

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Priscila Giorgi

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO
VERTICAL DE BLOCO DE SOLO-CIMENTO CONFORME NBR 15575
REFERENTE À HABITABILIDADE E SUSTENTABILIDADE**

Santa Maria, RS
2016

Priscila Giorgi

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE
BLOCO DE SOLO-CIMENTO CONFORME NBR 15575 REFERENTE À
HABITABILIDADE E SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Giane de Campos Grigoletti

**Santa Maria, RS
2016**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Giorgi, Priscila

Avaliação de desempenho de sistema de vedação de bloco de solo-cimento conforme NBR 15575 referente à habitabilidade e sustentabilidade / Priscila Giorgi.- 2016.

98 p.; 30 cm

Orientadora: Giane de Campos Grigoletti

Coorientador: Rogério Catellan Antochaves de Lima

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2016

1. Solo-cimento 2. Avaliação de desempenho 3. Estanqueidade à água da chuva 4. Permeabilidade à água 5. Ação de Calor e Choque Térmico I. de Campos Grigoletti, Giane II. Catellan Antochaves de Lima, Rogério III. Título.

Priscila Giorgi

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE
BLOCO DE SOLO-CIMENTO CONFORME NBR 15575 REFERENTE À
HABITABILIDADE E SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao curso de mestrado do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 29 de julho de 2016:

Giane de Campos Grigoletti (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Rogério Catellan Antochaves de Lima (UFSM)
(Co-orientador)

Marcos Alberto Oss Vaghetti (UFSM)

Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)

Santa Maria, RS
2016

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos os que colaboraram para a realização desta pesquisa, àqueles que estiveram ao meu lado acompanhando os avanços e ajudando a ultrapassar os obstáculos.

Agradeço primeiramente ao Grande Espírito pela vida e pelos dons. Agradeço pela oportunidade de evoluir a cada dia e por cada despertar. Agradeço por todas as relações verdadeiras. Agradeço pelas dificuldades e pelos erros, que ensinam e lapidam o ser. Agradeço pelas batalhas vencidas.

Agradeço à minha Mãe, Denise, e a meu Pai, Aldo, por me gerarem e por me cuidarem com tanto amor. Agradeço à família de sangue pelo apoio e pela confiança.

Agradeço à minha escola e família Nação Tutumbaiê por ser esse sendeiro de luz no meu caminho. Agradeço a cada irmão pela amizade. Agradeço à cada olhar, a cada sorriso. Agradeço à cada oração.

Agradeço ao meu companheiro Dionei, por seu amor, por estar a meu lado e por acreditar, muitas vezes mais que eu, que esta conquista seria possível.

Agradeço à minha orientadora Giane e ao meu co-orientador Rogério, pelo apoio e por acreditarem nessa causa, nesse tema de pesquisa, que foi muito desafiador.

Agradeço à toda equipe do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) pela grande ajuda e pelo auxílio antes, durante e após os ensaios. Agradecimento especial ao bolsista Marcos Ribeiro e ao técnico Edgar Lucas. Agradeço também à Prof. Luciani Somensi Lorenzi por todos os ensinamentos.

Enfim, agradeço à Mãe Terra por tudo que nos dá e à todos que trabalham pela sua cura. Agradeço às belezas da criação que guiam e inspiram a busca por um mundo melhor.

Resgatar e amar um pedaço da Mãe Terra é muito mais profundo do que simplesmente criar sistemas para manter vivo o nosso corpo físico: é o resgate profundo da relação do homem com a Natureza, de substituir o tempo de relógio - nossa escravidão - por ritmos. Tempo de caju, tempo de manga. O levantar e pôr do sol. A lua minguando e crescendo... E percebemos que, de fato, precisamos de MUITO POUCO para sentir a felicidade; que a integração com a beleza natural é uma fonte de satisfação mais profunda e serena do que grandes conquistas no mundo urbano.

(Marsha Hanzi)

RESUMO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL DE BLOCO DE SOLO-CIMENTO CONFORME NBR 15575 REFERENTE À HABITABILIDADE E SUSTENTABILIDADE

AUTORA: Priscila Giorgi

ORIENTADORA: Giane de Campos Grigoletti

A Revolução Industrial gerou, durante o século XX, dois fenômenos paralelos: a maior distribuição de riqueza e a diminuição do custo de energia, causando um grande aumento no consumo energético. Com a crise internacional do petróleo, na década de 1970, os materiais utilizados, até então, como concreto, aço e vidro, passam a ser vistos como materiais de grande consumo energético. A sociedade começa a buscar edificações com menor impacto ambiental possível, que utilizem materiais que envolvam baixo consumo energético, baixa geração de resíduos e poluentes, baixa emissão de CO₂ na atmosfera e grande potencial de reincorporação na natureza. Diante desse cenário, a terra crua como material construtivo se torna uma alternativa para o desenvolvimento de edificações sustentáveis, como também, para a melhoria da habitabilidade das moradias da população de baixa renda existente no país. Das diversas técnicas de construção com a terra crua, o solo-cimento é um material curado sem queima, composto de terra crua prensada e estabilizada com cimento Portland, que já é normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possuindo muitas vantagens que vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras. Para melhor aceitação e comprovação da sua eficiência como material construtivo para habitações de interesse social, é necessário que se conheça suas propriedades e seu desempenho. Dessa forma, a presente pesquisa consistiu em avaliar o desempenho de um sistema de vedação vertical externo composto por blocos de solo-cimento sem função estrutural para habitações de interesse social térreas, seguindo determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013), focando nas exigências de Habitabilidade e Sustentabilidade. Como exigência de Habitabilidade analisou-se o fator Estanqueidade, com a realização dos ensaios de Estanqueidade à Água da Chuva e Permeabilidade à Água. E, como exigência de Sustentabilidade analisou-se os fatores Durabilidade e Manutenibilidade, com a realização do ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico. Primeiramente, através de ensaio de análise granulométrica, limite de liquidez e limite de plasticidade, foi caracterizado o solo do qual o bloco utilizado é composto. Os corpos-de-prova foram ensaiados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, e consistiram em duas paredes em escala real. O sistema atendeu aos limites estabelecidos pela norma nos ensaios de Estanqueidade à Água da Chuva e Ação de Calor e Choque Térmico, o que não ocorreu no ensaio de Permeabilidade à Água, no qual o sistema não atendeu às exigências. Através dos resultados dos ensaios verificou-se que o sistema de vedação vertical composto por blocos vazados de solo-cimento possui grande potencial para aplicação na construção, principalmente de habitações de interesse social, mas ainda há a necessidade de mais estudos sobre o sistema.

Palavras-chave: Solo-cimento. Avaliação de desempenho. Estanqueidade à água da chuva. Permeabilidade à água. Ação de Calor e Choque Térmico.

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF VERTICAL SEALING SYSTEM SOIL-CEMENT BLOCK IN ACCORDANCE WITH NBR 15575 FOR HABITABILITY AND SUSTAINABILITY

AUTHOR: Priscila Giorgi

ADVISOR: Giane de Campos Grigoletti

The Industrial Revolution generated two parallel phenomena during the twentieth century: increased distribution of wealth and reduced energy costs, causing a large increase in energy consumption. With the international oil crisis in the 1970s, materials used until that time such as concrete, steel and glass, began to be seen as energy-intensive materials. Society began to seek buildings with minimal environmental impact, using materials that generate a smaller amount of energy, waste and pollution and CO₂ emissions in the atmosphere and provide greater potential for reincorporation into nature. In this scenario, raw soil as a building material has become an alternative for the development of sustainable buildings, but also to improve the livability of housing for the low-income population in the country. Among various construction materials, raw soil-cement, which is cured without burning, is raw soil pressed and stabilized with Portland cement, which is already regulated by the Brazilian Technical Standards Association (ABNT) and possesses many advantages related to its manufacturing and use. To increase its acceptance and verify its efficiency as a building material for social housing, it is necessary to investigate its properties and performance. Thus, the present study aimed to evaluate the performance of an external vertical sealing system composed of soil-cement blocks without structural function for social housing, following determinations of NBR 15575 (2013), focusing on the requirements of Habitability and Sustainability. The habitability require the heat action and thermal shock test. Firstly, using the particle size analysis and liquid limit and plastic limit test, to characterize the composition of the ground on which the block was used. The bodies-of-proof were tested in The laboratory of Structural Models and Tests (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais—LEME), at the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, and consisted of two full scale walls. The system met limits set by standards for tightness against rainwater and heat action and thermal shock, but not for permeability to water. The vertical sealing system composed of hollow blocks of soil-cement has great potential for application in the construction of social housing, but there is still a need for more studies on the system.

Keywords: Soil-cement. Performance evaluation. Tightness to rain water. Permeability to water. Heat Action and Thermal Shock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de distribuição da construção em terra no mundo -----	18
Figura 2 – a) Cidadela de Arg-e Bam, no Irã -----	19
b) Vale do Draa, no Marrocos -----	19
Figura 3 – a) Cidade de Shibam, no Yêmen -----	19
b) Casas Hakka, na China -----	19
Figura 4 – Jardim de infância, na Alemanha, projeto de Gernot Minke -----	21
Figura 5 – a) Edificações no bairro Domaine de la Terre, França -----	22
b) Edificação no bairro Domaine de la Terre, França -----	22
Figura 6 – a) Montezuma Castle -----	22
b) Povoado de Taos, no Novo México -----	22
Figura 7 – Igreja Matriz de Pirenópolis, em Goiás -----	24
Figura 8 – Curva de distribuição granulométrica -----	27
Figura 9 – Ciclo natural da construção em terra, mostrando os horizontes -----	28
Figura 10 – Resultados de ensaio de compactação para 3 tipos de solo -----	30
Figura 11 – Ilustração ensaio de sedimentação -----	32
Figura 12 – Ensaio da resistência seca -----	33
Figura 13 – Molde e equipamento de compactação do ensaio Proctor -----	35
Figura 14 – Diagrama das técnicas construtivas com terra -----	38
Figura 15 – Paredes de tabique -----	39
Figura 16 – Execução de parede em taipa de pilão -----	40
Figura 17 – Execução de parede de terra empilhada (<i>cob</i>) -----	41
Figura 18 – a) Prensa manual CINVA-RAM -----	42
b) Prensa Manual ABCP -----	42
Figura 19 – Etapas do processo de fabricação de blocos de solo-cimento -----	43
Figura 20 – Bloco Mattone -----	48
Figura 21 – Aplicação do bloco Mattone em casas populares -----	49
Figura 22 – a e b) Bloco vazado de solo-cimento em estudo -----	62
Figura 23 – Imagem ilustrativa do multiprocessador e prensa hidráulica -----	64
Figura 24 – Vista esquemática da construção do corpo-de-prova -----	66
Figura 25 – Corte esquemático da construção do corpo-de-prova -----	66
Figura 26 – a) Ferros soldados em uma base metálica de perfil “C” -----	67
b) Início do assentamento dos blocos -----	67
Figura 27 – a) Aplicação da massa para assentamento -----	68
b) Última fiada com blocos do tipo canaleta -----	68
Figura 28 – a) Execução do graute a 0,98 m de parede -----	68
b) Graute pronto -----	68
Figura 29 – a e b) Rejuntamento dos corpos-de-prova -----	69
Figura 30 – a e b) Método de fixação do corpo-de-prova -----	70
Figura 31 – Corpo-de-prova pronto -----	71
Figura 32 – a e b) Fotos do encaixe da câmara na parede -----	72
Figura 33 – a e b) Equipamento usado para aquecimento e resfriamento -----	74
Figura 34 – a) Termopar -----	75
b) <i>Field logger</i> -----	75
c) Controlador -----	75
Figura 35 – a) Distribuição dos termopares conforme a NBR 15575 -----	76
b) Termopares fixados no corpo-de-prova -----	76
Figura 36 – Exemplo do monitoramento das temperaturas no computador -----	77

Figura 37 – a) Parede A - Análise visual da face interna após o primeiro ensaio de estanqueidade (EE1A) -----	79
b) Parede A - Análise visual da face interna após o segundo ensaio de estanqueidade (EE1A) -----	79
Figura 38 – a) Parede B - Análise visual da face interna após o primeiro ensaio de estanqueidade (EE1B) -----	80
b) Parede B - Análise visual da face interna após o segundo ensaio de estanqueidade (EE1B) -----	80
Figura 39 – Representação esquemática dos 6 primeiros ciclos da Parede A -----	86
Figura 40 – Representação esquemática dos 6 primeiros ciclos da Parede B -----	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação granulométrica dos constituintes do solo -----	26
Tabela 2 – Classificação dos solos em função dos índices de plasticidade -----	29
Tabela 3 – Avaliação do ensaio de retenção de água -----	34
Tabela 4 – Massa volúmica seca após compactação -----	36
Tabela 5 – Limites de consistência na construção em terra -----	36
Tabela 6 – Classificação da plasticidade de um solo -----	36
Tabela 7 – Normas relativas ao solo-cimento -----	44
Tabela 8 - Características do solo para fabricação de solo-cimento -----	45
Tabela 9 – Produtividade das prensas -----	46
Tabela 10 – Parâmetros da NBR 15575-4 adotados para avaliação -----	61
Tabela 11 – Análise do solo e requisitos da NBR 10833 (ABNT, 2013) -----	63
Tabela 12 – Organização dos corpos-de-prova -----	67
Tabela 13 - Estanqueidade à água de vedações verticais externas -----	78
Tabela 14 – Análise do ensaio de estanqueidade à água -----	80
Tabela 15 – Análise do ensaio de permeabilidade -----	82
Tabela 16 – Deslocamentos horizontais da Parede A -----	83
Tabela 17 – Deslocamentos horizontais da Parede B -----	84
Tabela 18 – Tempo de aquecimento e resfriamento da Parede A -----	84
Tabela 19 – Tempo de aquecimento e resfriamento da Parede B -----	85
Tabela 20 – Síntese dos resultados -----	88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 CONSTRUÇÕES EM TERRA NO MUNDO	17
2.2 CONSTRUÇÕES EM TERRA NO BRASIL	23
2.3 A TERRA ENQUANTO MATERIAL CONSTRUTIVO	25
2.3.1 Composição	26
2.3.2 Propriedades	28
2.3.2.1 <i>Plasticidade</i>	28
2.3.2.2 <i>Retração</i>	29
2.3.2.3 <i>Umidade e Compactação</i>	30
2.3.3 Testes de Solo	31
2.5.3.1 <i>Ensaio de Campo</i>	31
2.5.3.2 <i>Ensaio de Laboratório</i>	34
2.3.4 Seleção e Estabilização	35
2.3.5 Técnicas Construtivas	38
2.4 SOLO-CIMENTO	41
2.4.1 Vantagens	47
2.4.2 Estudos já realizados	48
2.5 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	52
2.6 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES	54
2.3.3 Estudos de desempenho de edificações	57
2.6.1.1 <i>Estudos de desempenho em edificação de solo-cimento</i>	58
3 MÉTODO	60
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SVVE	61
3.1.1 Componentes	61
3.1.1.1 <i>Bloco vazado de solo-cimento</i>	61
3.1.1.2 <i>Argamassa de assentamento</i>	64
3.1.1.3 <i>Armadura simples</i>	64
3.1.1.4 <i>Graute</i>	65
3.1.1.5 <i>Rejunte</i>	65
3.1.1.6 <i>Resina impermeabilizante</i>	65
3.1.2 Elemento	65
3.2 CONSTRUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA	66
3.3 DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS	69
3.3.1 Habitabilidade	69
3.1.1 <i>Estanqueidade à água da chuva</i>	70
3.3.1.2 <i>Permeabilidade à água</i>	71
3.3.2 Sustentabilidade	73
3.3.2.1 <i>Ação de Calor e Choque Térmico</i>	73
3.3.2.1.1 <i>Aparelhagem</i>	73
3.3.2.1.2 <i>Preparação do Ensaio</i>	75
3.3.2.1.3 <i>Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico</i>	76
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	78
4.1 HABITABILIDADE: ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA DA CHUVA	78

4.2 HABITABILIDADE: ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA -----	81
4.3 SUSTENTABILIDADE: ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO -----	82
4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS -----	88
5 CONCLUSÕES -----	89
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS -----	91
REFERÊNCIAS -----	92

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial gerou, durante o século XX, dois fenômenos paralelos: a maior distribuição de riqueza e a diminuição do custo de energia, causando um grande aumento no consumo energético. A partir desse advento, os edifícios tornaram-se os principais consumidores de energia em nível mundial, não só na sua utilização, mas também nos processos de execução e na fabricação dos materiais construtivos. (LOURENÇO, 2005).

Conforme afirmam Torgal e Jalali (2009), a indústria da construção civil, no mundo, consome aproximadamente 3.000 Mt (megatoneladas) por ano dos recursos naturais, ou seja, mais que qualquer outra atividade econômica. Os impactos ambientais decorrentes dessa atividade continuam através da energia gasta em transporte de materiais, da energia gasta no uso das edificações e na produção de resíduos (de obra, de demolições e lixo doméstico). A utilização em massa dos produtos dessa indústria contribui para acelerar a degradação da natureza.

Com a crise internacional do petróleo, na década de 1970, os materiais utilizados, até então, em larga escala (concreto, aço e vidro), passam a ser vistos como materiais de grande consumo energético. A sociedade começa a buscar edificações com menor impacto ambiental possível, integradas ao lugar e com aspectos adequados ao conforto humano.

Uma tomada de consciência em relação à construção sustentável parece estar emergindo, mesmo que muitas vezes silenciada pela produção industrial. É crescente a discussão sobre a sustentabilidade na arquitetura em diversos locais do mundo, pelo fato da construção civil ser uma das atividades mais impactantes para o meio ambiente. No entanto, poucas são as ações e grande parte delas é pontual e inexpressiva, não sendo ainda organizada uma política estratégica adequada. (LOURENÇO, 2005).

Segundo Melo et al. (2011),

No campo da Engenharia, sabe-se que o consumo energético para a fabricação de materiais de construção industrializados é muito alto. A fabricação de cimento Portland exige temperaturas de 1.450°C, e os tijolos cerâmicos, por volta de 900-1.000°C. Assim, alternativas que contemplem também o uso de materiais naturais passa a ser uma necessidade real. Na construção civil, entre os materiais que podem ser um exemplo, destaca-se a

terra. O fato é que, desde os primórdios da humanidade, com ela foram feitas construções das mais diversas formas, de simples casas até grandes palácios. (MELO et al., 2011, p.112).

Em relação a este uso histórico, Walker (2003 apud GONÇALVES, 2005, p.1) afirma que “a tradição milenar da terra é agora revivida quando problemas ambientais ameaçam o futuro da humanidade no Planeta”. Como exemplo dessa situação, temos a indústria de tijolos e telhas cerâmicas no Nordeste brasileiro, que utiliza a vegetação local como combustível para queima destes produtos, contribuindo para agravar o processo de desertificação. (WALKER, 2003 apud GONÇALVES, 2005).

A fabricação de tijolos cerâmicos, apesar de ser uma técnica já consolidada e que envolve pouca complexidade no seu processo de produção, causa grandes impactos ambientais, desde a fase da exploração das jazidas de argila até as fases de preparo da massa, moldagem dos blocos e queima. Além disso, “o alto consumo de energia durante a queima (sinterização), torna o custo deste material pouco acessível ao consumidor de baixa renda” (BOUTH, 2005, p.2).

Portanto, diante desse cenário, onde a construção civil está ameaçando a qualidade de vida atual e das gerações futuras, o uso de materiais que envolvam baixo consumo energético, baixa geração de resíduos e poluentes, baixa emissão de CO₂ na atmosfera e grande potencial de reincorporação na natureza, devem ser incorporados nesse setor. Com isso, a terra crua como material construtivo se torna uma alternativa para o desenvolvimento de edificações sustentáveis. Entretanto, a falta de informações costuma gerar preconceitos, tanto por parte da população quanto por parte dos profissionais da área em relação a este tipo de *bioconstrução*¹.

Os autores Barbosa, Mattone e Mesbah (2002) afirmam que

No Brasil, grande parte da construção com terra ainda existente é um exemplo de tecnologia perdida. Antigamente construções dos senhores de engenho eram feitas de terra e apresentavam excelente aspecto e desempenho. Hoje, o material foi relegado à condição de “material de pobre”, porque dele não se faz o uso correto, resultando em produtos de má

¹ Tem como princípios o “uso de materiais locais, resgate de sabedoria popular, baixo impacto ambiental, tecnologia adequada à região, otimização de energia e de recursos naturais...” (BAYER, 2010, p.61)

qualidade e de péssimo aspecto estético. (BARBOSA; MATTONE; MESBAH, 2002, p. 3).

A uso da terra com tecnologia adequada pode desenvolver um papel fundamental para a melhoria da habitabilidade das moradias da população de baixa renda existente no país. Segundo Gonçalves (2005), o uso de tijolos de adobe, é uma das técnicas mais econômicas utilizada em algumas culturas ancestrais, como dos povos babilônicos, egípcios e persas. Foi introduzida no Brasil pelos portugueses e abandonada pelas classes dominantes com o surgimento dos materiais industrializados. (GONÇALVES, 2005; MELO et al., 2011).

Por isso, incentivar a utilização de materiais locais não convencionais, aliados a tecnologias já conhecidas, com técnicas adequadas, viabiliza a construção de habitações de interesse social. Nesse contexto, o solo-cimento, material composto de terra crua prensada e estabilizada com cimento Portland, curado sem queima, se torna um material de grande potencial construtivo para moradias populares.

