



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

LEVANTAMENTO DE PARÂMETROS DE PROJETO DE FORMAS PARA TAIPA¹

BARRETO, Mylla B. F. (1); LOPES, Camila A. (2); YUBA, Andrea N. (3); LATOSINSKI, Karina T. (4)

(1) UFMS, e-mail: myllafrota@gmail.com; (2) UFMS, e-mail: camila-lobes@outlook.com;
(3) UFMS, e-mail: naguissa@gmail.com; (4) UFMS, e-mail: karina.latosinski@ufms.br

RESUMO

A execução de taipa, técnica construtiva para paredes maciças de terra, dispensa, pelo seu nível de acabamento, o uso de reboco ou tintas. Mas, assim como toda técnica que se baseia no uso de formas, é suscetível à ocorrência de patologias, como deformações ou imperfeições de superfície. Buscando aprimorar a qualidade das paredes e o sistema de formas, o estudo das patologias ocorridas em obras é oportuno para o desenvolvimento das premissas relacionadas à difusão desse sistema construtivo. Este trabalho objetiva levantar parâmetros de projeto para a elaboração de formas empregadas na construção em taipa a partir de evidências avaliadas em um estudo de caso. Analisou-se um protótipo, em taipa mecanizada, cujas paredes apresentaram, após a desforma, deformações visíveis a olho nu. Foram consideradas etapas do processo produtivo e foram examinadas as patologias existentes ao final da execução de tais paredes. As medições avaliaram o desvio de prumo e o material excedente utilizado, através de um método simples combinado com modelagem tridimensional. Foi calculado o excedente total de 7m³ de terra, o que representa um desperdício equivalente a uma parede. Logo, a sistematização das informações permitiu a elaboração de diretrizes relacionadas às formas visando minimizar patologias nas paredes de taipa e aprimorar os equipamentos necessários à execução do sistema construtivo.

Palavras-chave: Taipa. Forma. Patologia.

ABSTRACT

Rammed earth, a construction technique for massive walls, because of its high finishing level, does not need plasters or painting. But, like every other technique based on the use of formwork, it is susceptible to defects, like deformations or surface imperfections. Moreover, it is not good with corrections without any loss of aesthetic quality. Aiming to improve the quality of rammed earth walls and formwork, a research about these defects is appropriate to develop some principles towards dissemination of this building construction system. Thus, the present work aims to develop design parameters for rammed earth formwork, based on a case study. It analyzes a rural housing prototype with 105 m², built with a mechanized method. The walls had, after disassembly, deformations caused by the resistance lack of the formwork components. Thus, for the parameters, stages of production process were considered - materials and formwork conexions, easiness for assembling and disassembling it, ramming efforts - and also the data collected about the status of each wall. The deviations were measured and the material excesses were obtained, by the combination of simple tools and 3D modeling. It was calculated total surplus of about 7m³ of soil, which is equivalent to

¹ BARRETO, Mylla; AJIKI, Camila; YUBA, Andrea; LATOSINSKI, Karina. Levantamento de Parâmetros de Projetos de Formas para Taipa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

another wall. Therefore, the data allowed the development of guidelines to minimize defects and improve the equipment for the construction system.

Keywords: *Rammed earth. Formwork. Patology.*

1 INTRODUÇÃO

Dentre os métodos de construção com terra, a taipa apiloada (*rammed earth, pisé*) é uma técnica que, apesar da origem antiga, vem sendo incrementada tecnologicamente para passar da condição artesanal à racionalizada. Isso tem se dado pela introdução de outros materiais, que melhoram seu desempenho, aumento do conhecimento técnico e pela mecanização do seu processo produtivo, o que agrega mais produtividade e qualidade.

Ao contrário do que se poderia esperar em tempos de alta discussão da sustentabilidade, os exemplares de construções com terra são poucos, encontrados em nichos de produção muito peculiares, seja no Brasil ou em outros lugares. Tecnologias emergentes, tal como a taipa mecanizada, enfrentam barreiras de integração com os sistemas construtivos comercialmente estabelecidos e, dessa forma, é necessária a adaptação da cadeia produtiva para a inserção desse sistema construtivo. Essa foi uma discussão recorrente na I Conferência Internacional de Construções em Taipa realizada na Austrália (CIANCIO e BECKETT, 2015).

