESPEAPERROS, 2015).



Fonte: Elmesóndespeaperros (2015).