O solo-cimento é um material já normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), possuindo muitas vantagens que vão desde a fabricação até sua utilização no canteiro de obras. Proporciona redução no consumo de energia, principalmente por dispensar o processo de queima; redução da necessidade de transporte do produto, pois a terra local pode ser utilizada; e redução de resíduos na obra. Além disso, em geral, os equipamentos utilizados na sua produção são simples, não necessitando de mão-de-obra qualificada, e de baixo custo, possibilitando a produção no próprio local. (MELO et al., 2011).

Hoje, tem-se grande número de estudos do desempenho de sistemas de alvenarias convencionais, como tijolos cozidos ou blocos de concreto, mas, no caso dos blocos de solo-cimento, ainda há a necessidade do desenvolvimento de ensaios laboratoriais para melhor aceitação e comprovação da sua eficiência como material construtivo para habitações de interesse social. É necessário que se conheça suas propriedades e, principalmente, seu desempenho à estanqueidade da água da chuva e à ação da variação de temperaturas, pois o principal preconceito em relação às construções em terra, é que esse material irá se degradar com a ação desses condicionantes.

Dessa forma, o presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o desempenho de um sistema construtivo composto por blocos de solo-cimento sem

função estrutural para habitações de interesse social térreas, seguindo determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013), focando nas exigências de Habitabilidade e Sustentabilidade. Através disso, pretende-se contribuir para o estudo de uma alternativa sustentável e de baixo custo para moradias populares e também para o aperfeiçoamento da técnica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho do sistema de vedação vertical externo (SVVE) sem função estrutural composto por blocos vazados de solo-cimento para uso em habitações de interesse social térreas, através das exigências de Habitabilidade e Sustentabilidade, especificadas na NBR 15575 (ABNT, 2013).

1.1.2 Objetivos específicos

- Submeter o SVVE à uma vazão de água por tempo determinado, a fim de avaliar sua estanqueidade à água da chuva, seguindo determinação do Anexo C da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).
- Submeter o SVVE à ciclos sucessivos de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de jatos de água, a fim de avaliar seu comportamento perante à ação de calor e choque térmico, seguindo determinações do Anexo E da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).
- Submeter o SVVE à presença de água, com pressão constante, a fim de avaliar sua permeabilidade à água, seguindo determinações do Anexo D da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).
- Contribuir no estudo de uma alternativa sustentável e de baixo custo para habitações de interesse social.
- Contribuir para o aperfeiçoamento da técnica, através das análises dos ensaios.

- Gerar uma base de dados experimentais que possam ser úteis na definição de critérios normativos.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado encontra-se subdividida em cinco sessões: Introdução, Revisão Bibliográfica, Metodologia, Análise dos Resultados e Conclusões.

Na Introdução, fez-se a apresentação do tema a ser desenvolvido, abordando sua importância, as justificativas para a realização desta pesquisa e os objetivos a serem alcançados.

Na Revisão Bibliográfica, abordam-se questões como os materiais construtivos e seus impactos, habitação de interesse social, a terra crua enquanto material construtivo, a técnica do solo-cimento e os estudos já realizados sobre o tema, e por fim, o desempenho de materiais.

No Método apresenta-se o procedimento metodológico aplicado ao estudo para fins da realização do mesmo. Aborda tópicos como caracterização do material de estudo, montagem dos corpos-de-prova e realização dos ensaios.

Na quarta sessão, Análise dos Resultados, são apresentadas as análises dos ensaios realizados, mediante a interpretação de tabelas e imagens.

Na quinta sessão, Conclusões, são apresentadas as considerações finais sobre o estudo, retomando todos os processos, bem como recomendações para a melhoria do produto analisado.

Por último, são apresentadas as referências bibliográficas que embasaram esta dissertação de mestrado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSTRUÇÕES EM TERRA NO MUNDO

Desde os primórdios da humanidade, ou seja, milhares de anos antes de Cristo, a terra é utilizada como material de construção. Primeiramente os abrigos eram propiciados pela Natureza, mas com o aparecimento da agricultura e das primeiras sociedades agrícolas, o homem sentiu a necessidade de definir seu espaço e erguer seu próprio abrigo. Com a terra, o homem cultivava seu alimento, demarcava seu território e construía sua morada.

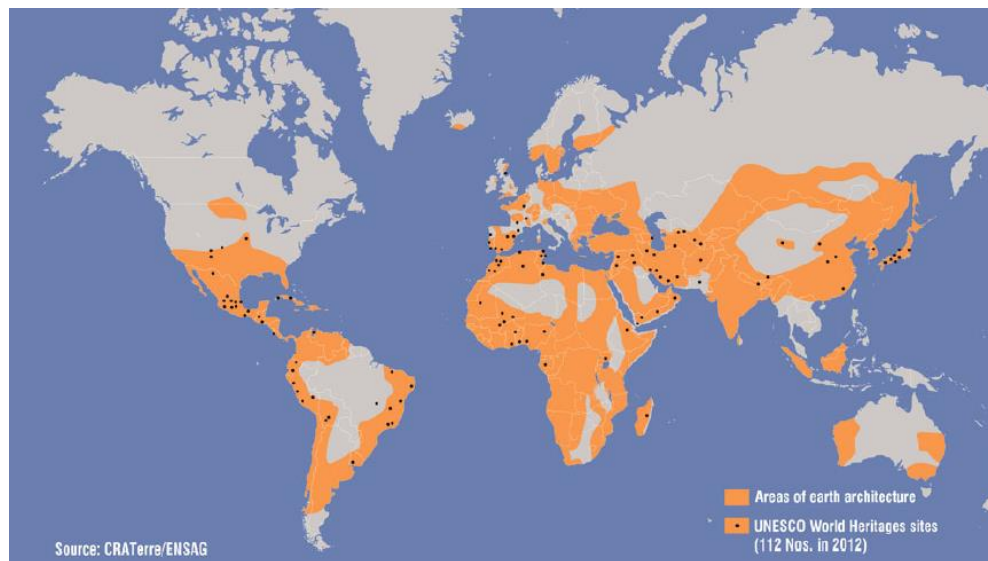
Desde que o Homem, abandonando o caos dos caminhos da migração, começou a fixar-se nos melhores locais, alinhando as primeiras cercas e erguendo os primeiros abrigos, foi certamente a terra, a terra mãe que fazia germinar as sementes do pão, um dos primeiros materiais que também aprendeu a amassar e moldar para construir. (TORRES, 2005 apud PONTE, 2012, p.13).

Através do contato entre os distintos povos, a construção em terra foi se expandindo e se aperfeiçoando. A arquitetura de terra pode ser encontrada nas mais diversas tipologias (fortes, palácios, igrejas, templos e habitações) e nas mais diversas técnicas de execução, devido às questões culturais e também ao fato de ser altamente durável, com exemplares na pré-história até os dias atuais. Nesse contexto, “a diversidade de edificações históricas observadas mundialmente e, ainda hoje bem conservadas, reflete a possibilidade de resgate das devidas tipologias” (BAYER 2010, p.28).

Segundo Minke (2005), na atualidade, independente do clima a que estão sujeitos, um terço da população mundial vive em edificações de terra e, em países em via de desenvolvimento, isso representa mais da metade.

Pode-se perceber através do mapa da distribuição geográfica das construções em terra (Figura 1), que o homem tem se adaptado a diversas situações geográficas, possuindo a capacidade de encontrar soluções frente aos condicionantes locais. Assim, hoje, “a terra regressa à construção, independentemente do local, e com metodologias particulares características da própria evolução da sociedade” (PONTE, 2012, p .15).

Figura 1 – Mapa de distribuição da construção em terra no mundo



Fonte: (PONTE, 2012).

Segundo Minke (2005), as técnicas de construção com barro datam de mais de 9.000 anos, e é no Oriente Médio que surgem as primeiras obras arquitetônicas erguidas em terra crua, e depois, expandem-se para o resto do globo. Na Turquia, foram descobertas habitações em terra do período de 8.000-6.000 a.C., no Irã, a cidadela de Arg-e Bam (Figura 2a) tem construções de 2.500 anos e no Marrocos, no Vale de Draa (Figura 2b), cidades fortificadas foram erguidas no século XVIII. Todas as culturas da Antiguidade utilizaram a terra não apenas na construção de habitações, mas também em fortes e obras religiosas.

Cidades inteiras são edificadas em terra crua, e algumas delas perduram até os dias atuais. Ponte (2012) exemplifica que:

[...] a cidade de Jericó na Cisjordânia com cerca de 8000 anos a.C., totalmente construída com adobe; Çatal Huyuk datada de 8000 a.C. na Turquia também em tijolos secos ao sol, tal como Zigurates na Mesopotâmia com 6000 a.C.; A muralha da China com mais de 5000 anos apresenta bastantes troços construídos em terra compactada, alguns dele posteriormente revestidos a pedra; o Templo de Hoyuji no Japão construído há 1300 anos atrás. Estes constituem apenas uma ínfima parte do patrimônio histórico erguido com terra. (PONTE, 2012, p.13).

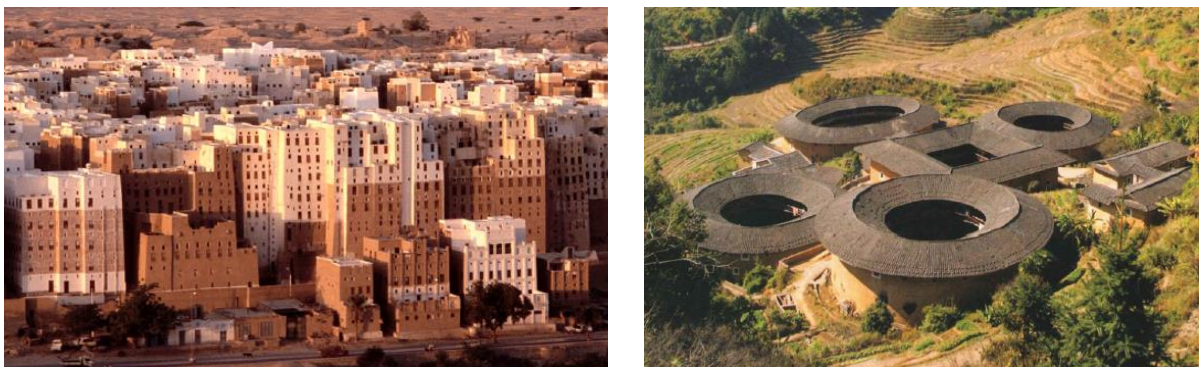
Figura 2 – a) Cidadela de Arg-e Bam, no Irã b) Vale do Draa, no Marrocos



Fonte: (GUERREIRO, 2009).

Também como exemplares existentes até hoje, tem-se a cidade de Shibam, no Yêmen (Figura 3a), e as casas Hakka na China (Figura 3b). A primeira, com mais de 2.000 anos, patrimônio cultural da UNESCO, construída em tijolos de adobe secos ao sol, possuindo edifícios de 5 a 11 andares, com paredes que se estreitam gradualmente na medida em que aumenta a altura para melhora da estabilidade. As segundas, do século XII ao XX, são edifícios de terra compactada, de paredes espessas, com poucas aberturas e com forma de círculos, lembrando fortes. Abrigam uma população entre 400 a 800 pessoas, integrados na paisagem e sendo capazes de prover habitabilidade e autossuficiência dos moradores. (TORRAL; JALALI, 2009; PONTE, 2012).

Figura 3 – a) Cidade de Shibam, no Yêmen b) Casas Hakka, na China



Fonte: (PONTE, 2012).

No Egito, as abóbadas do Templo de Ramsés II foram construídas com tijolos de adobe e datam de mais de 3.000 anos. Sobre o início das formas arquitetônicas em terra, Guerreiro (2009) afirma que foi:

[...] provavelmente, nas planícies da Mesopotâmia e do Nilo que, de forma geral, nasceram e se hierarquizaram as primeiras e prestigiadas formas e técnicas arquitetônicas de terra... Já na Antiguidade, o barro material foi amplamente utilizado na Mesopotâmia e no Egito dos faraós. O edifício mais antigo de barro ainda pode ser visto no Egito, em Gourná, que foi construído por volta de 1300 A.C.: as abóbadas do templo de Ramsés II. (GUERREIRO, 2009, p. 14).

Na Alemanha, encontra-se o exemplo mais antigo de paredes de tijolos de adobe no norte da Europa, o Fort Heuneburg datando do século VI a.C. No mesmo país, em Weilburg, está erigida, com sete pavimentos, a casa mais alta com paredes de barro maciço, construída em 1828 e ainda habitada. Foi lá também que se estabeleceram as primeiras normas de construção em terra, em 1951, após a 2ª Guerra Mundial. (GUERREIRO, 2009; BAYER, 2010).

Também, a Alemanha dispõe de vasta bibliografia sobre o assunto, tanto na pesquisa como no aprimoramento da terra crua como material construtivo no país. A Universidade de Kassel, com seu Laboratório de Construções Experimentais, juntamente com o engenheiro e professor na instituição Gernot Minke, vem contribuindo para o desenvolvimento dessa solução construtiva não só na Europa, mas também em outros países. Como exemplo desse desenvolvimento, há o projeto de um jardim de infância (Figura 4), de 1997, em Sorsum, na Alemanha, executado com blocos de terra, possuindo um vão livre de 10 metros. (BAYER, 2010).

Na Península Ibérica, o povo muçulmano foi o que mais contribuiu para a difusão e aperfeiçoamento das técnicas de construção em terra. Em Portugal, a partir do século X, foram edificadas estruturas defensivas em taipa, como os fortes de Alcácer do Sal, Juromenha, Paderne, Moura e Silves. Como patrimônio da UNESCO, encontram-se os centros de Évora, Porto, Guimarães e Angra do Heroísmo. No território português até hoje encontram-se exemplares de edificações em terra, tanto pelo patrimônio edificado, como pela sua influência nas construções contemporâneas. Atualmente, observam-se construções em terra na arquitetura contemporânea do

país, principalmente nos projetos de Henrique Schreck, Graça Jalles, Alexandre Bastos e Teresa Beirão. (GUERREIRO, 2009; BAYER, 2010).

Figura 4 – Jardim de infância, na Alemanha, projeto de Gernot Minke



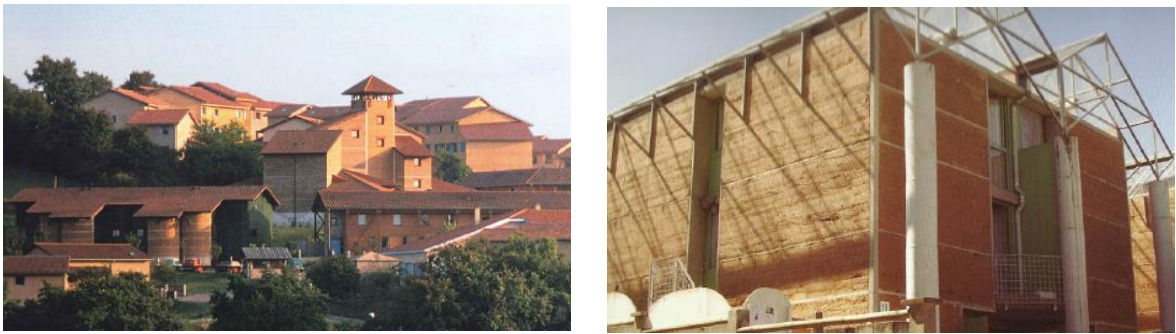
Fonte: (BAYER, 2010).

Na Espanha, a terra foi utilizada em toda a costa do Mediterrâneo e nas regiões de Estremadura, Castela, Aragão, Múrcia e outras, através das técnicas de adobe, taipa de pilão e pau-a-pique, tanto em edificações residenciais de classe baixa quanto alta. Conforme afirma Bayer (2010, p. 30) “em Valência, era bastante comum o revestimento da taipa com alvenaria de tijolo maciço, originando um sistema extremamente resistente”. Em Granada, as cidades de Córdoba, Alhambra, Generalife e Albaicin são declaradas patrimônio cultural da humanidade pela UNESCO. (BAYER, 2010).

Na França, ao redor da cidade de Lyon, ainda existem edificações habitadas com mais de 300 anos. Estas construídas com a técnica de taipa de pilão, conhecida como *terre pise*, que se desenvolveu do século XV ao XIX. A partir de 1790, foram publicados diversos trabalhos e textos sobre a taipa de pilão, por François Cointeraux, responsável pela expansão e difusão da técnica na França. (LOURENÇO, 2005).

Em 1979, foi fundado o grupo CRATerre, com sede em Grenoble, um centro de pesquisa existente até os dias atuais, que contribui para o desenvolvimento da arquitetura em terra no mundo. Também apoia a construção de novos projetos, como o Domaine de la Terre (Figura 5a e b), de Jean Dethier, em Isle d’Abeau, um bairro experimental de habitação social, inaugurado em 1985. (LOURENÇO, 2005).

Figura 5 – a e b) Edificações no bairro Domaine de la Terre, França



Fonte: (PONTE, 2012).

Nas Américas, conforme afirma Bayer (2010, p.36), “existiram construções em adobe em quase todas as culturas pré-colombianas”. Nas mais diversas formas e tipologias, a terra como material construtivo era desenvolvida nas estruturas individuais e coletivas ou em aglomerados rurais ou urbanos.

Nos Estados Unidos, tem-se vasto patrimônio em terra. Conforme aponta Correia (2006), esse patrimônio pode ser identificado no Montezuma Castle (Figura 6a) e na Casa Grande, no Arizona; nos povoados de Taos (Figura 6b) e Acoma City, no Novo México, conservados até os dias atuais; nas missões franciscanas, no sudoeste do país no século XVII, em adobe ou taipa; nos fortes Fort Selden e Fort Union, entre outros. Atualmente, a arquitetura em terra se manifesta, principalmente, nos projetos dos arquitetos Ricky Joy, David Easton e Wayne Lloyd. (CORREIA, 2006).

Figura 6 – a) Montezuma Castle b) Povoados de Taos, no Novo México



Fonte: (BAYER, 2010).

Na América do Sul, conforme Bayer (2010, p. 38), “diversos países têm a arquitetura em terra, não só como representante de seu passado, senão como parte de sua cultura atual”. No Peru, na cidade de Lamas, tem-se a influência direta dos povos incas na construção em taipa de pilão, técnica que é transmitida através das gerações. Também no Peru, destaca-se a cidade de Chan Chan, iniciada aproximadamente em 900 d.C., considerado o maior complexo urbano edificado em terra do mundo. (BAYER, 2010).

2.2 CONSTRUÇÕES EM TERRA NO BRASIL

Quanto à origem das construções em terra crua no Brasil, não há um consenso entre os autores que escrevem sobre o assunto. Alguns dizem que os índios não utilizavam o barro nas suas casas, e sim, madeira e palha, e que a técnica de uso da terra foi trazida pelos colonizadores europeus e africanos. Outros afirmam que ao chegarem aqui os colonizadores já encontraram os índios morando em casas feitas com terra crua. (SILVA, 2000).

As casas indígenas tinham a configuração bem diferente das casas européias. Essas construções são descritas na carta de Pero Vaz de Caminha:

Eram de madeira e das ilhargas de tábuas, e cobertas de palha de razoável altura, todas de uma só peça, sem nenhum repartimento, tinham dentro muitos esteios e, de esteio a esteio, uma rede atada pelos cabos, alta onde dormiam. Debaixo, para se aguentarem faziam seus fogos. E tinham cada casa duas portas pequenas, uma num cabo, e outra no outro. Diziam que em cada casa se recolhiam trinta ou quarenta pessoas, e que assim os achavam[...]. (ALVES FILHO, 1978 apud SILVA, 2000, p. 20).

A presença dos colonizadores europeus transformou a distribuição do espaço doméstico, criando uma mistura de culturas. A planta dos colonizadores, retangular e compartimentada, se mesclou com a planta livre indígena, surgindo assim um modelo com menos repartições internas e utilização de palha na cobertura. (SILVA, 2000).

Segundo Silva (2000), as técnicas mais utilizadas no Brasil eram a taipa de pilão e a taipa de mão ou pau-a-pique. A taipa de pilão era aplicada em prédios públicos ou residências das classes mais altas, podendo a terra ser combinada com

óleo de baleia para maior resistência. Já a taipa de mão, por ser uma técnica mais simples e mais acessível, era mais utilizada pelas classes baixas.

É possível que parte do preconceito contra a construção em terra crua, existente até hoje, tenha a sua origem datada nesta época, pois os colonizadores europeus consideravam miseráveis as construções em pau-a-pique. As condições políticas e sociais definiram um caráter transitório nas construções de baixa renda, com a técnica do pau-a-pique, executada sem acabamentos, ou seja, rústica. Tudo isso contribuiu para que a terra como material de construção fosse desconsiderada, dando lugar a materiais industrializados. (BAYER, 2010).

A expansão das construções em terra pelo Brasil se deu através dos bandeirantes, que levaram a Minas Gerais a técnica de pau-a-pique, entre 1700 e 1750. Muitas construções foram edificadas em terra crua no período colonial, como exemplo, a Igreja Matriz de Pirenópolis (Figura 7), em Goiás, colonial e barroca, construída por escravos. (BAYER, 2010).

Figura 7 – Igreja Matriz de Pirenópolis, em Goiás



Fonte: (BAYER, 2010).