Apesar de poucos, os exemplares são suficientes para fomentar as elocubrações sobre a potencialização do material e da técnica para uso na construção civil. Isso já aconteceu na história brasileira, com os trabalhos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, da Universidade do Estado da Bahia (CEPED, 1984), mas que não evoluiu. Mais recentemente, foi desenvolvida a norma de blocos de solocimento, e em curso a de adobe. A difusão ocorre em pequena escala com eventos e ações de redes, como PROTERRA (iberoamericano) e TerraBrasil (brasileiro).

Um dos gargalos tratados pelo CEPED era a dificuldade de obter formas adequadas para a técnica. O Manual de Construção com Solo-cimento, do CEPED, cita a dificuldade de construção de paredes maciças mantendo o alinhamento e o prumo das formas. A atual mecanização da compactação agrega mais fatores a serem considerados no projeto das formas, o que, somado a falta de domínio da técnica e a falta de fornecedores nacionais aptos, perfaz uma grande lacuna para a difusão da técnica. A eficiência do sistema de formas é chave para a boa produtividade das paredes em taipa, mas ainda é frequente a adaptação de formas originalmente utilizadas em concreto para a construção com terra (WALKER, P. *et al*, 2005).

Características como leveza, compacidade, durabilidade, bom acabamento são esperados para o bom desempenho da forma. Assim como o que já foi ressaltado por NEVES e FARIA (2011) quanto à facilidade de montagem/desmontagem sem impactos à parede e também custo. Além disso, a forma para taipa deve ser resistente ao empuxo causado pela compactação e não obstruir as operações da produção de parede. Todos

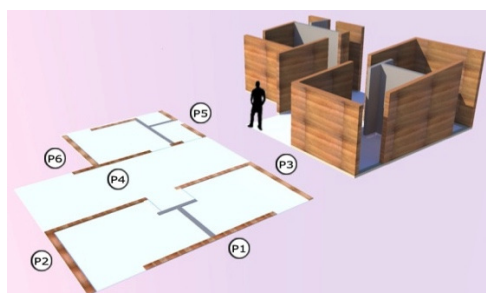
esses parâmetros constituem *inputs* para o projeto da forma, que precisam de sistematização.

Assim, este artigo sistematiza tais parâmetros, que deverão alimentar o processo de projeto de uma forma especificamente projetada para taipa. Para tanto, uma forma para taipa, foi adquirida, adaptada e utilizada para a produção de um protótipo. O processo de produção de paredes foi acompanhado e problemas foram detectados durante a construção (item 2) e após a desforma (item 3). A avaliação de desempenho da forma foi feita com base no produto (paredes) e não na forma, pelos ganhos de conhecimento proporcionados pelo uso e também pela falta de equipamentos específicos para verificação das formas. Os dados foram sistematizados e avaliados (item 4).

2 A FORMA E O PROTÓTIPO

O protótipo de habitação social, com 105 m², é composto por dois volumes, separados por uma varanda. Possui tanto paredes de taipa, quanto de alvenaria convencional (em locais onde há esquadrias, parede hidráulica e espaços exíguos). As seis paredes de taipa, enumeradas na Figura 1 e no Quadro 1, foram projetadas para terem 20cm de espessura e 4 delas com inclinação no topo, de 10%.

Figura 1 – Ordem de execução das paredes do protótipo de habitação



Fonte: Gomes (2015)

Quadro 1 – Medidas gerais das paredes do protótipo.

P1	P2	P3
Vol: 2,84 m3	Vol: 3,88 m3	Vol: 4,82 m3
P4	P5	P6
Vol: 2,69m3	Vol: 2,28m3	Vol: 4,15m3

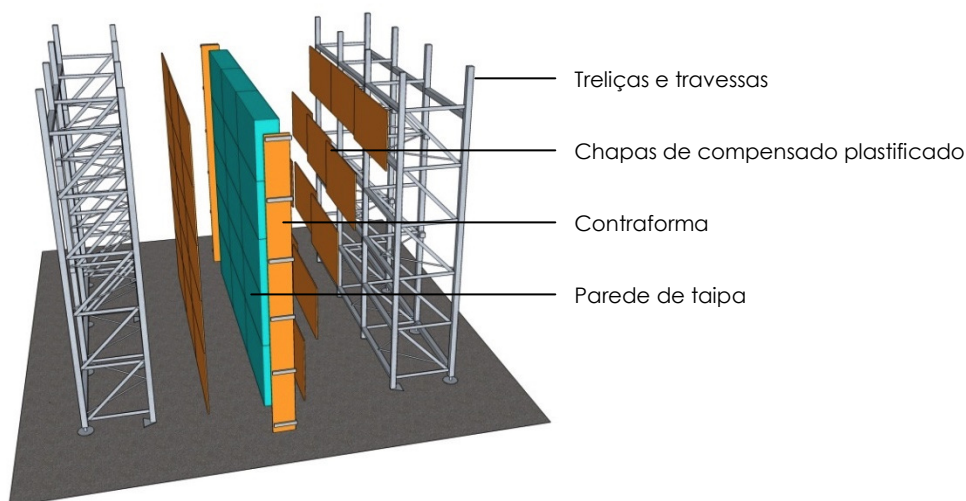
* linhas pontilhadas indicam as marcas das bordas das placas de compensado plastificado sobre a parede.

** em P2, P3 e P6, paredes em "L", as linhas vermelhas indicam a mudança de direção da parede.

Fonte: Os autores

As formas utilizadas, projetadas por HEISE e HOFFMANN (2005), são de estrutura treliçada de aço formada por perfis tipo Metalon e barras chatas (0,53 x 3,3 m), travessas e chapas de compensado plastificado (20mm). A estrutura treliçada tem nessa forma, o papel de substituir as agulhas (barras que transpassam a forma de um lado para outro, que atuam sob tração, durante a compactação), passando a atuar sob compressão. As barras horizontais são usadas como suporte para tábuas, para atuar como andaime, otimizando o espaço no canteiro de obras. A forma já havia sido utilizada em outras obras (com quantidade variável de usos em cada obra) e sofreu adaptações para se adequar à espessura de 20cm da parede e para a altura de 3,3m. Na base, a fixação da estrutura é feita com parafusos, diretamente no radier, conformando rigidez à estrutura. O prumo é ajustado por rosqueamento na extremidade das treliças metálicas (Figuras 2 e 3).

Figura 2 – Perspectiva explodida do conjunto de formas utilizado



Fonte: Os autores

Figura 3 – Formas utilizadas para a construção das paredes.



Fonte: Os autores

Cada metro quadrado de face de forma tem 14,13kg/m², correspondendo a 3 treliças (cada 3 treliças contemplam 2 módulos de 1,10m na largura e 6

módulos de 0,55m na altura), 14 travessas, 3 peças de topo. Módulos maiores que 0,60m² (0,55x1,10m) foram cogitados pelos operadores, mas esse apresentou-se vantajoso para a adaptação das dimensões originais de projeto.

O tempo de montagem da forma, na execução do protótipo, foi de ½ a 1 dia, com significativa dificuldade para aprumar e alinhar, dado que a forma já acumula deformações sofridas nas obras passadas. A compactação das paredes demandou de 1 a 2 dias e a desmontagem foi feita em pouco mais de meia hora.

O preparo das formas consiste em aplicação de uma camada de desmoldante nas chapas de compensado, antes de receber a mistura de terra. No caso, foi utilizado o óleo diesel.