Atualmente temos a atuação de algumas entidades, como a Associação dos Construtores com Terra (ABCTERRA), a Associação Brasileira de Ciências em Materiais e Tecnologias Não Convencionais (ABCMTENC) e a rede Terra Brasil, que promove seminários internacionais no Brasil. Essas associações têm como objetivo divulgar a terra crua enquanto material construtivo, frente aos impactos ambientais

gerados pela construção civil e ao esgotamento de matérias-primas derivadas deste setor. (BAYER, 2010).

Com o mesmo objetivo, outras instituições atuam no cenário nacional, como os institutos de permacultura. A permacultura é um método de planejamento criado na década de 1970, pelo australiano Bill Mollison, objetivando, segundo Bayer (2010, p.43), “desenvolver áreas humanas produtivas, de forma sustentável, respeitando os ciclos e o equilíbrio dos ecossistemas naturais”. Como institutos atuantes no Brasil pode-se citar o IPEMA, em Ubatuba, SP; o IPEC, em Pirenópolis, GO; o IPOEMA, em Brasília, DF; e o IPEP, em Bagé, RS.

2.3 A TERRA ENQUANTO MATERIAL CONSTRUTIVO

A terra é uma das matérias-primas mais abundantes, podendo ser naturalmente devolvida ao ambiente, sem gerar contaminação do solo. Para Minke (2005), a busca por edificações eficientes energeticamente e economicamente tem se acentuado cada vez mais, pois as pessoas têm procurado ambientes com conforto térmico interior e que primem pela saúde.

Para a expansão do emprego da terra crua como material de construção, são necessárias pesquisas para definição de parâmetros, pois a terra é um material muito heterogêneo que sofre influência de diversos fatores naturais. Ponte (2012) complementa que

Não existe apenas um tipo de terra, mas antes uma infinidade de materiais, com propriedades físico-mecânicas variadas e que definem uma grande gama de materiais - a cada terra, com diferentes granulometrias, corresponde um tipo de utilização, uma técnica específica, aparência ou propriedades diversas. A terra é o resultado de um conjunto de pequenos materiais. (PONTE, 2012, p. 29).

Portanto, para a escolha da técnica construtiva adequada, é necessário, além dos condicionantes térmicos do local, o conhecimento da composição do solo e de suas propriedades.

2.3.1 Composição

O material utilizado como matéria-prima na construção em terra resulta do agrupamento de partículas de diferentes dimensões, ou seja, diferente composição granulométrica. De acordo com Torgal e Jalali (2010, p. 304) esse material consiste em “partículas minerais de tamanho variável...as quais se encontram misturas entre si também em proporções variáveis”. Neves et. al. (2010) divide essas partículas minerais, considerando suas dimensões e características próprias, em pedregulho, areia, silte e argila (Tabela 1), sendo a areia subdividida em grossa, média e fina.

Tabela 1 – Classificação granulométrica dos constituintes do solo

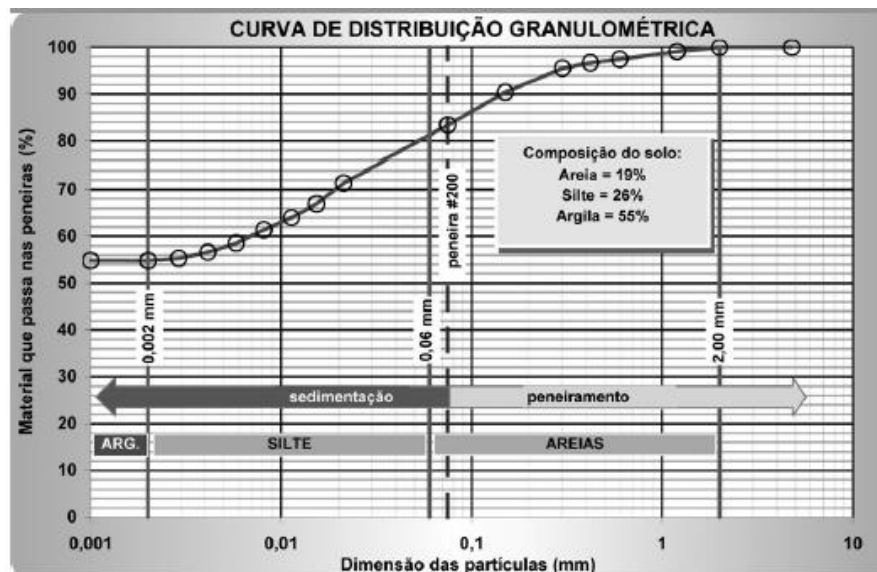
Dimensões dos grãos d(mm)	Classificação das Partículas	Características Principais
$2 \leq d \leq 20$	Pedregulho	Elemento inerte e resistente
$0,06 \leq d < 2$	Areia	Elemento inerte, sem coesão
$0,002 \leq d < 0,06$	Silte	Sem coesão, diminui a resistência da areia
$d < 0,002$	Argila	Possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença de água; apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem

Fonte: (NEVES et al., 2010, adaptado de NBR 6502, ABNT 1995).

A composição granulométrica é usualmente representada através de um gráfico, denominado curva de distribuição granulométrica, que ilustra a relação entre a quantidade e dimensão das partículas. Estes valores são obtidos através de ensaio de peneiramento, para os elementos com dimensão superior a 0,06mm (pedregulho e areia), e de ensaio de sedimentação para os siltes e as argilas. (NEVES et al., 2010).

Além das partículas minerais, a terra também é constituída por elementos gasosos, principalmente de ar, líquidos, na sua maioria água, e outro elemento sólido, a matéria orgânica. Portanto, o comportamento de um determinado solo não depende apenas da quantidade de argilas, siltes e areias, mas também da quantidade de água e ar presente nesse solo. (NEVES et al., 2010).

Figura 8 – Curva de distribuição granulométrica



Fonte: (PONTE, 2012).

O elemento principal constituinte da terra utilizada nas construções, a argila, segundo Ponte (2012), resulta

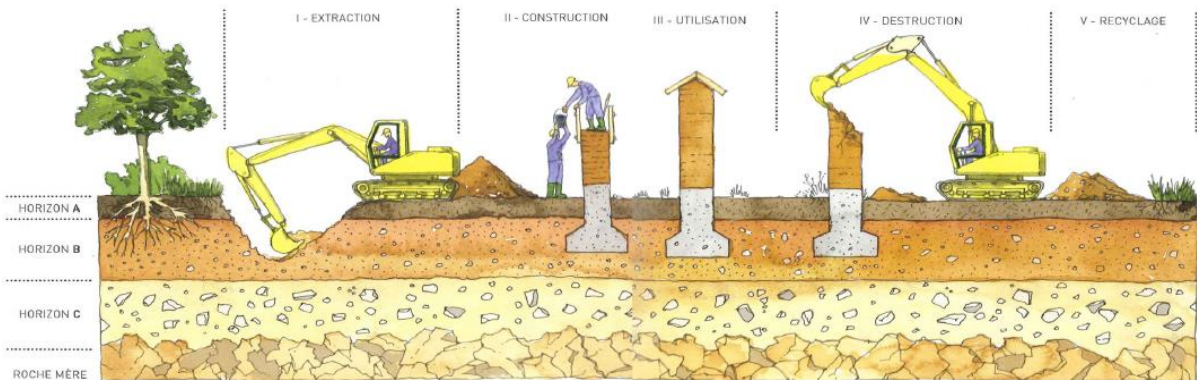
[...] da desagregação de rochas ricas em silicatos (como o granito e o basalto) e de tamanho reduzido; estas partículas podem permanecer no local de origem constituindo as argilas mais puras (mais grossas, claras e pouco plásticas) ou serem arrastadas pelo vento e cursos de água, onde se mesclam com outros elementos químicos, dando origem a argilas com estrutura química e física diversa (mais finas, plásticas mas impuras)... Existem vários tipos de argila que, tal como referido anteriormente, dependem do percurso que a formou. (PONTE, 2012, p. 33).

Através da adição de água na composição e de sua união com a argila, é possível obter coesão e plasticidade para a terra a ser utilizada na construção. A argila presente na mistura absorve a água e provoca o aumento de volume e, no momento em que ela evapora, provoca a contração de volume. Mesmo assim, a água mantém a mistura unida, pois ela nunca evapora totalmente. (NEVES et al., 2010).

Nem toda a matéria que constitui o solo é adequada à construção em terra. Os solos mais apropriados para a construção geralmente estão situados no subsolo, também chamado de horizonte B, livre de matéria orgânica (Figura 9). Este horizonte

é constituído por diferentes minerais, caracterizando um solo com propriedade de dureza e estabilidade. (PONTE, 2012).

Figura 9 – Ciclo natural da construção em terra, mostrando os horizontes



Fonte: (PONTE, 2012).

2.3.2 Propriedades

As propriedades mais importantes da terra, para seu uso na construção, são a composição granulométrica, plasticidade e retração na seleção; e a umidade e o grau de compactação no controle da execução. (NEVES et al., 2010).

2.3.2.1 Plasticidade

O solo varia conforme seu grau de umidade, podendo ser: líquido, plástico ou sólido. Segundo Ponte (2012, p.37), a plasticidade é “a capacidade que o material tem de se tornar moldável, estando intimamente relacionada com a água e argila presentes”. Para medir o grau de umidade do solo, em seus diversos estados de consistência, existem ensaios de laboratório que determinam os limites de plasticidade e liquidez, e índice de plasticidade. (PONTE, 2012, p.37).

O limite de liquidez (LL) é a porcentagem de água presente no limite entre o estado líquido e o estado plástico, determinada pelo aparelho de Casagrande². Já o limite de plasticidade (LP), é o grau de umidade, ou porcentagem de água, no limite entre o estado plástico e o semi-sólido, determinada através de um ensaio manual. Calculando-se a diferença entre ambos, limites de liquidez e de plasticidade, obtém-se o índice de plasticidade (IP). Na prática, através do índice de plasticidade e do limite de liquidez é possível classificar um solo (Tabela 2). (NEVES et al., 2010).

Tabela 2 – Classificação dos solos em função dos índices de plasticidade

TIPO DE SOLO	IP (%)	LL(%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	> 20	> 40

Fonte: (NEVES et al., 2010, adaptado de CRATerre, 1979).

2.3.2.2 Retração

Em um solo, é a presença de argila e de água que gera a variação do volume, ou seja, retração e expansão. Com a variação da umidade, no caso de uma parede de terra crua, a argila sofre movimentos de expansão e retração provocando fissuras, sendo que através delas a água pode penetrar e contribuir para a degradação e diminuição da resistência da parede. Referente a essa questão, Ponte (2012) afirma que:

De uma maneira geral, a terra apresenta grandes fissurações quando contém uma argila muito ativa, perante a adição de uma grande quantidade de água ou então, após grandes e repentinas variações de temperatura. (PONTE, 2012, p. 39).

² Aparelho que é “constituído por uma concha metálica unida a uma manivela, que a move, fazendo-a cair sobre uma base sólida, um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha” (NEVES et. al., 2010, p. 9).

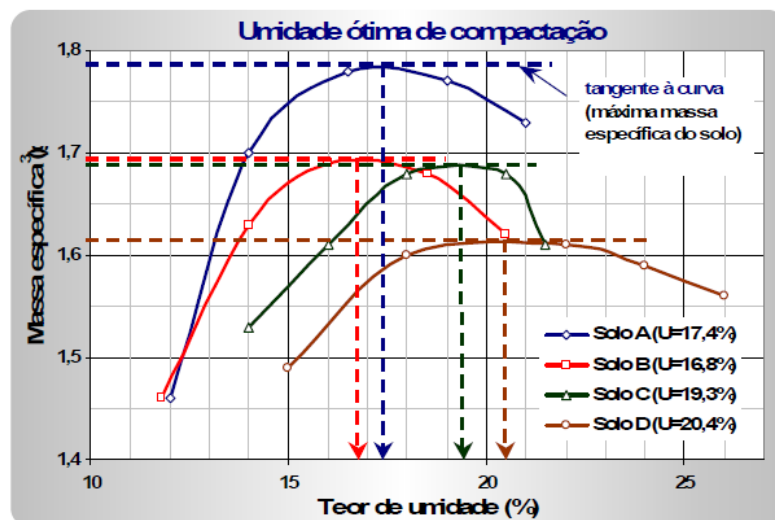
A retração de um material pode ser analisada por meio de testes de laboratório ou de campo, como por exemplo, a análise do limite de retração (LR), que marca o grau de umidade limite a partir do qual a amostra passa do estado sólido com retração para o estado sólido sem retração, ou seja quando o volume do solo passa a ser constante. (NEVES et al., 2010).

2.3.2.3 Umidade e Compactação

Através da aplicação de uma força mecânica que age sob sua porosidade e densidade, o solo tem a capacidade de reduzir seu volume. Essa força mecânica aplicada, chamada compactação, está diretamente relacionada com a resistência do solo. Para obtenção de uma compactação máxima é necessária uma quantidade de água ideal, que vai depender do tipo de solo em análise. Sobre umidade e compactação, Neves et al. (2010) elucida:

Para cada tipo de solo e para cada esforço de compactação existe uma determinada umidade, denominada umidade ótima de compactação, na qual ocorrem as condições em que se pode obter a melhor compactação, ou seja, a maior massa específica seca. Nesta condição, o solo também apresenta menor porosidade, caracterizando assim uma matéria mais durável e mais resistente mecanicamente. (NEVES et. al., 2010, p. 11).

Figura 10 – Resultados de ensaio de compactação, para 3 tipos de solo



Fonte: (NEVES et al., 2010).

A umidade ótima de compactação é determinada em laboratório, através do ensaio de Proctor, onde são aplicadas forças de compactação em amostras de solo e medidas as massas específicas aparentes do solo em função dos diferentes teores de umidade. Esses valores são representados em gráfico específico, onde a máxima massa específica define a umidade ótima de compactação do solo (Figura 10). (PONTE, 2012).

2.3.3 Testes de Solo

Apesar de praticamente qualquer solo poder ser utilizado na construção, existem alguns tipos que apresentam características não indicadas para o uso como material construtivo. Para escolha e análise do solo adequado é necessária a realização de diversos ensaios, sejam eles de campo ou de laboratório. Os ensaios de campo, em muitos casos, dispensam a realização de ensaio de laboratório, que são muito onerosos, permitindo conclusões iniciais sobre o solo existente no local de projeto no que diz respeito a sua usabilidade. (NEVES et. al., 2010).

2.3.3.1 Ensaio de Campo

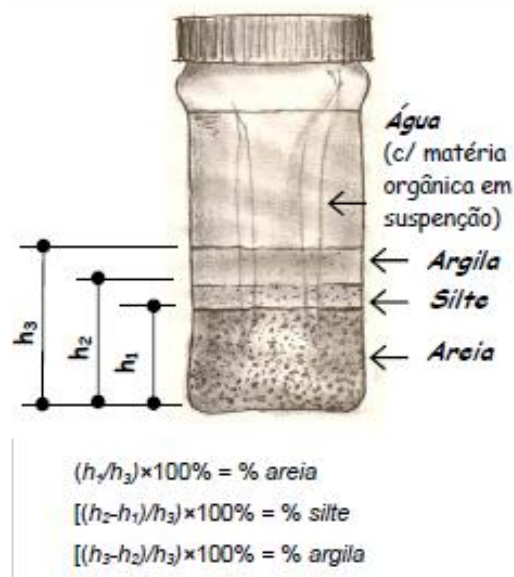
São os ensaios realizados observando e analisando os aspectos táteis e visuais do solo. A seguir são indicados exemplos de alguns deles.

- a) Observação da cor - em geral, solos com cor escura são ricos em matéria orgânica e os claros e brilhantes em matéria inorgânica, como as areias. Também, os solos de cor vermelha podem conter óxidos de ferro. (NEVES et al., 2010; TORRAL; JALALI, 2010).
- b) Observação do brilho - este ensaio se realiza coletando-se uma amostra do solo do tamanho da mão, adicionando um pouco de água e formando uma bola compacta. Após isso, corta-se ao meio a amostra e observa-se as superfícies. Em geral, os solos com predominância de argila são os mais brilhantes, e os com predominância de areia são os mais opacos. (NEVES et al., 2010; TORRAL; JALALI, 2010).
- c) Ensaio de tato - este ensaio é realizado coletando-se uma pequena amostra do solo seco e esfregando-a entre os dedos. A predominância de areia deixa o solo

áspero e o de silte faz com que os dedos sejam cobertos com partículas, como um talco. Para verificar se há predomínio de argila é necessário umedecer a amostra e tentar moldar uma bola. Se o solo se apresentar plásticos e viscoso, isto é, for fácil de formar a bola, há predomínio de argila. (NEVES et al., 2010; TORRAL; JALALI, 2010).

- d) Ensaio de sedimentação - consiste em colocar uma amostra seca do solo em um vidro (cilíndrico, liso e transparente) ocupando 1/3 de sua altura, e adicionar água ocupando o restante da altura do vidro. Deve-se fechar o vidro e agitar suavemente a amostra e deixar em repouso por 1 hora, repetindo o procedimento duas vezes. Posteriormente, quando a água estiver praticamente limpa, mede-se a espessura das camadas (Figura 11). Cada um dos componentes da terra decanta em tempos diferentes, a areia, por possuir partículas mais pesadas, decanta primeiro e fica no fundo do recipiente, seguida pelo silte, pela argila, e, por último, a matéria orgânica, que flutua na superfície da água. (NEVES et al., 2010; TORRAL; JALALI, 2010).

Figura 11 – Ilustração ensaio de sedimentação

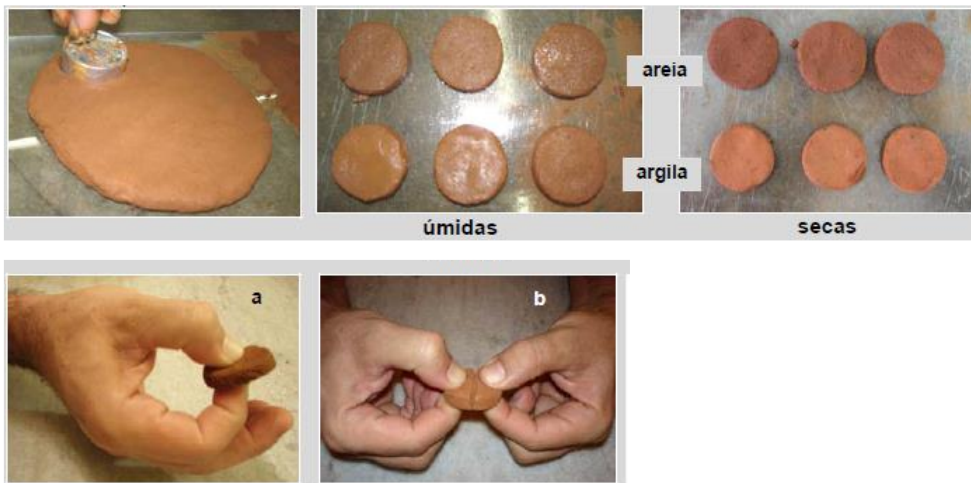


Fonte: (NEVES et al., 2010).

- e) Ensaio da resistência seca - consiste em moldar duas ou três amostras úmidas do solo com cerca de 1 cm de espessura e 5 cm de diâmetro e secar ao sol, por dois ou mais dias. Apertando a amostra já seca, pode-se

classificar, em geral, o solo que não se desmanchar com facilidade, isto é, o mais resistente à ruptura, como argiloso (Figura 12). Se a amostra se desmanchar após o esforço e for possível reduzir seus pedaços a pó, será um solo argilo-arenoso ou argilo-siltoso. (NEVES et al., 2010).

Figura 12 – Ensaio da resistência seca



Fonte: (NEVES et al., 2010, fundamentado em CEPED, 1984).

- f) Ensaio de retenção de água - consiste em moldar uma amostra do solo bem úmida, pressionando-a na palma da mão. Com a outra mão, golpeia-se a amostra, de modo que sofra exsudação, ou seja, a água saia para a superfície. A avaliação deste ensaio é feita conforme a Tabela 3. (NEVES et al., 2010; TORRAL; JALALI, 2010).
- g) Ensaio da queda da bola - consiste em moldar uma bola com amostra do solo, adicionando água, com aproximadamente 3 cm de diâmetro e deixa-la cair, em queda livre, de uma altura de um metro. Os solos arenosos se espalham desagregando-se e os solos argilosos tem mais coesão e se espalham menos. (NEVES et. al., 2010).

Tabela 3 – Avaliação do ensaio de retenção de água

Tipo de Reação	Número de Golpes	Efeitos na Amostra	Classificação e Interpretação
Rápida	5 - 10	A água aflora à superfície da amostra; a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo	Pouca plasticidade. Areia fina inorgânica ou silte grosso inorgânico, terra arenosa ou siltosa
Lenta	20 - 30	A água aparece e desaparece lentamente; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha	Silte ligeiramente plástico ou silte argiloso
Muito lenta	mais de 30	Não há mudança notável	Terra de alta plasticidade. Argila

Fonte: (adaptado de NEVES et al., 2010).

2.3.3.2 Ensaios de Laboratório

Alguns dos ensaios de laboratório para análise dos solos, segundo Torgal e Jalali (2010), são listados a seguir.