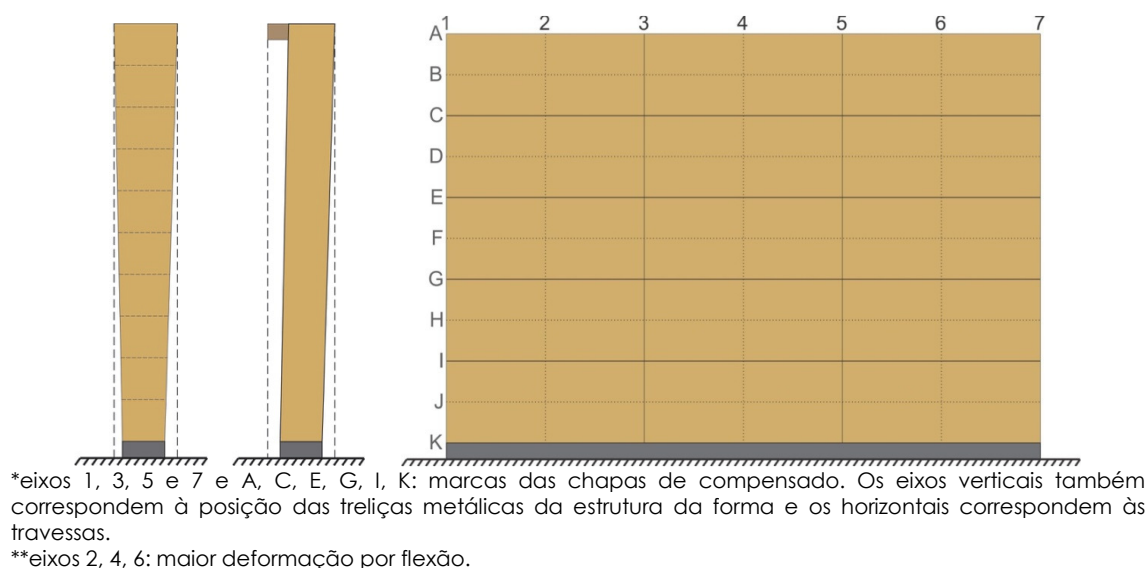
A compactação foi realizada com um compactador pneumático, sobre camadas de 20cm de mistura solta, até que a altura reduzisse a 50 – 55% (10 a 11cm). Cada módulo de placa de compensado em altura (0,55m) corresponde a 4 ou 5 camadas compactadas. E cada treliça corresponde a até 6 módulos desses (3,20m de altura útil), recebendo os golpes do compactador, de até 30 camadas.

Durante a execução das paredes, foram relatados rompimentos do travamento do topo da forma, que não puderam ser reparadas. Isso resultou em paredes mais largas no topo do que na base. Na base não houve deformação, dado o chumbamento com parafusos no radier.

3 MÉTODO DE MEDIÇÃO DAS PAREDES CONSTRUÍDAS

Após a desforma, eram visíveis a olho nu, deformações em ondulações verticais e horizontais. Cada parede foi medida (altura, espessura, largura, prumo), tendo como base as marcas nas paredes deixadas pelas placas de compensado (Figura 4).

Figura 4 – Perfil esquemático das paredes e eixos de medição.



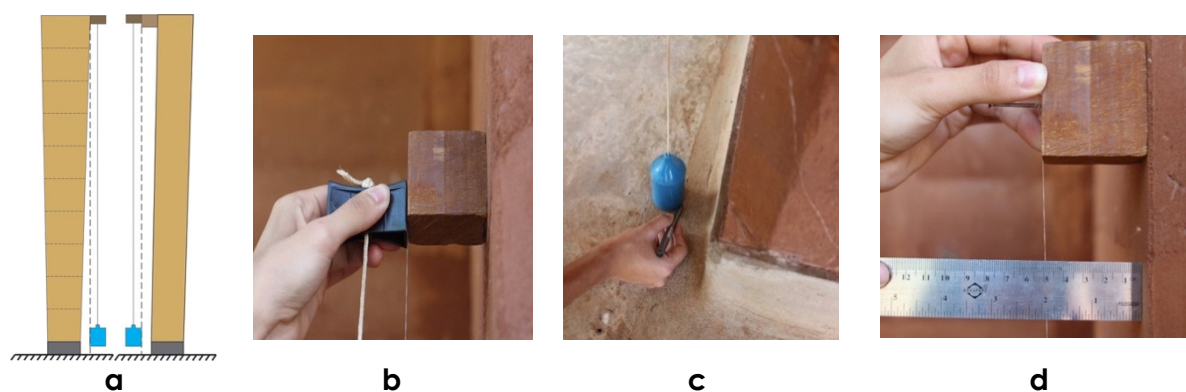
Fonte: Os autores

Tendo como princípio não comprometer a aparência, função ou durabilidade das paredes, foi elaborado um procedimento de medição dos defeitos sem causar danos.

Foi utilizado prumo de face posicionado nos eixos 1 a 7, identificados na Figura 4. As primeiras medições revelaram que as paredes são mais largas no topo do que na base e que há também paredes muito desalinhadas. Assim, uma peça auxiliar, um cubo de madeira com medida conhecida e posteriormente subtraída, foi empregada para viabilizar a medição (Figura 5a).