- a) Teor de água - consiste na comparação da massa de uma amostra de solo antes e depois de seca numa estufa à temperatura de 105 ° C.
- b) Matéria orgânica - consiste no aquecimento a 400 ° C da amostra de solo, para quantificação de matéria orgânica. O aquecimento irá calcinar a matéria orgânica e, pela diferença de massas, se encontra a quantidade de material calcinado.
- c) Limites de consistência (limites de Atterberg) - são constantes físicas que permitem analisar o comportamento do solo (com granulometria inferior a 0,4mm) em presença de água. Obtidas através de diferentes ensaios, já citados anteriormente, as constantes são: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP), índice de plasticidade (IP) e limite de retração (LR).
- d) Ensaio Proctor - ensaio utilizado para determinar a umidade ótima de compactação de um solo. Consiste na aplicação de forças de compactação em

amostras de solo úmido, por aparelho manual ou mecânico (Figura 13). Os dados obtidos no ensaio são registrados em um gráfico que relaciona as massas específicas aparentes do solo em função dos diferentes teores de umidade. Este ensaio se relaciona com o ensaio da queda da bola, citado anteriormente, que consiste em deixar cair uma amostra de solo úmido de uma altura de aproximadamente um metro. O teor de água é excessivo se, após a queda, a amostra não quebrar, e, o teor de água é baixo se a amostra fraturar em vários pedaços.

- e) Ensaio de resistência à compressão simples - consiste em levar à ruptura uma amostra de solo, por aumento da carga axial aplicada.

Figura 13 – Molde e equipamento de compactação do ensaio Proctor



Fonte: (TORGAL; JALALI, 2010).

2.3.4 Seleção e Estabilização

Geralmente, primando pela sustentabilidade, é priorizada a utilização da terra do próprio local onde será executada a construção. Podendo esta terra ser mesclada com outra, a fim de obter melhores resultados. Por exemplo, para melhoria das propriedades, quando o solo do local é muito argiloso, adiciona-se um solo arenoso para equilibrar a composição, e vice-versa. (NEVES et al., 2010).

Para a seleção de um solo adequado para a construção em terra, devem ser realizados testes de campo ou laboratório, ou ambos, para análise da granulometria,

da plasticidade, da retração e da compactação. Avaliando esses dados, o grupo CRAterre faz recomendações para volume de massa seca (Tabela 4), obtida através do ensaio de compactação Proctor, para valores de limites de consistência (Tabela 5) e para índice de plasticidade (Tabela 6). (TORGAL; JALALI, 2010).

Tabela 4 – Massa volúmica seca após compactação

Massa Volúmica (Kg/m³)	Classificação
1650 – 1760	Medíocre
1760 – 2100	Muito satisfatório
2100 – 2200	Excelente
2200 – 2400	Excepcional

Fonte: (DOAT et al., 1979 apud TORGAL; JALALI, 2010).

Tabela 5 – Limites de consistência na construção em terra

	Recomendados	Máximos e Mínimos
ÍNDICE DE PLASTICIDADE	7 – 18	7 – 29
LIMITE DE LIQUIDEZ	30 – 35	25 – 50
LIMITE DE PLASTICIDADE	12 – 22	10 – 25
LIMITE DE RETRAÇÃO	< teor de água ótimo	8 - 18

Fonte: (DOAT et al., 1979 apud TORGAL; JALALI, 2010).

Tabela 6 – Classificação da plasticidade de um solo

PLASTICIDADE	IP
Fraca	5 – 10
Média	10 – 20
Forte	>20

Fonte: (DOAT et al., 1979 apud TORGAL; JALALI, 2010).

Não existe um critério único para seleção adequada de um solo, pois ela também depende de fatores sociais, culturais e econômicos. Neves et al. (2010) complementa:

Não existe um critério único adotado no meio técnico, que relacione as características da terra com as técnicas construtivas, porque, em geral, os fatores de decisão estão mais relacionados com a cultura e tradição no processo de construção, do que com o tipo de solo disponível. A responsabilidade do construtor, então, é selecionar as terras mais adequadas, dentre aquelas disponíveis na região. (NEVES et al., 2010, p. 12).

Através da estabilização, as propriedades mecânicas e de permeabilidade da terra podem ser aprimoradas. A estabilização consiste na alteração das características naturais do solo, seja por meio mecânico ou por adição de produtos naturais, permitindo melhorar a qualidade do material, tanto a nível de resistência como em níveis específicos de adaptação a determinada técnica. Ao agir na textura e estrutura do solo, a estabilização está diretamente relacionada com o aumento da durabilidade das paredes. (PONTE, 2012).

Segundo Ponte (2012, p. 81), a estabilização do solo pode ocorrer através de três processos, listados a seguir.

- a) Estabilização mecânica - consiste na aplicação de uma força de compressão sobre o material, o que acarreta no ganho de densidade e diminuição da porosidade.
- b) Estabilização física - consiste na correção granulométrica do solo, por exemplo, adicionando-se uma quantidade de solo que contrarie as propriedades iniciais do solo analisado.
- c) Estabilização química - são adicionados produtos que irão modificar as propriedades da terra através de reações físicas ou químicas.

Desse modo, para aumento da resistência mecânica, podem ser adicionados à terra estabilizantes como o cimento e a cal (virgem ou hidratada); para redução da retração na secagem, podem ser adicionadas fibras vegetais ou palhas; para diminuição da permeabilidade, podem ser adicionados resinas e óleos naturais (azeite de coco, seivas de algumas plantas oleaginosas, látex, resíduos da prensagem do azeite de oliva). (PONTE, 2012; NEVES et al., 2010).

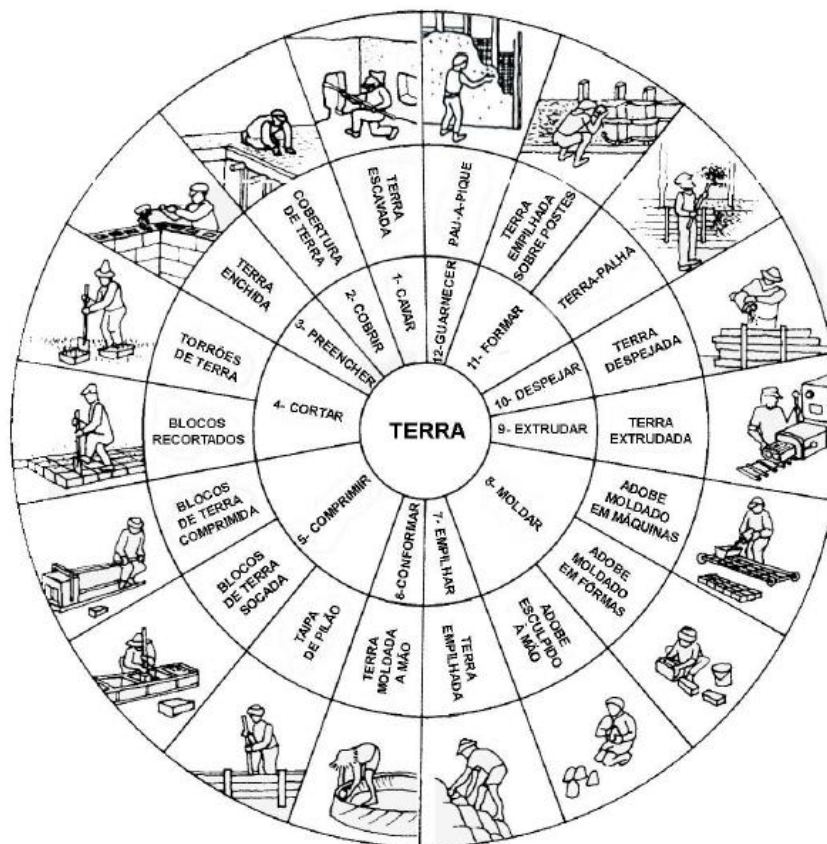
Portanto, independente da classificação do solo, por meio de ensaios de laboratório ou de campo, devem ser considerados diversos aspectos, como descreve Neves et al. (2010):

[...] se deve considerar que existe uma forte interação entre os aspectos sócio-culturais, de eficiência tecnológica (em que se avalia a arquitetura, custos e manutenção), do projeto arquitetônico e do impacto ambiental que definem, com prioridade, a tipologia do edifício, a técnica construtiva e o tipo de intervenção. (NEVES et al., 2010, p. 14).

2.3.5 Técnicas Construtivas

Muitas são as possibilidades técnicas, construtivas, formais e expressivas de utilização da terra como material de construção. Diversos são os métodos de manipulação e uso da terra (Figura 14), e estes “não podem ser dissociados da materialidade e expressões culturais específicas, numa síntese, entre ação construtiva e artística” (GUERREIRO, 2009, p. 20).

Figura 14 – Diagrama das técnicas construtivas com terra



Fonte: (BAYER, 2010 baseado em CRATerre, 2006).

Segundo Guerreiro (2009), a terra como material construtivo:

[...] pode ser utilizado de diversas maneiras, pode ser escavada, modelada, empilhada, comprimida, usada sob diferentes formas, desde a terra plástica moldada, como material de enchimento, ou blocos, ou até mesmo utilizada como revestimento. De entre os diversos sistemas construtivos, a terra pode ser trabalhada por subtração (manualmente ou com a ajuda de objetos cortantes), manualmente (modelada), empilhada (com ou sem recurso a um molde), geometrizada sob a forma de blocos (moldada e compactada manualmente e seca ao sol), e usada como material de acabamento (manualmente, projetada ou barrada). (GUERREIRO, 2009, p. 23).

Segundo Torgal e Jalali (2010), as técnicas construtivas utilizadas em um local dependem das suas características sociais e culturais e do tipo de solo encontrado. As técnicas são executadas através de três sistemas fundamentais: monolítico, por unidades e por enchimento e revestimento. Sendo as técnicas mais usuais apresentadas a seguir.

- a) Taipa de mão - conhecida também como tabique, em Portugal, e pau-a-pique ou barro armado, no Brasil. A técnica consiste numa estrutura tramada de madeira ou bambu, dependendo da região, formando uma treliça que é preenchido em ambos os lados com terra argilosa em estado plástico, podendo conter fibras vegetais (Figura 15). (GUERREIRO, 2009).

Figura 15 – Paredes de tabique



Fonte: (GUERREIRO, 2009).

- b) Taipa de pilão - técnica conhecida por *rammed earth* nos países anglo-saxônicos e por *terre pise* na França. Consiste na execução de grandes blocos de terra moldada *in situ*, compactada com pilões dentro de formas móveis (Figura 16). Devido às exigências modernas é possível a utilização de aparelhos mecânicos para compactação do solo. (GUERREIRO, 2009).

Figura 16 – Execução de parede em taipa de pilão



Fonte: (GUERREIRO, 2009).

- c) Adobe - pela sua facilidade de produção é a técnica mais comum. Consiste na moldagem em estado plástico (com adição de água) de pequenos blocos, manualmente ou com a utilização de formas de madeira. Os blocos são tirados da forma ainda no estado fresco e secos à temperatura ambiente. Para evitar a fissuração, devido à retração da argila, fibras vegetais podem ser adicionadas à mistura. (TORGAL; JALALI, 2010).
- d) Terra empilhada - técnica também conhecida como *cob* (Figura 17), consiste no empilhamento da terra, comprimida manualmente, sem o auxílio de taipas, na forma de bolas ou tijolos, que são sobrepostas umas sobre as outras, e aderidas pelo seu estado plástico (úmido). A execução deve ser por níveis, permitindo a cura de cada camada da terra e aumentando a sua resistência. (GUERREIRO, 2009).
- e) Cordwood - a tradução literal do termo seria “cordão de madeira”, consiste em assentar pedaços de troncos de madeira com o uso de argamassa de terra. (TORGAL; JALALI, 2010).

Figura 17 – Execução de parede de terra empilhada (*cob*)



Fonte: (MINKE, 2005).

- f) Bloco de terra comprimida (BTC) - consiste na prensagem do solo em um molde, permitindo obter tijolos de terra prensada, mais resistente e duráveis que o adobe. A prensagem pode ser realizada através de uma prensa manual ou mecânica, ambas possuindo diversas formas (maciças ou perfuradas). (TORGAL; JALALI, 2010).

2.4 SOLO-CIMENTO

A terra é um material de construção ancestral e, pode-se dizer que seu uso de forma prensada é uma técnica “moderna” de aplicação desse material milenar. Nos Estados Unidos, em 1915, o solo-cimento foi empregado pela primeira vez na pavimentação de uma rua, pelo engenheiro Bert Reno, através de uma mistura de areia da praia, conchas e cimento Portland. No Brasil, seu emprego na construção de moradias teve início em 1948 no Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis, RJ. (BARBOSA, 2003; LIMA, 2013).

Na década de 1950, o pesquisador Colombiano, G. Ramires, criou um equipamento para a fabricação de tijolos e blocos³, a prensa manual conhecida mundialmente como prensa CINVA-RAM (Figura 18a). Uma prensa também foi desenvolvida no Brasil, pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com

³ Vale ressaltar aqui a adoção da nomenclatura de tijolo para componentes maciços, e bloco para componentes vazados. Segundo a NBR 8491 (ABNT, 1984), tijolo maciço de solo-cimento é aquele “cujo volume não é inferior a 85% de seu volume total aparente”. E segundo a NBR 10834 (ABNT, 1994), bloco vazado de solo-cimento é aquele “componente para alvenaria de seção transversal útil entre 40% e 80% da seção transversal total”.

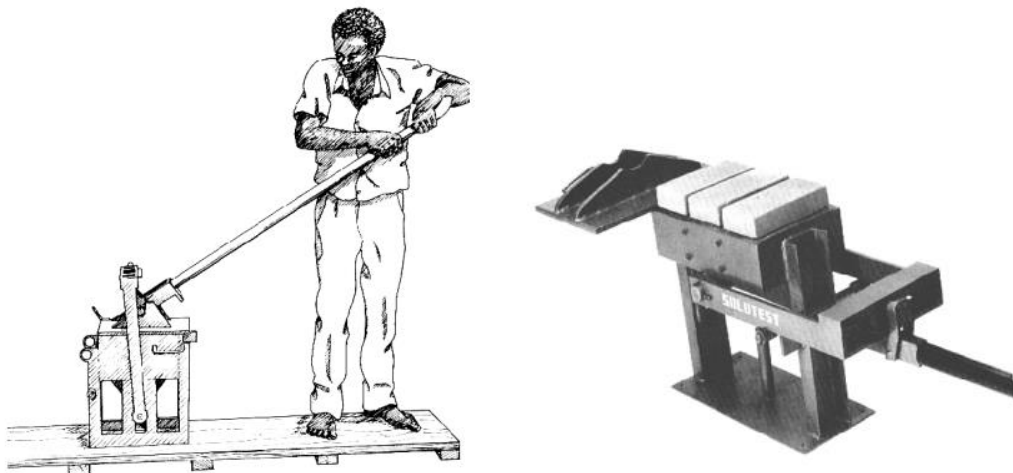
o apoio do Banco Nacional da Habitação (BNH), com produção de três componentes ao mesmo tempo (Figura 18b). (LIMA, 2013).

Sobre a moldagem dos tijolos e blocos de solo-cimento nessa prensa, Barbosa (2003) afirma que

[...] nesse processo, o equipamento, moldando três tijolos ao mesmo tempo, não consegue dar uma pressão conveniente à terra. Assim, para se obterem resistências adequadas, usam-se taxas de cimento de 8, 10, 12 e até mesmo 15 %. Tais teores de ligante passam a pesar significativamente nos custos do material. Além disto, os tijolos de pequenas dimensões, consomem muita argamassa na ligação e não conseguem dar uma grande estabilidade e rigidez aos muros. (BARBOSA, 2003, p.19).

No Brasil, na década de 1970, o solo-cimento foi difundido no setor da habitação popular pelo Banco Nacional da Habitação (BNH). O BNH aprovou a técnica com base na comprovação do adequado desempenho do material, através de testes feitos pelo Instituto de Pesquisas Técnicas (IPT) e pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED), e também, com base na possibilidade de redução dos custos. A partir disso, foram desenvolvidas diversas prensas, manuais e hidráulicas, e diversos tipos de tijolos e blocos de solo-cimento compactado. (LIMA, 2013).

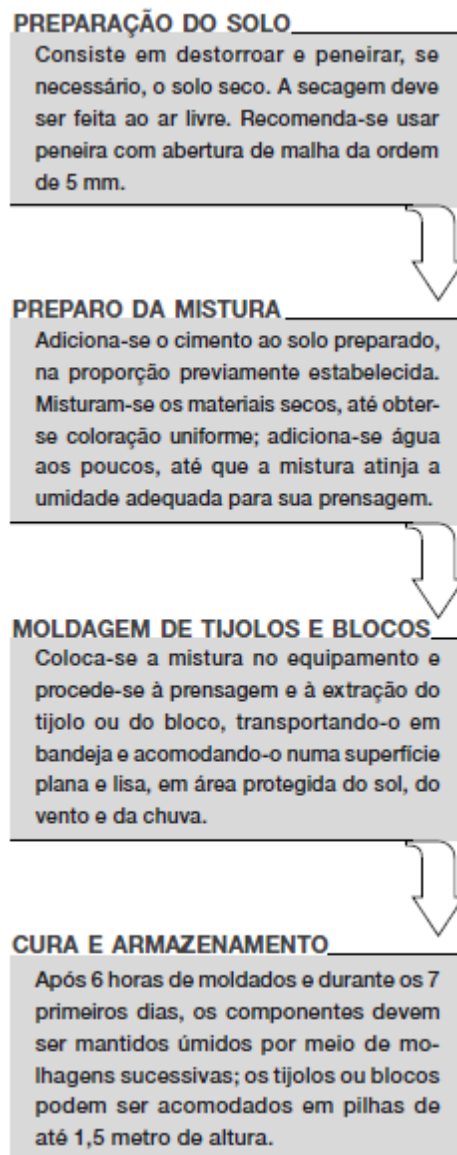
Figura 18 – a) Prensa manual CINVA-RAM b) Prensa Manual ABCP



Fonte: (BARBOSA, 2003).

O solo-cimento, segundo a NBR 10832 (ABNT, 1989), é a mistura homogênea composta de solo, cimento Portland e água em proporções estabelecidas por norma, que é compactada através de uma prensa e endurecida, sem a necessidade de queima. O processo de fabricação constitui-se basicamente de preparação do solo, preparo da mistura, moldagem, cura e armazenamento (Figura 19).

Figura 19 – Etapas do processo de fabricação de blocos de solo-cimento



Fonte: (NEVES; CARNEIRO; COSTA, 2001).

O preparo da mistura pode ser realizado de forma manual ou mecânica, e também nessa etapa há a possibilidade de realizar a correção granulométrica do solo

ou de incorporar outros materiais à mistura, como rejeitos industriais e entulho reciclado. As características do material resultante podem variar devido aos seguintes fatores: “a dosagem do cimento, a natureza do solo, o teor de umidade e o grau de compactação ” (LIMA, 2013, p. 11).

A Tabela 7 apresenta a normatização vigente referente às determinações relativas ao solo-cimento.

Tabela 7 – Normas relativas ao solo-cimento

NORMA	ABORDAGEM	ANO
NBR 8491	Tijolo de solo-cimento — Requisitos	2012
NBR 8492	Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio	2012
NBR 10833	Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento	2013
NBR 10834	Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos	2012
NBR 10836	Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio	2013
NBR 12023	Solo-cimento – Ensaio de Compactação	2012
NBR 12024	Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento	2012
NBR 12025	Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio	2012

Fonte: Elaborada pela autora.

Portanto, as proporções de solo, água e cimento Portland se baseiam em análises de comportamentos de corpos-de-prova. Grande (2003) afirma que as simplificações e modificações nesse método surgiram pela comprovação de milhares de experimentos realizados, ocasionando economia de tempo na tomada de decisões sobre a composição ideal a ser empregada em um caso específico. No entanto, nota-se a necessidade da elaboração de novas pesquisas para melhorar a metodologia de dosagem.

Segundo Gonçalves (2005),

Teores de 4 a 6 % de cimento são capazes de produzir tijolos prensados de excelente qualidade. A percentagem do estabilizante depende do tipo de solo que se vai empregar e também da resistência requerida. Se houver muita argila presente, vai ser exigido no mínimo 6 % de cimento. Se o solo é excessivamente arenoso, podem ser requeridas taxas maiores. Se o solo é bem graduado, 4% (e até mesmo 2%) de cimento já leva a blocos de ótima qualidade. (GONÇALVES, 2005, p. 25).

Ainda sobre a dosagem dos elementos da mistura, a ABCP (1986), recomenda a moldagem de componentes de solo-cimento com as proporções de cimento e solo de 1:10, 1:12 e 1:14, em volume. Para a escolha da proporção adequada deve ser levado em consideração o menor consumo de cimento e os “critérios de resistência à compressão e absorção de água estabelecidos na Norma NBR 8491” (BOUTH, 2005, p. 26).

Quanto ao solo, a NBR 10833 (ABNT, 2013) recomenda que este não deve conter quantidade de matéria orgânica prejudicial à hidratação do cimento e, descreve as características a serem atendidas (Tabela 8). Além disso, segundo Gonçalves (2005, p.20), “o teor de cada componente granulométrico também é importante”, deve conter de 10 a 20% de argila, de 10 a 20 % de silte e, de 50 a 70% de areia.

Já o Centro Internacional de Construção com Terra (CRATerre), na França, em termos de granulometria, recomenda que os teores ideais, para a fabricação de tijolos prensados, são de 10% a 30% de argila, 20% a 40% de silte, 40% a 70% de areia e, 0% a 7% de pedregulho. Quando o solo não atende aos teores exigidos, há a possibilidade de se fazer uma correção granulométrica. Por exemplo, quando um solo é muito argiloso acrescenta-se areia à mistura. (FERREIRA, 2003).

Tabela 8 - Características do solo para fabricação de solo-cimento

CARACTERÍSTICAS DO SOLO	
% passando na peneira nº4 (4,75mm)	100%
% passando na peneira nº200 (0,075mm)	10% a 50%
Limite de Liquidez	≤ 45
Limite de Plasticidade.....	≤ 18

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

Outro fator que pode influenciar na qualidade do tijolo ou do bloco é o tipo de prensa, pois quanto maior a compactação do solo melhor e mais resistente o produto final. As prensas hidráulicas apresentam maior taxa de compactação que as prensas manuais (Tabela 9), que normalmente comprimem o solo com 2 MPa. Por isso, o processo de fabricação em prensas com baixa taxa de compactação exige mais atenção na seleção e no preparo do solo, para que os blocos produzidos apresentem a resistência adequada. (FERREIRA, 2003).

Em resumo, as características físico-mecânicas, ou seja, resistência à compressão, absorção de água e durabilidade, do solo-cimento dependem do tipo de solo (granulometria, fração argila, grau de plasticidade), do tipo e teor do agente estabilizante, das condições de cura (umidade e temperatura) e das condições de compactação. (LIMA, 2013).

Tabela 9 – Produtividade das prensas

TIPO DE PRENSA		ENERGIA DE COMPACTAÇÃO (MPa)	TAXA DE COMPACTAÇÃO DO SOLO*	PRODUÇÃO (tijolos/dia)
Manual	Mecânica	1,5-2,0	1,38	300 a 1200
	Hidráulica	2,0-10,0	1,65	2000 a 2800
Motorizada	Mecânica	4,0-24,0	>1,65	1600 a 12000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	-

*corresponde à relação entre os volumes da mistura em estado solto e em estado compactado, sendo proporcional à energia de compactação.

Fonte: (NEVES; CARNEIRO; COSTA, 2001).

2.4.1 Vantagens

O solo-cimento é um material de grande potencial para aplicação na construção de habitações populares, pois, de acordo com a ABCP (1986), permite a redução dos custos em até 40%, já que o material empregado em maior quantidade é o solo. A ABCP (1986) também destaca as seguintes vantagens dos tijolos de solo estabilizado:

- redução dos custos de transporte, devido à utilização de solo do próprio local;

- manutenção da regularidade de suas formas, contribuindo para o menor consumo da argamassa de assentamento e revestimento;
- eliminação do revestimento, se a parede estiver devidamente protegida da ação direta da água;
- por não ser necessária a queima, redução do consumo de energia e, conseqüentemente, baixa agressividade ao meio ambiente.

Cordeiro, Conceição e Lima (2006) destacam também que, por se tratar de alvenaria modular, há uma redução do desperdício e uma relativa eficiência na construção, devido ao fato dos blocos serem encaixados ou assentados com pouca quantidade de argamassa e, possuem furos internos, sem necessidade de cortes e quebras para a passagem de tubulações e instalações hidráulicas. Ainda há possibilidade de reaproveitamento das partes perdidas por quebra, pois pode ser triturado e utilizado como solo.

Fazendo uma comparação dos elementos construtivos cerâmica, concreto e solo-cimento, observa-se que as construções com cerâmica e concreto são mais caras por dependerem de combustíveis fósseis e consumirem materiais nobres e cada vez mais escassos, e também, por utilizarem argamassa de assentamento e de revestimento em maior quantidade. (LIMA, 2013).

Lima (2013), para analisar a viabilidade dos blocos de solo-cimento, realizou um levantamento dos custos para a construção de duas paredes de 8,10 m², uma com tijolos convencionais e outra com tijolos de solo-cimento, com o objetivo de comparar esses sistemas. O estudo mostrou que a parede de solo-cimento mostrou custo menor, reduzindo o custo total em aproximadamente 27% em relação ao tijolo convencional. Constatou também que, a produtividade do componente, a diminuição do desperdício nos recortes para instalações, a economia com revestimento interno e a economia na quantidade de argamassa para assentamento, contribuem para esse menor custo.

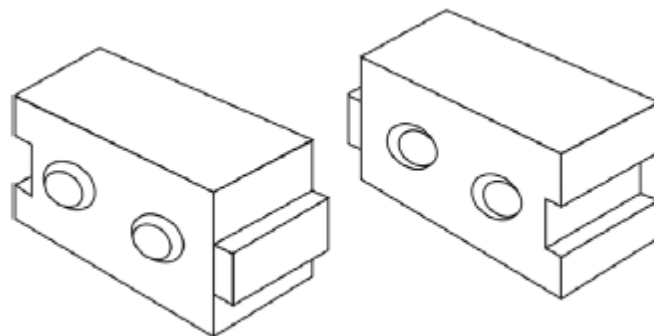
Penteado e Marinho (2011) fizeram uma análise comparativa de custos e produtividade dos sistemas construtivos de blocos de solo-cimento, blocos cerâmicos e blocos de concreto. A análise foi realizada em uma residência popular de 33 m² modelo da COHAB em Curitiba, PR, levando em consideração os custos e o tempo de execução das etapas de estrutura, vedação e revestimentos internos e externos. Concluíram que “o sistema construtivo solo-cimento é o mais viável para construção

de residências populares, tendo em vista que apresentou os melhores resultados quando comparado ao sistema de alvenaria convencional e concreto” (PENTEADO; MARINHO, 2011, p.57).

2.4.2 Estudos já realizados

Na Itália, o professor do Politecnico de Torino, Roberto Mattone desenvolveu uma nova técnica de produção de blocos prensados de solo-cimento, que consiste em tijolos que possuem saliências de encaixe do tipo macho e fêmea, com possibilidade de encaixe nas partes superior e inferior (Figura 20). As saliências permitem pequenos deslocamentos relativos para que haja a correção de verticalidade e linearidade dos muros na sua execução. (BARBOSA, 2003).

Figura 20 – Bloco Mattone



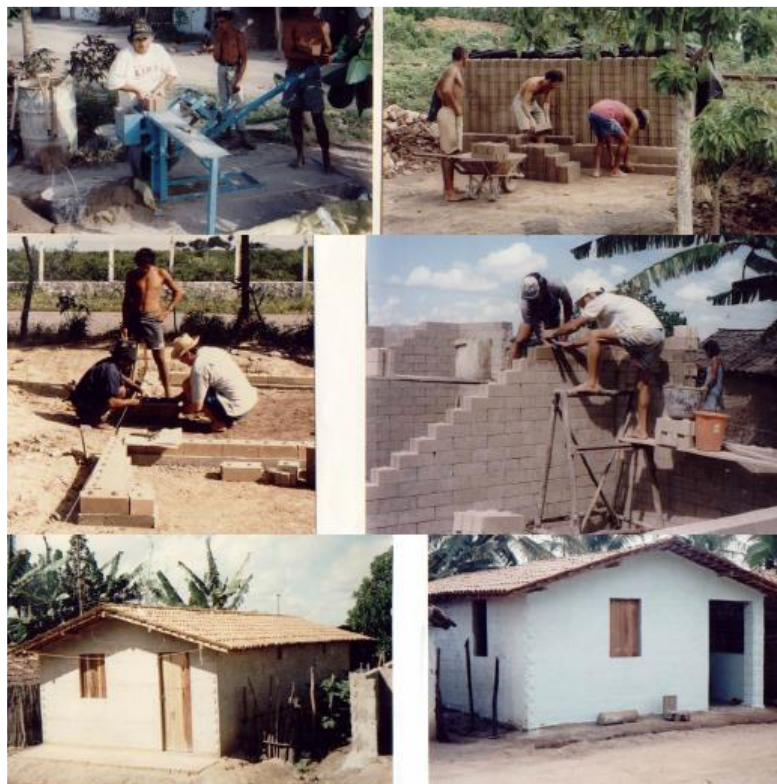
Fonte: (BARBOSA, 2003).

Os blocos Mattone possuem dimensões de 14 cm x 28 cm x 9,5 cm, e sua mistura é composta de terra peneirada em uma malha de cerca de 2 mm, e aproximadamente 8 a 10% de cimento, resultando em uma consistência pastosa. Além das boas características estruturais, esse bloco não precisa de revestimento, e praticamente dispensa argamassa de assentamento, sendo necessária apenas uma mistura fluida de terra, cimento e água. (BARBOSA, 2003).

Segundo Barbosa, Mattone e Mesbah (2002), painéis de paredes executados com essa técnica foram testados no Politecnico di Torino e também na Universidade Federal da Paraíba, mostrando que esse tipo de bloco possui grande rigidez, não

apresentando no teste de compressão simples, perfeito estado com a carga de 236 kN/m. Afirma ainda que, com esse tipo de bloco, seria possível a execução de edificações de até três pavimentos com os blocos tendo função estrutural, mas os estudos foram realizados somente em casas populares, sendo aplicado com sucesso em uma favela no Estado da Paraíba (Figura 21), onde foram feitas mais de 40 casas de terra, além de um centro comunitário e uma creche.

Figura 21 – Aplicação do bloco Mattone em casas populares



Fonte: (BARBOSA; MATTONE; MESBAH, 2002).

Ainda sobre o bloco Mattone, Melo et al. (2011) construíram protótipos em escala real e avaliaram o desempenho estrutural dos blocos para habitações térreas. Para isso, foram realizados ensaios de solicitação de cargas provenientes de peças suspensas, ensaios de solicitações transmitidas por fechamento brusco de portas e, ensaios de impacto de corpo duro e corpo mole. O protótipo apresentou desempenho satisfatório em todos os ensaios, ou seja, bom desempenho estrutural. Os autores ainda destacam o grande potencial do material para reduzir o impacto ambiental das edificações. (MELO et al., 2011).

Gonçalves (2005) disserta sobre o uso de tijolos e blocos de terra crua em construções urbanas, apresentando uma série de estudos com o objetivo de analisar o comportamento de paredes de adobe e solo-cimento, podendo vir a contribuir para a normatização desse tipo de alvenaria. Foram realizados ensaios de resistência à compressão dos blocos e prismas, e de comportamento estrutural. Onze paredes, seis com blocos tipo Mattone (solo-cimento) e cinco com tijolos de adobe, foram submetidas a carregamentos em ciclos, para se verificar o comportamento dos muros também no descarregamento. Para melhor distribuição da carga, no topo das paredes foi construída uma viga de concreto armado.

Embora as paredes apresentem excentricidades de carga, os resultados obtidos mostram a boa capacidade de carga destas, que respondem de maneira mais que satisfatória para o uso em moradias de baixo custo e de interesse social. Gonçalves (2005) ainda conclui que

[...] com tijolos prensados estabilizados com 4% de cimento, conseguiu-se em parede de 2,60 m de altura tensões de fissuração da ordem de 0,38 MPa e de ruptura de 0,55 MPa. Ambas estão muito além dos carregamentos de edificações térreas correntes. Já com os tijolos estabilizados com 7% de cimento, aqueles valores subiram para 1,45 MPa e 1,80 MPa, respectivamente[...]. (GONÇALVES, 2005, p. 77).

Valenciano e Freire (2004) adicionaram cinzas de bagaço de cana-de-açúcar à mistura de solo e cimento. Antes de serem incorporadas à mistura, as amostras de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar foram peneiradas e moídas. Foram determinadas a consistência normal e a resistência à compressão simples para cada uma das diferentes combinações de cimento-cinza. Após, foram moldados corpos-de-prova para ensaios de compactação, compressão simples e absorção de água. Os resultados indicaram que o cimento pode ser substituído em até 20% por cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, sem prejudicar a resistência à compressão. (VALENCIANO; FREIRE, 2004).

Silva et al. (2008) fez o estudo da utilização de resíduo de EVA (Etilene Vinil Acetate), provenientes da fabricação de calçados, em tijolos de solo-cimento. Primeiramente foram testadas as resistências à compressão de tijolos, prismas e painéis com diversas combinações de solo-EVA, com o teor dos resíduos variando de 0 a 50% em relação ao volume de solo e, teor de cimento Portland de 6, 8 e 10% em

relação à massa do solo. Das composições que apresentaram melhor resultado foram montados painéis com cerca de 1m² para realização do ensaio à compressão.

Os resultados mostram que a resistência dos tijolos diminui à medida que se aumenta o teor volumétrico de resíduo de EVA. A mistura de solo-cimento-EVA na proporção de 80% de solo, 10% de cimento e 10% de resíduo de EVA atendeu aos critérios da norma de alvenaria de vedação sem fim estrutural, apresentando resistência à compressão acima de 1MPa. (SILVA et al., 2008).

Silva, Mendes e Ladchumananandasivam (2000) analisaram as propriedades mecânicas e térmicas de tijolos maciços de solo-cimento com e sem adição de fibra de coco moída, através de ensaios de resistência à compressão, absorção de água e condutibilidade térmica. Segundo os autores, “os resultados indicaram a viabilidade da adição do pó da fibra de coco ao solo-cimento”, pois observou-se uma melhora do desempenho dos tijolos em relação à condutibilidade térmica e, portanto, a melhoria das características de isolamento térmico. (SILVA; MENDES; LADCHUMANANANDASIVAM, 2000, p.6).

Souza, Segantini e Pereira (2008) ensaiaram tijolos prensados de solo-cimento produzidos com adição de resíduos de concreto em relação à massa do solo. Foram realizados, em amostras com 12 traços diferentes, ensaios de caracterização do solo, das composições desse solo com resíduos de concreto e das misturas de solo-cimento produzidas com essas composições. A adição dos resíduos proporcionou melhoria nas propriedades mecânicas do solo-cimento, atendendo as especificações das normas brasileiras e mostrando haver a possibilidade de redução, para menos de 6%, da fração de cimento. (SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA, 2008).

Dallacort et al. (2002) realizou um estudo experimental da resistência à compressão do solo-cimento, com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. Foram analisados 81 corpos-de-prova através da seleção de três variáveis: a percentagem de material ligante (6, 8 e 10%) adicionado, o teor de umidade da mistura (12,14 e 16%) e o teor de material cerâmico em substituição ao cimento (0,25 e 50%). Obtiveram-se resistências superiores a 2MPa, com substituições de 25 até 57%, e um teor de material ligante de 6 e 8%.

Rolim, Freire e Beraldo (1999) analisaram a resistência de corpos-de-prova, tijolos e painéis de solo-cimento, à compressão simples. A mistura foi utilizada na seguinte proporção: solo arenoso contendo 72% de areia e 8% de cimento Portland, em relação ao peso do solo seco. Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, tijolos

em prensa manual e painel de 60 cm x 60 cm, construído com nove fiadas de tijolos. Como resultado, a resistência dos tijolos de solo-cimento satisfaz os requisitos de norma, já o painel apresentou fissuras sob o carregamento de 0,91 MPa, e rompeu sob uma tensão aproximada de 2,0 MPa.

Pinto (2015) confeccionou blocos vazados de solo-cimento com substituição parcial do solo por resíduos de construção civil (RCC), com o objetivo de analisar as principais características físicas e mecânicas desses blocos. Os blocos foram compostos de solo, água, RCC e cimento Portland, compactados em prensa manual. Os ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram realizados no LMCC da Universidade Federal de Santa Maria. Os resultados demonstraram que os blocos não chegaram aos valores de resistência à compressão e de absorção de água para atender a NBR 10834 (ABNT, 1994). O autor ainda afirma que “apesar dos resultados serem insuficientes, possivelmente fazendo o beneficiamento do RCC e por consequência diminuindo a porosidade do material, os resultados fiquem adequados às prescrições de norma” (PINTO, 2015, p.53).

2.5 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

No Brasil, apesar do esforço do Governo, a demanda por moradias populares continua crescendo, sendo que a capacidade de produção de novas unidades não acompanha essa demanda. O problema habitacional se apresenta entre os mais graves problemas sociais, em especial nos grandes centros urbanos. (NEVES; CARNEIRO; COSTA, 2001).

Segundo Cordeiro, Conceição e Lima (2006),

A habitação constitui uma das mais importantes necessidades básicas do homem, pelo tanto maior quanto mais desfavorecida for a população; trata-se, sem dúvida alguma, de um problema de difícil solução, uma vez que os custos da terra e da construção quase sempre são inacessíveis aos trabalhadores de baixa renda, quer nas áreas rurais, quer nas urbanas. (CORDEIRO; CONCEIÇÃO; LIMA, 2006, p. 40).

O processo de urbanização no Brasil, ocorrido após a Revolução Industrial, causou o aumento exponencial da população das cidades, e, conseqüentemente, também causou o aumento do *déficit* habitacional, do número de favelas e das

ocupações de terra irregulares. Segundo dados do Ministério das Cidades (2008), o *déficit* habitacional do Brasil é estimado em 5,546 milhões de domicílios, isso acrescido do crescimento das cidades gera um impacto ambiental, “o que coloca em destaque a necessidade de construções de casas eficientes, com uma maior conscientização ambiental também no campo das habitações populares” (VISINTAINER; CARDOSO; VAGHETTI, 2012, p. 135).

A questão da habitação popular exige soluções que sejam compatíveis com a situação socioeconômica, como por exemplo o emprego de tecnologias alternativas, com matérias primas naturais. Na década de 1970, como citado no item anterior, iniciaram-se diversas pesquisas e experiências, no Brasil, através de programas do Banco Nacional da Habitação (BNH), em parceria com Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com o objetivo de viabilizar, do ponto de vista técnico e econômico, a implantação de alternativas tecnológicas de menor custo para produção de habitações populares.

Sobre esses programas Neves, Carneiro e Costa (2001) complementam que

Esses programas geralmente adotam alternativas tecnológicas de menor custo, bem como regimes de autoconstrução ou de ajuda mútua, e são efetivados por iniciativas governamentais associadas ou não à participação de entidades comunitárias. (NEVES; CARNEIRO; COSTA, 200, p. 230).

Dentre essas tecnologias, a produção de habitações populares de tijolos de solo estabilizado foi uma das alternativas mais frequentemente adotadas, devido à facilidade de fabricação desse componente e de execução da alvenaria, mas, principalmente por seu baixo custo. O solo-cimento pode reduzir em cerca de 40% o custo de uma moradia, além de ser um material construtivo ecológico que dispensa a queima. (CORDEIRO; CONCEIÇÃO; LIMA, 2006).

Segundo Passos, Lima e Santos (2001),

A carência habitacional no Brasil requer a busca contínua de métodos alternativos de construção, o que gera o desenvolvimento de novas concepções e de processos construtivos inovadores. A política habitacional não deve e nem pode condicionar o cidadão à exclusão social e à miséria. Há uma grande necessidade de se valorizar o ambiente da família, tanto no aspecto social quanto no psicológico, melhorando assim as condições das

camadas economicamente e socialmente excluídas da sociedade. (PASSOS; LIMA; SANTOS, 2001, p.1).

Nos últimos anos, o governo brasileiro tem buscado alternativas para a carência habitacional, alimentando o setor de moradias em nosso país, especialmente quando se trata de habitações no âmbito popular, através dos programas federais tais como o “Minha casa, minha vida”, “Operações Coletivas” e “Morar Melhor”. Esses programas visam melhorias na infraestrutura urbana para zonas mais pobres e a concessão de financiamentos para aquisição de terreno, materiais para reforma ou para uma nova construção. (VISINTAINER; CARDOSO; VAGHETTI, 2012).

Apesar disso, ainda faltam programas que pensem nas questões de sustentabilidade das habitações. Portanto, a melhoria das condições de moradia social pode se dar através da construção de habitações que utilizem materiais de baixo custo e que impliquem em um menor impacto ambiental, além de proporcionar conforto ambiental aos usuários.

2.6 DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

Temos hoje, como cenário mundial da construção civil, a constante evolução tecnológica e a busca por redução de custos. No Brasil, o aumento da incorporação de novos materiais e a implantação de normas de desempenho, especialmente às edificações habitacionais, “estão promovendo mudanças significativas na concepção de edificações e na quebra de paradigmas em relação à avaliação de desempenho de sistemas construtivos” (LORENZI, 2013, p. 1).

Como normas brasileiras de desempenho temos a NBR 15220 (ABNT, 2008), que trata do Desempenho Térmico de Edificações e, a NBR 15575 (ABNT, 2013), que trata do Desempenho de Edificações Habitacionais. Segundo o Guia Orientativo para Atendimento à NBR 15575, elaborado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), o desafio dessas normativas é “promover condições de viabilidade para investimentos em máquinas, processos produtivos e qualificação de mão de obra; com vista à sustentabilidade da indústria da construção civil” (CBIC, 2013, p.10).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) tem por objetivo regular e avaliar o desempenho de edificações habitacionais, independente da solução técnica utilizada, ou seja, dos

seus materiais constituintes e do sistema construtivo. Seu enfoque está nas exigências dos usuários para a edificação habitacional e seus sistemas, quanto ao seu comportamento em uso e não na prescrição de como os sistemas são construídos.

Segundo a CBIC (2013),

A norma de desempenho NBR 15575 estabelece parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos. Dessa forma, buscam-se o disciplinamento das relações entre os elos da cadeia econômica (rastreadibilidade), a diminuição das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentação do Código de Defesa do Consumidor, o estímulo à redução da concorrência predatória e um instrumento de diferenciação das empresas. (CBIC, 2013, p.10).