Após a colocação da peça auxiliar rente à parede, posicionou-se o prumo de face (Figura 5b) e no ponto onde o pêndulo apontou o prumo (Figura 5c) foi tensionada uma linha para balizar as medições. A partir dessa linha, foram medidas as distâncias até a parede de taipa (Figura 5d).

Figura 5 – Medição de desvios de prumo, sem e com peça auxiliar.



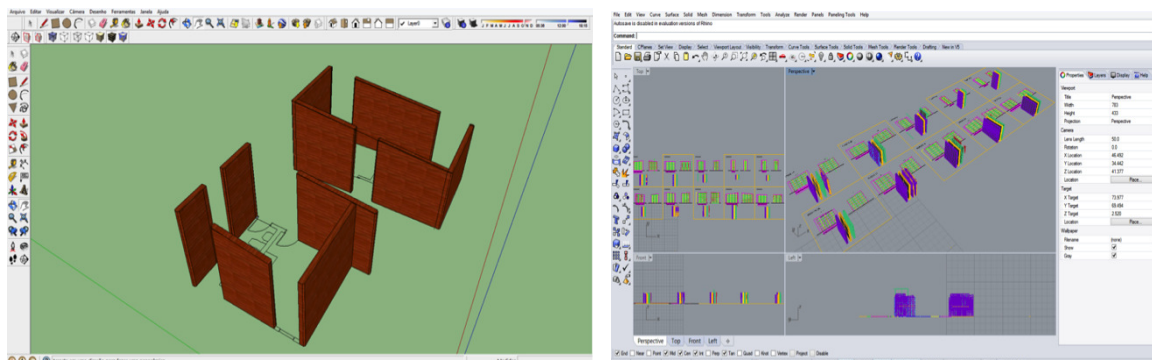
*linha tracejada: linha tracionada

Fonte: Os autores

Dessa maneira, a espessura da parede foi totalmente medida com régua apenas em seu topo. Ao longo do pé direito, a espessura foi obtida através dos valores encontrados com a medição do prumo nas duas faces de cada parede e transferidos para o desenho no *software* AutoCad. Tais medidas geraram 63 seções das paredes (1 corte a cada 55cm, por exemplo: corte no plano dos pontos 1A, 1B, 1C,....., 1K de uma face e 1A, 1B, 1C,....., 1K da face oposta).