Para avaliar e regular o desempenho, a norma apresenta para cada necessidade do usuário, requisitos, critérios e métodos de avaliação. Os requisitos são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas deve possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário” (ABNT, 2013, p.9). Já os critérios são especificações quantitativas desses requisitos, a fim de que esses requisitos possam ser determinados de forma objetiva. Como método de avaliação desses critérios temos a análise de projeto, a simulação computacional, os ensaios experimentais e as inspeções técnicas.

A norma é organizada em seis partes e por elementos da construção. São elas:

- Parte 1: Requisitos gerais;
- Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;
- Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;
- Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;
- Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Estruturada em três áreas, aborda exigências relativas à segurança (estrutural, contra incêndio, no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho

térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental). A cada uma destas exigências é atribuído um desempenho mínimo a ser atendido.

Segundo Lorenzi (2013, p.3), “é indispensável a necessidade de alavancar a infraestrutura no Brasil para avaliação de desempenho de sistemas construtivos, inovadores ou não”. Dentre as ações para promover o amadurecimento e melhoria do desempenho de edificações, além da NBR 15575, destaca-se a criação do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), de cobertura nacional, em 2007, no âmbito do PBQPH (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat), do Ministério das Cidades (MC).

O SINAT é um mecanismo institucional que proporciona a validação de novas alternativas tecnológicas, que tem como objetivo avaliar produtos inovadores da construção civil, os quais não possuem norma técnica brasileira para análise de desempenho, empregados em edifícios habitacionais. A normatização destes produtos é muito importante na medida em que estes adquirirem credibilidade e reconhecimento perante os consumidores e os agentes financiadores, aumentando a oferta de tecnologias no âmbito da habitação que visem a redução de custos e o aumento de produtividade. (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

Esse sistema, propõe a criação de um documento de referência contendo diretrizes para a avaliação técnica de um produto, chamada Diretriz SINAT, onde são adotados requisitos, critérios e métodos de avaliação previstos na NBR 15575. Caso não exista uma diretriz publicada aplicável ao produto, os Institutos Tecnológicos de Avaliação (ITA's), autorizados pelo SINAT para avaliar o desempenho de edificações, elaboram uma minuta de Diretriz e a submete à apreciação. (ZANONI; SÁNCHEZ, 2012).

Passados nove anos da sua regulamentação, o SINAT já emitiu onze diretrizes para produtos inovadores. Esse sistema de avaliação, propicia “a ampliação da discussão sobre métodos de Ensaio Experimentais de Desempenho e parâmetros de aceitabilidade para os sistemas construtivos, estabelecidos na NBR 15575” (LORENZI, 2013, p. 3).

2.6.1 Estudos de desempenho de edificações

Hattge (2004) realizou um estudo comparativo da permeabilidade de alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto, a fim de analisar seu desempenho quanto à penetração de umidade. Para isso, utilizou três métodos de ensaio para avaliação de estanqueidade à água em paredes: o método do cachimbo preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), o método para verificação *in situ* da permeabilidade à água de fachadas e divisórias preconizado, também, pelo IPT e, o método para determinação da estanqueidade à água empregado pela Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC).

Os ensaios foram realizados utilizando-se três corpos-de-prova para cada sistema construtivo, com dimensões de 1,20 m x 1,60 m (largura x altura). Primeiramente foram ensaiados sem revestimento e, após, com revestimento, composto por uma argamassa com proporção de 1:1:6 (cimento, cal e areia) nas espessuras de 1,5 cm na face exterior (submetida à água) e 1,0 cm na face interior. (HATTGE, 2004).

Os métodos de verificação *in situ* da permeabilidade à água (IPT) e o método para determinação da estanqueidade à água (CIENTEC), utilizados por Hattge (2004), são bem similares aos ensaios normatizados pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

O método de verificação *in situ* da permeabilidade consistiu em submeter os corpos-de-prova à presença de água com pressão constante por meio de uma câmara acoplada à parede. Nos blocos, tanto cerâmico como de concreto, sem revestimento, não foi possível realizar leitura na bureta graduada, pois houve grande infiltração de água nos corpos-de-prova. Os blocos cerâmicos com revestimento sofreram infiltração de 2.925 cm³ e os blocos de concreto com revestimento sofreram infiltração de 3.435 cm³, valores bem maiores se comparados ao sistema estudado. (HATTGE, 2004).

O método para determinação da estanqueidade consistiu em submeter os corpos-de-prova à película de água com pressão pneumática sobre a superfície, através de uma câmara entanque de formato prismática nas dimensões de 90 cm x 110 cm. O ensaio foi dividido em duas etapas, na primeira, a película de água é aplicada sem pressão, e na segunda, com pressão de 260 Pa. Em ambas etapas os corpos de prova foram avaliados visualmente, através da marcação das manchas de umidade na face oposta à câmara, nos tempos de 5, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 minutos,

para a primeira etapa, e, de 5, 15, 30, 60, 90 e 120 minutos, para a segunda etapa. Diferentemente do presente estudo, que submeteu as paredes por mais tempo à aspersão de água, porém, com menor pressão (50 Pa). (HATTGE, 2004).

Hattge (2004) observou que, tanto nas paredes de bloco cerâmicos, como nas de concreto, sem revestimento, o desempenho perante à estanqueidade não foi satisfatório, pois a área com manchas de umidade nos corpos-de-prova ao final dos testes foi de 1/3 da área, ou seja de aproximadamente 33,3%. Os corpos-de-prova, de ambos os sistemas de vedação, com revestimento, não apresentaram nenhuma mancha de umidade.

Rodrigues (2010) também analisou o desempenho quanto à estanqueidade de blocos cerâmicos, através de ensaio de permeabilidade à água, seguindo as especificações da NBR 15575 (ABNT, 2013). Testou na mesma parede de blocos cerâmicos, diferentes tipos de acabamento (sem revestimento, com selador acrílico, com selador acrílico mais tinta PVA, com selador acrílico mais tinta acrílica, com selador acrílico mais textura acrílica, com selador acrílica mais textura acrílica e tinta PVA e com selador acrílico mais textura acrílica e tinta acrílica) e argamassa de revestimento (proporção 1:1:6, industrializada e proporção de 1:2:9). Nos tempos de 0 a 60 minutos nenhum dos corpos-de-prova atendeu ao limite da Norma.

Moraes (2015) realizou um estudo para verificação do comportamento de elemento de vedação vertical externa constituído de painéis de PVC preenchidos com concreto quando submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico de acordo com o estabelecido na NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Verificou que, após serem submetidas aos 10 ciclos, os corpos-de-prova, paredes em tamanho real de Concreto/PVC, atenderam aos parâmetros de aceitabilidade da norma, “não apresentando deslocamentos horizontais instantâneos superiores ao exigido pela referida Norma e não apresentando danos aos painéis de PVC” (MORAES, 2015, p.7).

2.6.1.1 Estudos de desempenho em edificação de solo-cimento

O protótipo Casa Popular Eficiente, de uma edificação unifamiliar de interesse social, foi construído no campus da Universidade Federal de Santa Maria em 2013, com o objetivo principal de desenvolver ação concretas para redução do custo das moradias populares, adaptadas à realidade regional e que considerem itens importantes de sustentabilidade. (ROSSI et al., 2015).

Na execução da edificação utilizaram-se materiais alternativos de baixo impacto ambiental, como blocos de solo-cimento. Através desse protótipo foram desenvolvidas diversas linhas de pesquisas, dentre elas destacam-se os estudos de avaliação térmica e de avaliação acústica da casa.

Santos et al. (2015) analisaram, no período do verão, o comportamento térmico da Casa Popular Eficiente, verificando também se seu desempenho térmico se adequa às exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013). A avaliação do desempenho térmico da edificação seguiu os critérios da NBR 15575, utilizando-se o método simplificado e o método por medições. No método simplificado, os valores obtidos para o protótipo, de transmitância térmica para vedações verticais e coberturas, e, capacidade térmica para vedações verticais e área de abertura mínima para ventilação, são comparados com os valores admissíveis e mínimos da norma. Os cálculos de transmitância térmica e capacidade térmica foram realizados conforme a norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). Analisando os resultados, pelo método simplificado o protótipo atendeu às especificações da NBR 15575. No método por medições, o protótipo obteve um nível intermediário de desempenho. (SANTOS et al., 2015).

Rossi et al. (2015) realizou estudo para obtenção e avaliação dos índices acústicos de isolamento e absorção de fachadas e divisórias da construção, por meio de procedimentos experimentais, análise e emprego de métodos de cálculo, descritos em normas ISO. Também verificando se os índices obtidos se adequam os valores mínimos exigidos para desempenho acústico pela NBR 15575. Como resultado da pesquisa, os índices obtidos de isolamento de fachadas encontram-se dentro dos valores recomendados pela NBR 15575, mas, os índices de isolamento de divisórias internas ficaram abaixo do mínimo requerido.

3 MÉTODO

O estudo para avaliação do desempenho de sistema de vedação vertical externo (SVVE), constituído de blocos de solo-cimento, foi composto basicamente das seguintes etapas: revisão bibliográfica, caracterização do SVVE, construção dos corpos-de-prova, desenvolvimento dos ensaios e posterior análise dos resultados.

Para a caracterização do SVVE, foram realizados ensaios de análise do solo utilizado para fabricação dos blocos, no Laboratório de Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI), Campus Santo Ângelo, RS.

A construção dos corpos-de-prova em escala real e o desenvolvimento dos ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, seguindo as exigências de Habitabilidade e Sustentabilidade da NBR 15575 (ABNT, 2013).

Como exigência de Habitabilidade analisou-se o fator Estanqueidade, com a realização dos ensaios de Estanqueidade à água da chuva e Permeabilidade à água. E, como exigência de Sustentabilidade analisou-se os fatores Durabilidade e Manutenibilidade, com a realização do ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico. A Tabela 10, resume os parâmetros da norma referida utilizados para análise de desempenho dos corpos-de-prova.

Ambos os laboratórios, onde foram realizados os ensaios, possuem equipe técnica e estrutura adequada para realização dos testes conforme as normas utilizadas.

Os blocos e materiais para montagem dos corpos-de-prova foram fornecidos por uma empresa que produz os blocos de solo-cimento, comercializados como “tijolos ecológicos”. Conforme acordado com a empresa, será mantido o sigilo na divulgação da mesma.

Tabela 10 – Parâmetros da NBR 15575-4 adotados para avaliação

Exigência do Usuário	Fator	Requisito	Critério	Método de Avaliação
HABITABILIDADE	Estanqueidade (Item 10 – NBR 15575-4)	Infiltração de água nos sistemas de vedações externas (fachadas) (Item 10.1)	Estanqueidade à água de chuva, considerando-se a ação dos ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachadas) (Item 10.1.1)	Verificação, em laboratório, da estanqueidade à água de SVVE – Método de ensaio (Anexo C)
HABITABILIDADE	Estanqueidade (Item 10 – NBR 15575-4)	Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel (Item 10.2)	Estanqueidade de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – Áreas molhadas (Item 10.2.1)	Verificação da permeabilidade à água de SVVIE – Método de ensaio (Anexo D)
SUSTENTABILIDADE	Durabilidade e Manutenibilidade (Item 14 – NBR 15575-4)	Paredes externas – SVVE (Item 14.1)	Ação de calor e choque térmico (Item 14.1.1)	Verificação do comportamento de SVVE exposto à ação de calor e choque térmico – Método de ensaio (Anexo E)

Fonte: Elaborada pela autora.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SVVE

3.1.1 Componentes

O sistema de vedação vertical avaliado possui como elementos integrantes, ou seja, componentes: o bloco vazado de solo-cimento, a argamassa de assentamento, a armadura simples, o graute, o rejunte e a resina impermeabilizante.

3.1.1.1 Bloco vazado de solo-cimento

O bloco vazado de solo-cimento possui dimensões de 25 cm x 7 cm x 12,5 cm (Figura 22a e b), com furos na direção de prensagem (vertical) e constituído por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, em alguns casos, aditivos em proporções que permitam atender as exigências da norma. (ABNT, 2013).

O solo utilizado para fabricação dos blocos foi caracterizado através de análise granulométrica conforme a NBR 7181 (ABNT, 1988), determinação do limite de plasticidade conforme a NBR 7180 (ABNT, 1988) e determinação do limite de liquidez conforme a NBR 6459 (ABNT, 1984).

Figura 22 – a e b) Tijolo vazado de solo-cimento em estudo



Fonte: Arquivo da autora.

A análise granulométrica foi executada através de peneiramento, conforme determinação da NBR 10833 (ABNT, 2013). No ensaio de peneiramento, foi determinada a quantidade porcentual das partículas que passam e que são retidas nas peneiras nº 4, 10, 20, 40, 60, 100 e 200 (4,8; 2,0; 0,84; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm respectivamente).

Os ensaios de limite de liquidez e de plasticidade servem para determinar o teor de umidade do solo nos diferentes estados. O ensaio de limite de liquidez (LL) determinou a porcentagem de água presente no limite entre o estado líquido e o estado plástico, obtida através do aparelho de Casagrande, já descrito na revisão bibliográfica. O ensaio de limite de plasticidade (LP) determinou o grau de umidade, ou porcentagem de água, no limite entre o estado plástico e o semissólido, obtido através de ensaio manual. Esse ensaio manual consistiu em deslizar uma porção de solo umedecido sobre uma placa de vidro, até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento, conforme NBR 7180 (ABNT, 1988).

As características do solo, obtidas nos ensaios são expressas na Tabela 11, sendo estes, comparados com as determinações da NBR 10833 (ABNT, 2013), que trata dos procedimentos para fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica.

Através da tabela, observa-se que a porcentagem que passa na peneira nº 200, referente a 0,075mm, está abaixo do valor exigido por norma. Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), na classificação granulométrica adotada no Brasil, as partículas com diâmetro entre 0,06 mm e 0,002 mm são classificadas como siltes, e as partículas com diâmetro menor que 0,002 mm como argilas. Através disso, conclui-se que este solo possui baixo teor de argila e silte na sua composição. Para atender aos requisitos da norma seria necessária uma correção granulométrica, podendo ser realizada através da adição de argila na mistura do solo.

Tabela 11 – Análise do solo e requisitos da NBR 10833 (ABNT, 2013)

CARACTERÍSTICAS DO SOLO	SOLO TESTADO	EXIGÊNCIAS DA NBR 10833 (ABNT, 2013)
% passando na peneira nº4 (4,75mm)	100%	100%
% passando na peneira nº200 (0,075mm)	1,5%	10% a 50%
Limite de Liquidez	23,8	≤ 45
Limite de Plasticidade	18,0	≤ 18

Fonte: Elaborada pela autora.

Os demais requisitos (porcentagem passando na peneira nº 4, limite de liquidez e limite de plasticidade) foram atendidos. Quanto ao limite de liquidez, o qual o valor foi de 23,8%, ficando entre 0% e 30%, conclui-se que o solo em análise é arenoso, segundo classificação do CRATerre (1979) apresentada por Neves et al (2010, p.10), demonstrada na Tabela 2 (p. 18) do presente trabalho.

O cimento utilizado na mistura com o solo é o CP V-ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), da marca Cimpor Intercement, que atinge altas resistências nos primeiros dias, e continua ganhando resistência até os 28 dias. Segundo a especificação do fabricante⁴, a resistência do bloco fica entre os valores de 2 e 3 MPa, sendo o valor mínimo exigido pela NBR 10833 é 2 MPa (ABNT 2013). A mistura para produção dos tijolos ecológicos leva 87% de solo e 13 % de cimento, é feita mecanicamente, por meio de um multiprocessador, onde o solo é moído para obtenção de uma mistura homogênea. A água a ser acrescentada depende da

⁴ Laboratório de realização do ensaio não informado.

umidade do solo, e deve ser analisada após a mistura de solo e cimento ficar homogênea.

Ainda no multiprocessador, a mistura é peneirada e segue através de uma esteira até a prensa hidráulica (Figura 23), sendo compactada com 37 toneladas. Os elementos resultantes são armazenados em paletes, para sua cura durante 28 dias, sendo, nos primeiros 7 dias, mantidos úmidos por molhagens sucessivas e cobertos por lona plástica.

Figura 23 – Imagem ilustrativa do multiprocessador e prensa hidráulica



Fonte: (ALROMA, 2016).

3.1.1.2 Argamassa de assentamento

Os blocos foram assentados com a massa polimérica Verbamfix, indicada para alvenarias de vedação internas ou externas, sem função estrutural ou uso refratário. A massa já vem pronta para uso, não necessitando de adição de água ou outras substâncias. (VERBAMFIX, 2016).

3.1.1.3 Armadura simples

A armadura simples de ferro 8 mm foi utilizada para amarração estrutural do sistema, junto com o graute. No sentido vertical funcionam como colunas, e no sentido horizontal, funcionam como vigas.

3.1.1.4 Graute

O graute consiste em uma argamassa fluída utilizada para preenchimento de vazios formada por cimento, areia e outros aditivos com alta resistência mecânica (FREIRE; CAVALCANTE, 2012). Foi feita uma mistura nas proporções de 1:3:3 (cimento, areia, brita).

3.1.1.5 Rejunte

O rejuntamento das paredes foi feito com a Argamassa Weber Color Flex, na cor vermelha, de acabamento areado para juntas entre 5 mm e 20 mm e com resistência de 17 MPa aos 28 dias. Segundo o fabricante, possui na sua composição cimento, adjuvantes orgânicos e inorgânicos, e pigmentos minerais. A argamassa foi misturada em água, na dosagem de 1 litro de água para cada 5 kg de argamassa. (WEBER, 2016).

3.1.1.6 Resina impermeabilizante

A resina utilizada foi da marca Hydronorth, Resina Acrílica Impermeabilizante, com secagem final de 120 horas, recomendada para superfícies internas e externas, de acabamento aparente, como pedras e tijolos. Segundo o fabricante, a resina “tem como principal característica o poder de impermeabilização da superfície, conferindo alta resistência e durabilidade” (HYDRONORTH, 2016).

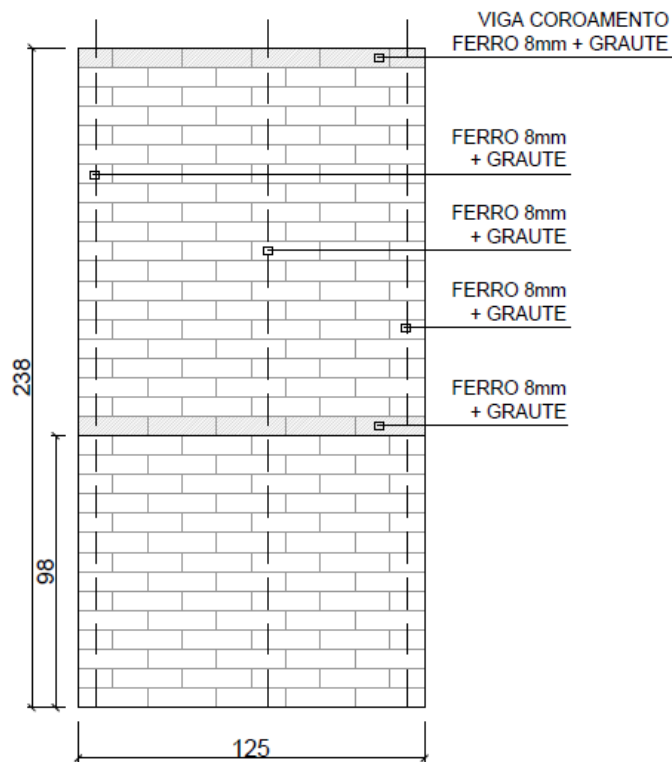
3.1.2 Elemento

O elemento consiste no sistema de vedação vertical composto por blocos vazados de solo-cimento. O sistema construtivo comercializado pelo fornecedor consiste nos blocos encaixados e assentados com argamassa, com armadura simples de ferro 8mm e grauteados nas extremidades laterais, formando colunas, e extremidade superior, formando uma viga de coroamento. Para acabamento são utilizados rejunte e resina impermeabilizante, obrigatório nas faces externas das paredes e opcional nas faces internas. No caso estudado, optou-se pelo acabamento apenas nas faces externas dos corpos-de-prova.

3.2 CONSTRUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

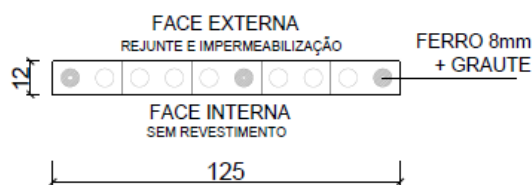
Os corpos-de-prova foram duas paredes em tamanho real (1,25 m x 2,38 m) edificadas com os blocos vazados de solo-cimento, no LEME (UFRGS), pela autora e dois membros da empresa fornecedora, com apoio da equipe técnica do laboratório. Para construção das paredes, foi seguido o modelo do sistema construtivo comercializado pela empresa fornecedora do material de ensaio (Figuras 24 e 25).

Figura 24 – Vista esquemática da construção do corpo-de-prova



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 25 – Corte esquemático da construção do corpo-de-prova



Fonte: Elaborado pela autora.

Para fins deste estudo, nomeou-se os corpos-de-prova como Parede A e Parede B. A Tabela 12 mostra as dimensões destes, bem como os acabamentos e respectivos ensaios realizados em cada parede.

Tabela 12 – Organização dos corpos-de-prova

Corpo-de-prova	Dimensões (m)	Acabamento face externa	Ensaio
PAREDE A	1,25X2,38	Rejunte e Impermeabilização	1.Estanqueidade 2.Ação de Calor e Choque Térmico
PAREDE B	1,25X2,38	Rejunte e Impermeabilização	1.Estanqueidade 2.Ação de Calor e Choque Térmico 3.Permeabilidade

Fonte: Elaborada pela autora.

Primeiramente foram montadas as bases para receber as paredes. Os ferros de 8 mm (5/16) foram soldados em uma base metálica de perfil C (Figura 26a), para posterior assentamento dos blocos (Figura 26b). Em cada parede (A e B) usaram-se três ferros na vertical, dois nas extremidades e um no meio da largura da parede.

A aplicação da argamassa de assentamento foi feita com auxílio de um aplicador do tipo bisnaga, de plástico, no formato de cordões de aproximadamente 1 cm (Figura 27a). A última fiada foi feita com blocos do tipo canaleta para execução da viga de coroamento (Figura 27b).

Figura 26 – a) Ferros soldados em uma base metálica de perfil C b) início do assentamento dos blocos



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 27 – a) Aplicação da massa para assentamento b) última fiada com tijolos do tipo canaleta



Fonte: Arquivo da autora.

Concluída a etapa de assentamento, iniciou-se a execução do graute. Os furos (vazios) a serem grauteados foram umedecidos previamente e o restante deles foram colmatados temporariamente com dispositivos plásticos, com diâmetro semelhante aos furos. Essa técnica foi utilizada com o objetivo de não obstruir os outros furos, que podem ser utilizados para passagem de tubulações.

Além de ser realizado em três pontos no sentido vertical e na viga de coroamento, o grauteamento também foi executado na altura de 0,98 metros, para segurança da estrutura, já que a altura das paredes foi de 2,38 metros (Figura 28a e b).

Figura 28 – a) Execução do graute a 0,98 m de parede b) graute pronto



Fonte: Arquivo da autora.

Após 24 horas do grauteamento, foi feito o rejunte das paredes (Figura 29a e b), que foram deixadas por 28 dias para cura completa do sistema. Completados os 28 dias, foram aplicadas três camadas de resina para impermeabilização. O rejunte e a resina foram aplicados apenas na face externa das paredes.

Figura 29 – a e b) Rejuntamento dos corpos-de-prova



Fonte: Arquivo da autora.

Assim, concluídas todas as etapas de construção dos corpos-de-prova, Parede A e Parede B, foram iniciados os ensaios.

3.3 DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS

Os ensaios, como citado anteriormente, foram realizados no Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre, RS, seguindo determinações da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), pela autora da pesquisa juntamente com a equipe técnica do LEME.

3.3.1 Habitabilidade

Para este estudo, analisou-se o fator Estanqueidade, através da realização dos ensaios de Estanqueidade à água da chuva e Permeabilidade à água, ambos seguindo determinações da norma referida.

3.3.1.1 Estanqueidade à água da chuva

Para verificação da estanqueidade à água da chuva foram utilizados dois corpos-de-prova, paredes cegas em tamanho real, com as dimensões de 1,25 m x 2,38 m (largura x altura), rejuntadas e impermeabilizadas na face externa, conforme indicado no item anterior. Ambas as paredes foram fixadas em uma estrutura de pórtico, para que elas ficassem simplesmente apoiadas nas extremidades inferiores e superiores (Figura 30a). Ainda, na metade da sua altura, receberam outro dispositivo de fixação, composto por dois suportes de madeira unidos entre si por barras rosqueadas, de forma a restringir a entrada de ar para aplicação de pressão na máquina (Figura 30b).

O ensaio seguiu orientação da NBR 15575 (2013) parte 4, que trata dos SVVIE, item 10, requisito 10.1 Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas), critério 10.1.1 Estanqueidade à água de chuva, considerando-se a ação dos ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachadas).

Utilizando o Anexo C da referida norma, o teste consistiu em submeter, durante 7 horas ininterruptas, a face externa dos dois corpos-de-prova do sistema de vedação vertical externa (SVVE) a uma vazão de água de 3l / min / m², criando uma película homogênea e contínua, com a aplicação simultânea de uma pressão pneumática sobre essa face de 50 Pa.

Figura 30 – a e b) Método de fixação do corpo-de-prova



Fonte: Arquivo da autora.

Para tal, a aparelhagem necessária foi uma câmara de ensaio de formato prismático com área útil de 1,10 m x 2,20 m (largura x altura), provida da aparelhagem exigida pelo Anexo C da norma referida (Figura 31). Vale ressaltar que, para evitar desperdício, toda a água foi reaproveitada através de um sistema com bomba de recalque, que será melhor explicado do item 3.3.2.1.

Figura 31 – Corpo-de-prova pronto



Fonte: Arquivo da autora.

Foram registrados, de forma visual com o uso de um cronômetro, para cada corpo-de-prova o tempo de ensaio quando do aparecimento da primeira mancha de umidade na face interna, oposta à incidência da água e pressão e a porcentagem da área da mancha de umidade ao final do ensaio em relação à área total da face interna.

3.3.1.2 Permeabilidade à água

Para verificação da permeabilidade à água, foi utilizada a parede B após os ensaios de estanqueidade e ação de calor e choque térmico. O ensaio seguiu orientação da NBR 15575 (ABNT, 2013) parte 4, item 10, que se refere à estanqueidade, requisito 10.2 Umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do Imóvel, critério 10.2.1 Estanqueidade de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – Áreas molhadas.

Utilizando os procedimentos do Anexo D, o teste consistiu em submeter um trecho de parede à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara em formato de caixa acoplada à parede, com dimensões internas de 34 cm x 16 cm (largura x altura). Para manter a pressão constante no interior da câmara e para medir o volume de água infiltrado no corpo-de-prova, foi utilizada uma bureta graduada em centímetros cúbicos (Figura 32a e b).

Figura 32 – a e b) Fotos do encaixe da câmara no corpo-de-prova



Fonte: Arquivo da autora.

Seguindo recomendações da normativa, a bureta foi encaixada na câmara, de maneira que sua boca tangenciou o nível de água no seu interior, isso para que, quando da infiltração de água no corpo-de-prova, o mesmo volume de água infiltrada foi repostado pela água contida na bureta, mantendo constante o nível de água no interior da câmara e permitindo a quantificação da água infiltrada.

Inicialmente a câmara de ensaio foi acoplada no corpo-de-prova, suas bordas seladas com silicone, e seu interior, bem como o da bureta, preenchido com água. Os níveis da água foram registrados no início do processo, aos 30 minutos e, às 1, 2, 4, 6 e 24 horas de ensaio, com o uso de um cronômetro, anotados em uma tabela de forma manual.

3.3.2 Sustentabilidade

Para este estudo analisou-se os fatores de Durabilidade e Manutenibilidade, através da realização do ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico, seguindo determinações da norma referida.

3.3.2.1 Ação de Calor e Choque térmico

Neste estudo, para verificação da ação de calor e choque térmico, foram utilizados os mesmos corpos-de-prova e dispositivos de fixação usados no ensaio de estanqueidade. O ensaio seguiu orientação da NBR 15575 (2013) parte 4, item 14, que se refere à durabilidade e manutenibilidade, requisito 14.1 Paredes externas (SVVE), critério 14.1.1 Ação de Calor e Choque Térmico, e foi realizado após o ensaio de estanqueidade à água.

Utilizando a normativa do Anexo E, da norma referida, foram ensaiados dois corpos-de-prova, devidamente apoiados nos bordos inferiores e superiores. O teste consistiu em submeter cada corpo-de-prova a 10 ciclos sucessivos de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de jatos de água, com o objetivo de simular as condições de exposição das fachadas durante a sua vida útil, ou seja, as variações de temperatura e umidade.

3.3.2.1.1 Aparelhagem

A aparelhagem utilizada foi uma câmara de ensaio, 5 termopares PT 100, registrador de temperaturas, dispositivo para fixação do corpo-de-prova e um deflectômetro eletrônico⁵.

Com o objetivo de fornecer calor para o corpo-de-prova de modo que ele atinja a temperatura desejada distribuída uniformemente em toda sua superfície, a câmara de ensaio, projetada e construído pela equipe técnica do LEME, possui dimensões úteis de 1,10 m x 2,20 m (largura x altura). Esse mesmo equipamento tem a função de promover a aspersão de água sobre o corpo-de-prova, portanto, o seu uso foi tanto para o aquecimento como para o resfriamento da face da parede (Figura 33a e b).

⁵ Aparelho utilizado para medir pequenos deslocamentos horizontais.

O sistema permite o reaproveitamento de água, tanto no ensaio de estanqueidade como no ensaio de ação de calor e choque térmico. Esse método evita o desperdício e reduz o impacto ambiental, já que, por exemplo, o ensaio de choque térmico utiliza aproximadamente 300 litros de água por ciclo, com um total de 3.000 litros de água por ensaio. Também, a água reaproveitada é mantida a uma temperatura controlada de 20 ± 5 °C, utilizando um sistema de resfriamento, onde o fluxo da água é mantido por uma bomba de recalque e filtro, para que os bicos de aspersão de água não sejam obstruídos. (LORENZI, 2013, p. 74).

Os termopares (Figura 34a), colocados junto à face exposta à ação de calor e choque térmico da parede, são sensores de temperatura acoplados a um *field logger* (Figura 34b), equipamento capaz de armazenar leituras de outros instrumentos de medição. Ele operou como um módulo remoto de medição em tempo real, não possuindo memória interna.

O *field logger* possui 8 canais de entrada de sinal, sendo que, para fins do ensaio em questão, foram utilizados 5 canais, configurados individualmente, conforme exigência da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Próximo ao termopar número 5, ainda foi adicionado um termopar (número 6) para controle da temperatura, ligado a um controlador (Figura 34c) instalado no painel radiante, sendo este programado para manter a temperatura estabilizada ao alcançar o valor desejado.

Figura 33 – a e b) Equipamento usado para aquecimento e resfriamento



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 34 – a) Termopar b) *field logger* c) controlador



Fonte: (MORAES, 2015)

Ainda, na face da parede oposta ao aquecimento e resfriamento, foi instalado um deflectômetro, com a finalidade de monitorar os deslocamentos horizontais do corpo-de-prova ao decorrer dos ciclos.

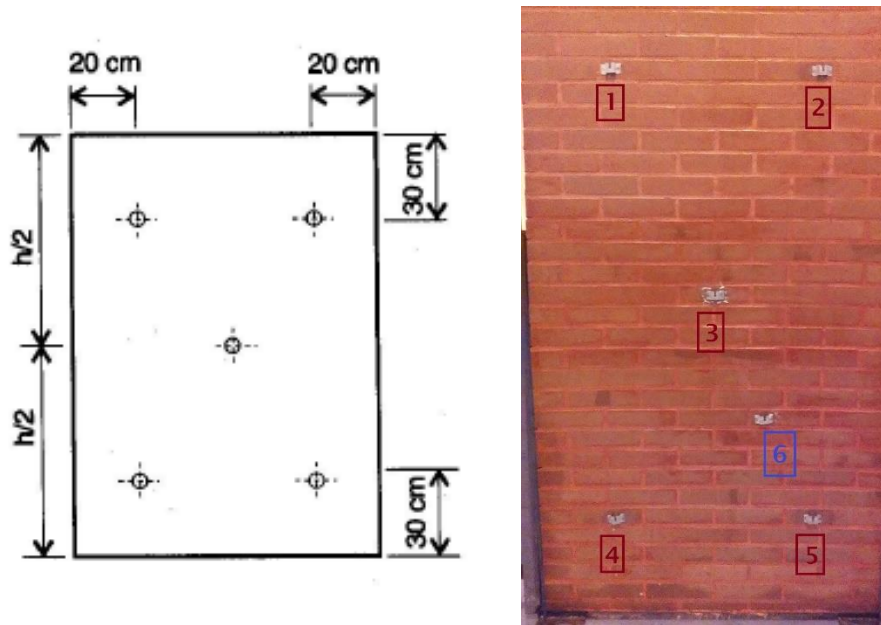
3.3.2.1.2 Preparação do Ensaio

Com o corpo-de-prova já fixado e posicionado, foram aparafusados os suportes para os termopares e selados com silicone, para não comprometer a impermeabilização da parede (Figura 35a e b). Após isso, os 6 termopares, já conectados ao *field logger*, foram posicionados nos suportes.

Assim, a câmara de ensaio radiante foi posicionada defronte ao corpo-de-prova, correspondente à face externa, neste caso a face rejuntada e impermeabilizada.

Para finalizar a preparação do corpo-de-prova, foi instalado o deflectômetro no ponto central, na face oposta à incidência de calor. O *field logger* foi conectado a um computador, através do qual se fez o monitoramento das temperaturas, através do programa computacional *FieldChart*. Esse roteiro de preparação de ensaio foi realizado igualmente em ambos os corpos-de-prova (Parede A e Parede B).

Figura 35 – a) Distribuição dos termopares conforme a NBR 15575 b) termopares fixados no corpo-de-prova



Fonte: (ABNT, 2013) e arquivo da autora.

3.3.2.1.3 Ensaio de Ação de Calor e Choque Térmico

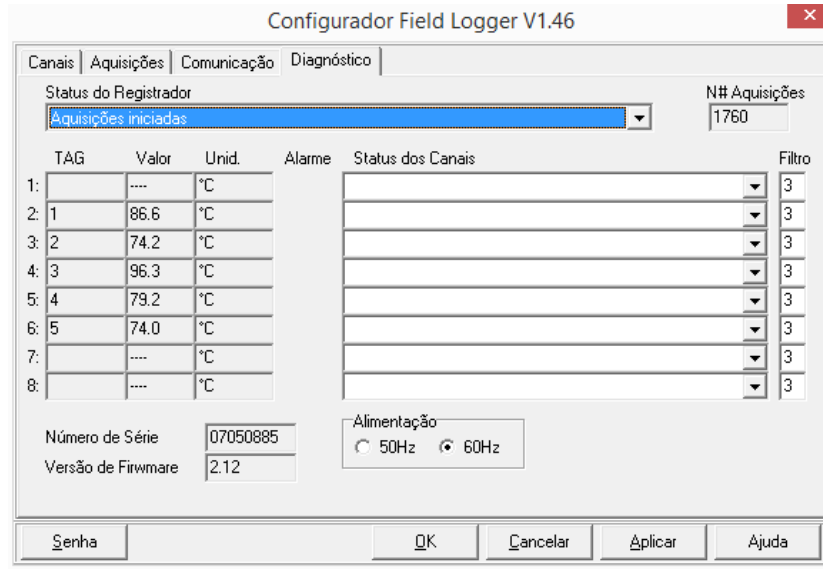
Pronto o corpo-de-prova para ensaio, ele foi submetido a 10 ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento, seguindo especificações da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). A primeira etapa consistiu em submeter o corpo-de-prova à ação do calor, e quando o mesmo atingiu a temperatura superficial de $80 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$, foi mantido nessa condição durante 1 hora.

Imediatamente após a supressão da radiação, foram submetidas à ação da água, onde a face do corpo-de-prova foi resfriada por meio de jatos de água aspergidos sobre toda sua superfície, até atingir a temperatura superficial igual a $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. O monitoramento dessas temperaturas foi realizado no computador, através do programa computacional *FieldChart* conectado ao *field logger* (Figura 36).

Os deslocamentos horizontais foram registrados após 45 minutos da estabilização da temperatura em $80 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ e, após o resfriamento, ao atingir a temperatura de $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Ao final dos dez ciclos, o painel foi afastado, para verificação da ocorrência de fissuras, trincas, deslocamentos ou outras deteriorações, através de

inspeção visual, em ambas as faces do corpo de prova. Esse procedimento foi realizado igualmente para ambos os corpos-de-prova, Parede A e Parede B.

Figura 36 – Exemplo do monitoramento das temperaturas no computador



Fonte: Arquivo da autora.

Seguindo a proposição de Lorenzi (2013), após este ensaio, foi realizado novamente, em ambas a paredes, o ensaio de estanqueidade, como forma de verificar, para além do visual, a degradação do sistema. Pois, segundo a autora, “a inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova” (LORENZI, 2013, p. 77).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir serão apresentados e analisados os resultados dos ensaios de estanqueidade e permeabilidade à água, ação do calor e choque térmico.

4.1 HABITABILIDADE: ENSAIO DE ESTANQUEIDADE À ÁGUA DA CHUVA

Segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013, p. 23), os SVVE da edificação habitacional “devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, ou escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna”. Podem ocorrer pequenas manchas de umidade, com percentual indicado na Tabela 13, conforme o tipo de edificação.

Tabela 13 - Estanqueidade à água da chuva de vedações verticais externas

EDIFICAÇÃO	TEMPO DE ENSAIO	PERCENTUAL MÁXIMO DA SOMA DAS ÁREAS DAS MANCHAS DE UMIDADE NA FACE OPOSTA À INCIDÊNCIA DE ÁGUA, EM RELAÇÃO À ÁREA TOTAL DO CORPO-DE-PROVA AO FINAL DO ENSAIO
TÉRREA (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7 horas	10%
COM MAIS DE UM PAVIMENTO (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7 horas	5%

Fonte: Adaptado de NBR 15575 (ABNT, 2013).

Sendo o sistema estudado de uso em edificações térreas e sem função estrutural, o percentual máximo da área de manchas permitido é de 10%. Os corpos-de-prova possuem dimensões de 1,25 m x 2,38 m (largura x altura), resultando em uma área de 2,975 m². Portanto, a área permitida das manchas de umidade na face oposta à incidência de água após o ensaio de estanqueidade é de 0,2975 m².

Como ambos os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico, para fins de nomenclatura, a parede A foi subdividida em Ensaio de

Estanqueidade 1 da Parede A (EE1A) e Ensaio de Estanqueidade 2 da Parede A (EE2A), referente ao primeiro e ao segundo ensaio de estanqueidade, respectivamente. Da mesma maneira a parede B foi subdividida em Ensaio de Estanqueidade 1 da Parede B (EE1B) e Ensaio de Estanqueidade 2 da parede B (EE2B).

As análises dos corpos-de-prova foram realizadas visualmente e as áreas de manchas de umidade foram calculadas aproximadamente (arredondadas para cima) baseadas nas dimensões de um bloco de 25 cm x 12,5 cm x 7 cm (comprimento x largura x altura), conforme mostram as Figuras 37 e 38.

Observa-se, nos dois corpos-de-prova, tanto no primeiro como no segundo ensaio, a ocorrência de uma mancha contínua na base. Essa mancha é devida a falta de vedação da base de apoio da parede. Através disso, pode-se concluir que sem a impermeabilização (resina), provavelmente o sistema não é estanque à água.

Figura 37 – a) Parede A - Análise visual da face interna após o primeiro (EE1A) e b) segundo (EE2A) ensaio de estanqueidade à água da chuva



Fonte: Arquivo da autora.

Figura 38 – a) Parede B - Análise visual da face interna após o primeiro (EE1B) e b) segundo (EE2B) ensaio de estanqueidade à água da chuva



Fonte: Arquivo da autora.

Para organizar os dados de ensaio e verificar a adequação a NBR 15575-4 foi elaborada a Tabela 14. Com ela verificou-se que os dois corpos-de-prova, tanto antes como após o ensaio de ação de calor e choque térmico, estão dentro dos limites estabelecidos pela norma.

Tabela 14 – Análise do ensaio de estanqueidade à água

ENSAIO/CORPO-DE-PROVA	ÁREA MOLHADA DA FACE INTERNA	ALTERAÇÃO NA FACE EXTERNA	MÁXIMA ÁREA MOLHADA PERMITIDA PELA NBR 15575-4
EE1A	0,11 m ²	Não	0,2975 m ²
EE2A	0,23 m ²	Não	0,2975 m ²
EE1B	0,12 m ²	Observou-se mancha em um bloco	0,2975 m ²
EE2B	0,14 m ²	Não	0,2975 m ²

Fonte: Elaborada pela autora.

Para fins de complementação da análise, usou-se o estudo de Hattge (2004) já citado no item 2.6.1 da revisão bibliográfica. Comparando-se os dados de Hattge (2004) com os obtidos neste estudo, pode-se concluir que, os sistemas de vedação compostos por blocos cerâmicos e blocos de concreto, apresentaram melhor desempenho à estanqueidade que o sistema de blocos de solo-cimento. Isso provavelmente se deve ao fato de que estes sistemas receberam revestimentos mais espessos, tanto na face exterior com interior.

Observa-se que mesmo sem esse revestimento espesso nas duas faces, apenas com a resina aplicada na face exterior, o sistema analisado alcançou desempenho satisfatório. Como foi verificada uma mancha na face externa, provavelmente devido ao desgaste da resina, esse desempenho pode ser questionável no decorrer dos anos, principalmente devido à ação de chuvas, incidência solar e falta de manutenção.

Dessa forma, para um melhor desempenho à estanqueidade da água da chuva, o sistema de impermeabilização poderia ser melhorado, como por exemplo, com a aplicação de uma argamassa de revestimento mais espessa nas duas faces. Ou ainda, se tratando de um material ecológico, poderia ser utilizado um revestimento de menor impacto ambiental, como uma argamassa de terra crua, com ou sem adição de cimento.