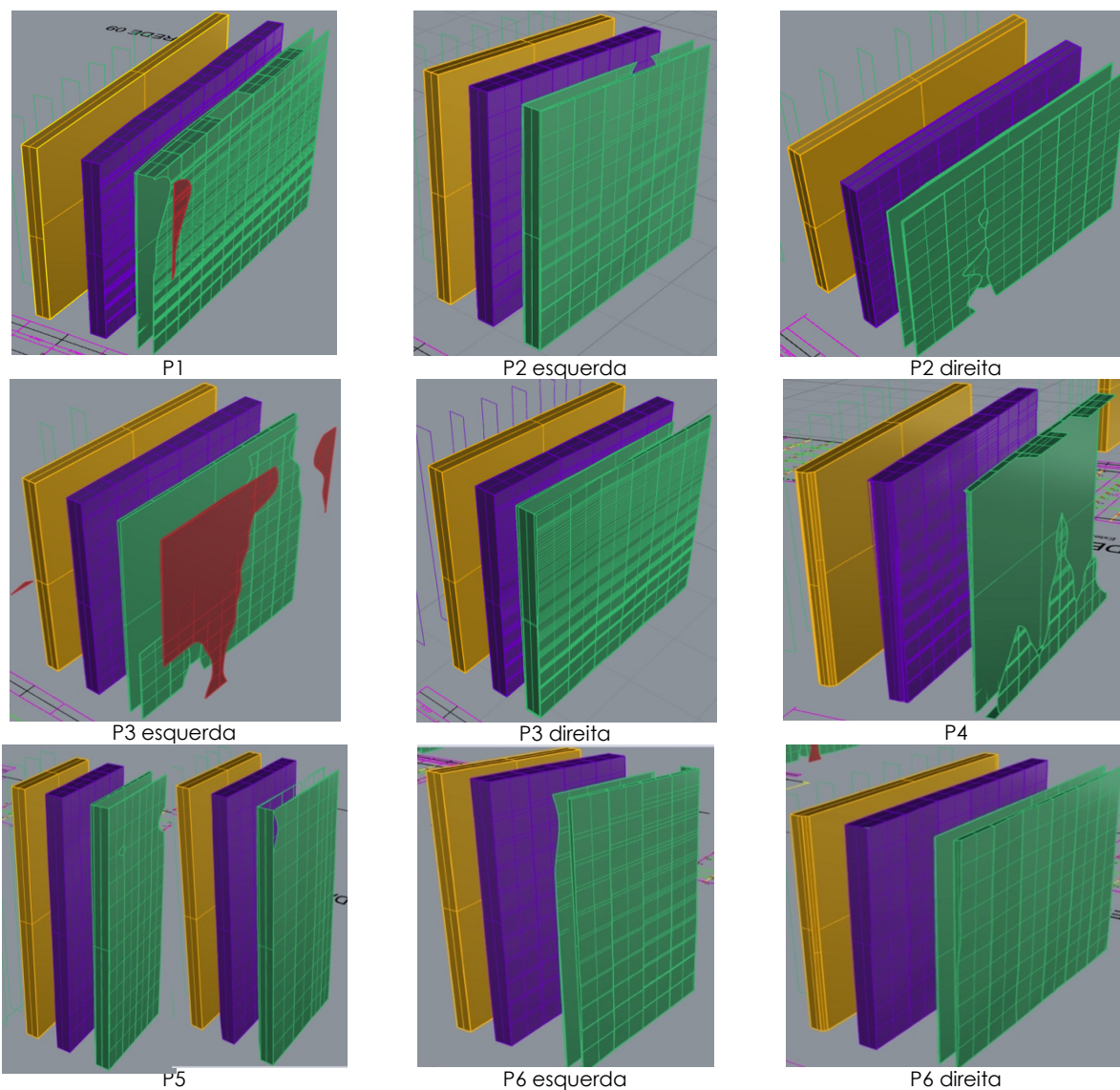
Para a obtenção da totalidade de material faltante/desperdiçado pela ocorrência desses defeitos, as medidas das 63 seções representadas em AutoCad (2D) foram modeladas em 3D com os *softwares* SketchUp 8® e Rhinoceros. Paredes hipoteticamente perfeitas foram também modeladas em SketchUp 8® para comparação e subtração de volumes entre os modelos da parede real e a fictícia (perfeitamente prumada com 20cm de espessura). O uso de 2 *softwares* de modelagem se deve ao nível de detalhamento que cada um possibilita, ao representar curvaturas (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Plataformas dos softwares SketchUp8® e Rhinoceros®, com modelagem das paredes fictícias e reais, respectivamente.



Fonte: Os autores

Figura 7 – Subtração entre as paredes na plataforma do programa Rhinoceros®.



roxo: modelo real; amarelo: modelo fictício; verde: volume desperdiçado; vermelho: volume deficitário

Fonte: Os autores

Todas as paredes tiveram o seu volume calculado em metros cúbicos, utilizando-se dos comandos de medição do próprio software Rhinoceros.

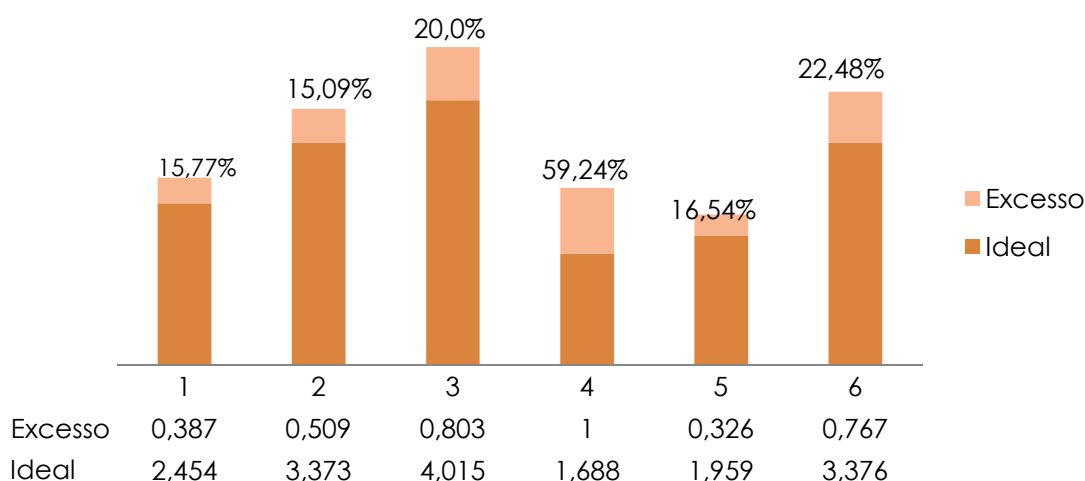
4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Quanto a medição

Através das medições e elaboração dos cortes identificou-se que os desvios de prumo mais expressivos são de 5cm, ou seja, um quarto da espessura da parede fora do seu eixo. Ainda, foi percebido que os abaulamentos das chapas de compensado das formas resultam em valores entre 0,8 e 1,5cm, na maior parte, podendo chegar a 2,45cm nos pontos de maior flexão.

O volume de material excedente totalizou 3,8m³, quase ¼ a mais do volume total utilizado na obra (Figura 8).

Figura 8 – Volume de material incorporado em cada parede.



Fonte: Os autores

Nas paredes 1 e 2, os desperdícios foram de aproximadamente 15% a mais do volume ideal e a parede 4 teve mais excessos do que as demais, correspondente a mais da metade do ideal. Cabe notar que as primeiras paredes tiveram acompanhamento dos projetistas da forma e sendo os percentuais maiores nas paredes 3 em diante, é possível inferir que há influência da inabilidade da mão de obra, para a montagem e conferência de prumo e alinhamento. Essas paredes também sofreram adaptações (encontro em L entre P4 e P6, uso de contraformas em P5) e tiveram rompimentos de placa de compensado (6) e de topo (4 e 6).

O volume total do desperdício é equivalente a uma parede com dimensões similares à P2. O volume de terra solta correspondente, considerando fator de compactação de 1,8, seria de 6,8m³, ou seja, mais de um caminhão a mais.

4.2 Quanto as diretrizes projeto para a proposição de formas

Tendo em vista que os resultados serão usados para melhorar a forma ou projetar uma nova, os dados obtidos permitiram tecer algumas considerações a respeito de:

- Leveza e compacidade: o peso de cada componente não ultrapassa 25kg, o que permite que seja carregada por uma pessoa apenas. O tamanho máximo dos componentes também não ultrapassa 3,3m e o espaço ocupado pela forma montada é de 1,2m (largura), habilitando-o para uso em espaços relativamente pequenos;
- Durabilidade: sendo em Metalon, a forma vem acumulando deformações ao longo das obras. À parte as deformações, tanto as peças metálicas quanto as chapas de compensado plastificado ainda apresentam bom estado de conservação, dado que o cimento presente na mistura não tem quantidade suficiente para aderir e danificar as chapas;
- Facilidade de montagem e desmontagem: a forma tem pequena diversidade de peças, o que facilita a identificação e o uso das peças corretas. Entretanto, dadas as deformações acumuladas da estrutura metálica, a montagem tomou mais tempo do que o usual. Sobre a hipótese de se adotar módulos maiores do que 0,6m², estima-se que, quanto maiores os componentes, menor será a tolerância para as interfaces com os demais subsistemas. A introdução de soluções de tolerância dimensional e sistemas de travamento condicionados ao autonivelamento e prumo podem ser consideradas no projeto;
- Acabamento da parede: houve deslocamentos das chapas, devido à vibração durante a compactação, resultando em desnivelamentos na superfície da parede. Isso ocorreu devido a folga entre chapas de compensado e entre estrutura e chapa, que, por sua vez, são decorrentes das deformações acumuladas na estrutura metálica. Nos pontos mais graves, ocorreu desagregação da parede pronta, pela falta de compactação. O desaprumo em paredes de taipa é de difícil correção e prejudica a colocação de esquadrias.
- Resistência da forma: as deformações das paredes têm as seguintes causas aparentes: a) a flexão das treliças e travessas, o rompimento dos topos das treliças e o abaulamento das chapas de compensado plastificado, quando submetidas ao empuxo da compactação; b) o deslocamento das chapas pela vibração da compactação. Isso evidencia a falta de resistência dos componentes e o cuidado necessário de considerar o empuxo da compactação no dimensionamento da forma.
- As ondulações superficiais, somadas aos problemas de rompimento dos topos da forma, apesar de aparentarem ter pouco impacto, totalizaram um desperdício de quase 7,0 m³ de terra;
- Grau de obstrução às operações da produção de parede: dada a concepção de projeto dessa forma, não há elementos internos à forma

(como agulhas) e também não há andaime, o que dá agilidade à produção e facilita a montagem em lugares estreitos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização do estudo possibilitou avaliar as condições das paredes de uma edificação recentemente construída em taipa apiloada e, conseqüentemente, das formas utilizadas para a execução. Através dos resultados obtidos puderam ser identificados 7 aspectos para o projeto de formas de taipa (leveza e compactidade; durabilidade; facilidade de montagem e desmontagem; acabamento da parede; resistência da forma; ondulações superficiais; grau de obstrução às operações da produção de parede), cujos inter-relacionamentos deverão ser considerados para obter-se um desempenho satisfatório das formas.

O mapeamento dos excessos, facilitado pela simulação computacional, evidencia além do próprio desperdício, os pontos mais frágeis da forma. Visualmente, os excessos são perceptíveis, no entanto não se sabia o real volume excedente. O uso desses softwares permitiu aumentar o nível de precisão de valores relacionados principalmente ao volume.

Foi constatado que o topo das treliças e os pontos intermediários das travessas precisam de reforço. E, do mesmo modo, o ponto intermediário das treliças, para que suportem a compactação sem sobrecarregar as ligações no topo. Seria desejável que isso fosse feito sem o acréscimo de elementos na parte interna da forma. Assim, indica-se aos projetos de formas para paredes em taipa que sejam realizados ensaios em pequenas paredes monitorando as ações atuantes durante a compactação da mistura nas formas e o empuxo provocado para que os moldes resistam ao efeito.

Logo, o estudo é oportuno para evidenciar e contabilizar os prejuízos causados por falhas no sistema de formas necessários para a construção em taipa apiloada. Assim, os dados apresentados podem ser balizadores para o desenvolvimento, adaptação ou criação de novas formas/sistemas que possam suportar adequadamente os esforços atuantes durante a compactação no processo construtivo. Conseqüentemente, os dados apresentados podem contribuir para o uso racional de terra e materiais de construção, bem como os custos com transporte associados.

AGRADECIMENTOS

Patrocinadores: FUNDECT, CNPq, UFMS, Taipal Construções em Terra, Construgreen, Neomatex, Votorantim Cimentos, Sermix, Batlab, Ecomáquinas, Quartozolit, SF Formas, Mineração Xerez, Cerâmica Volpini. Imagens: Maria Cláudia Bensimon Gomes.

REFERÊNCIAS

CEPED. Manual de construção com solo-cimento. São Paulo: CEPED, 1984. 3ª edição.

CIANCIO, D.; BECKETT, C.(EE). Rammed Earth Construction. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE CONSTRUÇÃO EM TAIPA, 1, 2015, Western/Austrália. Anais... Londres: University of Western Australia, 2015, 181p.

HEISE, A., HOFFMANN, M. V. Projeto de forma de taipa. 2005.

MILANI, A.; YUBA, A.; VERALDO, A.; PAZ, J.. Análise do Processo de Produção de Paredes Monolíticas de Solo Estabilizado a Partir do Uso de Mecanização. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014. Campo Grande-MS, 2014.

NEVES, C.; FARIA, O.. Técnicas de Construção com Terra. Baurú, São Paulo: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011.1ª Edição

NEVES, C.. O uso de solo-cimento em edificações. A experiência do CEPED. In: V Seminário Iberoamericano de Construcción con Tierra, 2006, Mendoza. Construir con tierra ayer y hoy. Mendoza: Inchiusa conicet cricyt, 2006.

NEVES, C.. Utilização do Solo-Cimento para Execução de Paredes Monolítica. In: Boletim PNUD/MDU, 3, PNUD/MDU, 1987.

WALKER, P. et al. Rammed Earth: Design and construction guidelines. Garston, Walford/Inglaterra: BRE Bookshop, 2005, 146p.