4.2 HABITABILIDADE: ENSAIO DE PERMEABILIDADE À ÁGUA

Para o ensaio de verificação da permeabilidade do SVVE, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) especifica que a quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm³, por um período de 24 h, na área exposta. Através da Tabela 15, onde foram organizadas as leituras coletadas durante o ensaio, verificou-se que a parede não atendeu aos limites da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Com base na análise de outros estudos, de Hattge (2004) e Rodrigues (2010), citados no item 2.6.1 da revisão bibliográfica, levantou-se a possibilidade de haver uma limitação da especificação da norma, devido à defasagem do real resultado prático encontrado para este teste.

Tabela 15 – Análise do ensaio de permeabilidade

TEMPO DE ENSAIO	VOLUME DE ÁGUA INFILTRADA (cm³)
Início	0,0
30 minutos	36,0
1 hora	11,6
2 horas	17,8
4 horas	18,0
6 horas	16,5
24 horas	54,0
VOLUME TOTAL	153,9

Fonte: Elaborada pela autora.

No estudo de Hattge (2004) os blocos cerâmicos com revestimento sofreram infiltração de 2.925 cm³ e os blocos de concreto com revestimento sofreram infiltração de 3.435 cm³, valores bem maiores se comparados ao sistema estudado.

No estudo de Rodrigues (2010), nota-se que, mesmo testando vários tipos de impermeabilização, as amostras não conseguiram atingir o limite especificado pela NBR 15575 (ABNT, 2013), assim como o objeto estudado, que utilizou um tipo de pintura impermeabilizante e também não atendeu a esses limites.

Como sugerido no teste de estanqueidade à água da chuva, o sistema de impermeabilização para este teste também poderia ser melhorado com a aplicação de uma argamassa de revestimento mais espessa nas duas faces, preferencialmente de menor impacto ambiental. Caso tivesse sido utilizado para estes ensaios, provavelmente o desempenho do sistema seria mais favorável.

4.3 SUSTENTABILIDADE: ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO

Como parâmetros de aceitabilidade a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) recomenda os seguintes critérios:

- a) não apresentar deslocamento horizontal instantâneo, que é medido após 45 minutos da estabilização da temperatura, no plano perpendicular ao corpo de prova superior a $h/300$, onde h é a altura do corpo de prova;
- b) não apresentar ocorrência de falhas, como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema de vedação vertical externo.

Os corpos-de-prova ensaiados possuem altura de 2.380 mm, portanto o deslocamento horizontal instantâneo máximo permitido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) é de 8,0 mm. Os deslocamentos da parede A são apresentados na Tabela 16 e os deslocamentos da parede B na Tabela 17. Em cada ciclo, para fins de nomenclatura, Dhi é o deslocamento horizontal instantâneo medido após 45 minutos da estabilização da temperatura em 80 ± 3 °C; Dhr é o deslocamento horizontal residual medido após o resfriamento da parede a temperatura de 20 ± 5 °C; e, Dh é o deslocamento horizontal total sofrido pela parede a cada ciclo.

Tabela 16 – Deslocamentos horizontais da Parede A

PAREDE A			
CICLOS	Dhi (mm)	Dhr (mm)	Dh (mm)
1	0,85	0,21	0,64
2	0,60	0,18	0,63
3	0,51	0,03	0,66
4	0,64	0,03	0,64
5	0,73	0,03	0,73
6	1,03	0,11	0,95
*7	0,95	0,25	0,70
8	0,59	0,33	0,51
9	0,39	0,25	0,47
10	0,35	0,21	0,39

*os ciclos 7, 8, 9 e 10 foram realizados em dia diferente dos primeiros ciclos. A temperatura registrada para o dia foi de aproximadamente 10°C, portanto um dia frio.

Fonte: elaborada pela autora.

É possível notar, observando a Tabela 16, que o deslocamento instantâneo máximo da parede A foi no ciclo 6 é de 1,03 mm. Levando-se em consideração a recomendação da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), a qual especifica que o deslocamento instantâneo máximo permitido deve ser de 8,0 mm, conclui-se que os deslocamentos observados na parede A estão dentro do limite.

É possível notar, observando a Tabela 17, que o deslocamento instantâneo máximo da parede B foi no ciclo 6 é de 1,02 mm. De forma análoga, conclui-se que os deslocamentos observados na parede B também estão dentro do limite.

Tabela 17 – Deslocamentos horizontais da Parede B

PAREDE B			
CICLOS	D _{hi} (mm)	D _{hr} (mm)	D _h (mm)
1	0,95	0,43	0,52
2	0,23	0,16	0,39
3	0,34	0,16	0,50
4	0,66	0,10	0,56
5	0,52	0,04	0,48
*6	1,02	0,51	0,51
7	0,40	0,14	0,64
8	0,47	0,04	0,43
*9	0,99	0,58	0,41
10	0,57	0,17	0,40

*os 5 primeiros ciclos foram realizados em um dia; os ciclos 6, 7 e 8 em outros; e os ciclos 9 e 10 em outro. A temperatura registrada para o dia foi de aproximadamente 10 °C, portanto um dia frio.

Fonte: Elaborada pela autora.

Também foram observados em quanto tempo as paredes atingiam os 80 ± 3 °C e os 20 ± 5 °C, ou seja, o tempo de aquecimento e o tempo de resfriamento dos corpos-de-prova (Tabelas 18 e 19).

Tabela 18 – Tempo de aquecimento e resfriamento da Parede A

PAREDE A		
CICLOS	t _a (min)	t _r (min)
1	68	3
2	32	2
3	36	4
4	30	5
5	32	8
6	25	8
*7	45	3
8	43	1
9	39	1
10	26	1

*os ciclos 7, 8, 9 e 10 foram realizados em dia diferente dos primeiros ciclos.

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota-se que o maior tempo de aquecimento registrado foi de 68 minutos no ciclo 1, isso se deve ao fato de ser o primeiro ciclo realizado, exigindo mais tempo para aprendizado da maneira de ajustar a máquina e as temperaturas. Os menores tempos de resfriamento foram registrados nos ciclos 8, 9 e 10, este fato pode ser explicado pela baixa temperatura da água utilizada para a aspersão, registrada em 5 °C. Nos ciclos 5 e 6 observa-se o maior tempo de resfriamento, pois nestes ciclos a

máquina de resfriamento de água não foi ligada e registrou-se uma temperatura de água da aspersão de 22°C.

Tabela 19 – Tempo de aquecimento e resfriamento da Parede B

CICLOS	PAREDE B	
	ta (min)	tr (min)
1	20	5
2	30	5
3	30	5
4	20	3
5	22	2
6	25	3
7	32	4
8	28	4
9	28	3
10	38	3

Fonte: Elaborada pela autora.

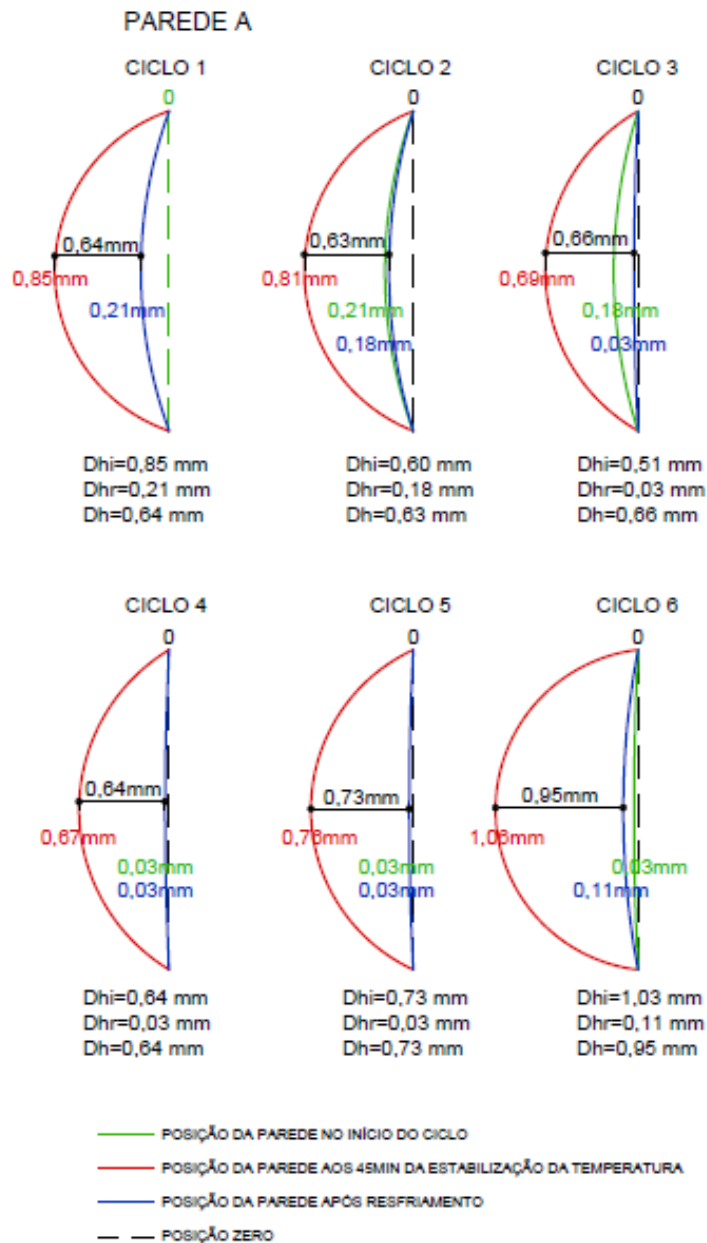
Na Parede B observa-se um equilíbrio nos tempos de aquecimento e resfriamento, esse fato poder ser explicado pelo aprimoramento da técnica de ajuste do painel radiante e pela manutenção da temperatura da água para aspersão entre 15 e 25°C.

Seguindo a metodologia da monografia desenvolvida por Moraes (2015), para melhor entendimento dos deslocamentos sofridos pelas paredes, foram esquematizados os primeiros 6 ciclos de cada parede (Figuras 60 e 61).

O valor do deslocamento total (Dh) é encontrado através da distância entre a posição da parede aos 45 minutos da estabilização da temperatura e a posição da parede após o resfriamento. Por exemplo, no ciclo 1, onde a linha verde não aparece, porque o corpo-de-prova parte do zero, a posição da parede após 45 minutos à 80±3 °C é de 0,85 mm e a posição após o resfriamento (Dhr) é de 0,21 mm. Assim, pela diferença desses valores obtém-se um deslocamento total de 0,64 mm, conforme cotado na Figura 60.

Porém, o valor de Dh também depende da posição inicial da parede. Por exemplo, no ciclo 2, onde a posição inicial é de 0,21 mm (posição que parou no ciclo 1) e a posição após 45 minutos à 80±3 °C é de 0,81 mm, tem-se um Dhi de 0,60 mm, resultante da diferença desses dois valores. Com Dhr de 0,18 mm, tem-se um deslocamento total (Dh) de 0,63 mm, resultante da soma do Dhi com a diferença entre posição inicial e posição após o resfriamento (Dhr).

Figura 60 – Representação esquemática dos 6 primeiros ciclos da Parede A



Fonte: Elaborada pela autora.

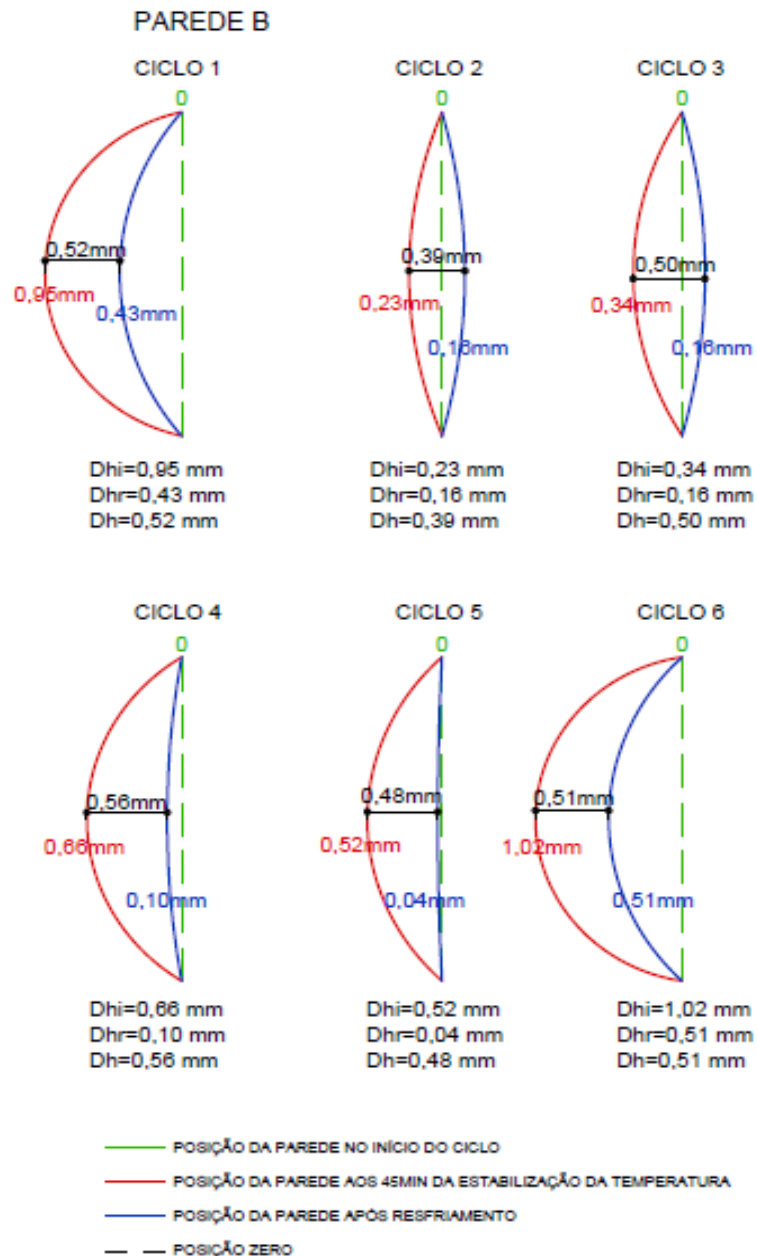
Na representação esquemática da Parede A, observa-se que em todos os ciclos, ela praticamente volta à sua posição inicial após o resfriamento à 20 ± 5 °C, mostrando que a parede não sofre deslocamentos significativos quando exposta à ação de calor e choque térmico.

Nos ciclos da Parede B (Figura 61), todos eles foram iniciados na posição zero, portanto, o valor do deslocamento total (D_h) foi encontrado através da distância entre

a posição da parede aos 45 minutos da estabilização da temperatura e a posição da parede após o resfriamento.

Na representação esquemática da Parede B observa-se que na maioria dos ciclos, ela praticamente volta à sua posição inicial após o resfriamento à $20\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, com exceção dos ciclos 1 e 6. Na Parede B também se observa a diminuição dos valores de deslocamento totais (D_h) em relação à Parede A. Acredita-se que esse fato se deve ao melhor entendimento e aprimoramento da técnica de ajuste da câmara de ensaio, por ser a segunda parede a ser testada.

Figura 61 – Representação esquemática dos 6 primeiros ciclos da Parede B



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Na Tabela 20 pode-se ver uma síntese dos resultados dos ensaios realizados neste estudo.

Tabela 20 – Síntese dos resultados

ENSAIO	RESULTADO DE ACORDO COM A NBR 15575 (ABNT,2013)
ESTANQUEIDADE À ÁGUA DA CHUVA	Aprovado
PERMEABILIDADE À ÁGUA	Desempenho mínimo não atingido
AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO	Aprovado

Fonte: Elaborada pela autora.

5 CONCLUSÕES

O levantamento bibliográfico realizado demonstrou que diante do cenário atual da construção civil, onde muitos impactos ambientais são gerados por esse setor, a utilização de materiais de construção inovadores e sustentáveis, como a terra, é de grande valia para manter a qualidade de vida atual e garantir a das gerações futuras.

Sendo hoje, a questão habitacional um dos maiores problemas sociais no Brasil, há a exigência de soluções compatíveis com a situação socioeconômica, ou seja, emprego de tecnologias alternativas, que utilizem matérias primas naturais, renováveis ou não, abundantes na região de aplicação, que possibilitem a redução dos custos da construção.

Dentre essas tecnologias, o sistema estudado, composto por blocos vazados de solo-cimento, se adequa às exigências atuais, por seu baixo custo e pela possibilidade de autoconstrução. Porém, para se difundir o seu uso, se fazem necessárias pesquisas para conhecimento de suas propriedades.

Portanto, o presente trabalho objetivou a avaliação do desempenho desse sistema, balizada pela NBR 15575 (ABNT, 2013), baseada nos quesitos de Habitabilidade e Sustentabilidade, contribuindo para que se conheça o material antes de utilizá-lo, diminuindo os riscos e garantindo a qualidade que o mercado exige, além de, possibilitar a proposição de soluções para melhorias do sistema.

Através da análise do solo, que fez parte da caracterização do objeto de estudo, verificou-se que a composição deste não atendeu à NBR 10833 (ABNT, 2013) no ensaio de análise granulométrica por peneiramento, sendo constatado o baixo teor de argila, portanto um solo arenoso. Sendo arenoso, o solo se torna mais poroso e permeável, portanto, influenciando diretamente na estanqueidade e permeabilidade do material.

Através dos resultados do ensaio de estanqueidade à chuva, verificou-se que ambos os corpos-de-prova atenderam aos parâmetros indicados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Mesmo após o ensaio de ação de calor e choque térmico, as paredes continuaram atendendo aos parâmetros, mostrando que o sistema continua estanque com a ação do tempo. Com a constatação de que a mancha contínua na base foi devida à falta de vedação da base da parede, conclui-se que, sem a impermeabilização o sistema perde suas propriedades de estanqueidade.

Através dos resultados do ensaio de permeabilidade à água, verificou-se que ele não atendeu às exigências da NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Porém, a partir da análise de outras pesquisas, levantou-se a possibilidade de haver uma limitação da especificação da norma, devido à defasagem do real resultado prático encontrado para este teste.

Para melhoria do desempenho à estanqueidade, tanto no teste de estanqueidade à água da chuva como no de permeabilidade à água, sugeriu-se a melhoria do sistema de impermeabilização, com a aplicação de uma argamassa de revestimento mais espessa nas duas faces, interna e externa. Ou ainda, pensando nas questões de sustentabilidade, poderia ser utilizado um revestimento de menor impacto ambiental, como uma argamassa de terra crua, com ou sem adição de cimento.

Através dos resultados do ensaio de ação de calor e choque térmico, constatou-se que ambos os corpos-de-prova atenderam aos limites estabelecidos por norma em todos os seus ciclos. Verificou-se também que as paredes, em quase todos os ciclos, praticamente voltaram à sua posição inicial após o resfriamento à 20 ± 5 °C, mostrando que a parede não sofre deslocamentos significativos quando exposta à ação do tempo.

Com esta pesquisa, foi possível verificar que o sistema de vedação estudado possui grande potencial como material construtivo, principalmente para moradias populares, pois além de ser um material de menor impacto ambiental e baixo custo, apresentou bom desempenho quanto à estanqueidade da água da chuva e também quanto à ação de calor e choque térmico, que simulou a ação do tempo sobre o material.

Esta pesquisa não esgotou as avaliações de desempenho do solo-cimento, de acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013). Outros desempenhos, como o estrutural, o térmico, o acústico e o contra incêndio, devem ser avaliados para um adequado entendimento das características e do comportamento do sistema construtivo, para que seu uso cresça no setor da habitação social e da construção civil em geral.

Considerando que persistem no país os problemas relativos ao elevado índice de população de baixa renda sem moradia, vivendo em condições desumanas, a busca de alternativas que promovam condições de habitabilidade à esta parcela da população, aliada à sustentabilidade, requer esforços conjuntos do governo, empresários, universidades e centros de pesquisas. Portanto, as análises do sistema

construtivo de blocos de solo-cimento devem ter continuidade, pela grande importância e amplitude de pesquisas que ainda se fazem necessárias para comprovar sua eficiência.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação aos componentes do bloco vazado de solo-cimento, sugere-se avaliar as diferentes relações de argila e areia, na composição do bloco em relação à estanqueidade.

Dado que o teste de estanqueidade foi feito no sistema construtivo, incluindo a resina impermeabilizante, e que o seu comportamento aferido não avaliou a degradação deste material de impermeabilização com o tempo, sugere-se, para trabalhos futuros, avaliar a necessidade de manutenção da resina (reaplicação) ou de utilizar uma argamassa de revestimento mais espessa e de menor impacto ambiental, avaliando diferentes possibilidades de impermeabilização.

Outras exigências do usuário em relação ao sistema, segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), podem ser avaliadas, como: segurança contra o fogo; segurança estrutural; segurança no uso e na operação; desempenho térmico; desempenho acústico; desempenho lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico, e impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**. Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**. Análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, 1968.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**. Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833**. Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento. Rio de Janeiro, 2013.
- ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das Misturas de Solo-Cimento: Normas de Dosagem e Métodos de Ensaio**. Estudo Técnico 35. 54p. São Paulo, 1986.
- ALROMA. Palmas, PR, 2016. Disponível em <<http://www.alroma.com.br/maquina/6/multiprocessador-400l>>. Acesso em 05 de junho de 2016.
- BARBOSA, N. P. Transferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes. In: FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi (Comp.). Coletânea Habitare Volume 2. **Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ISBN, 2003. p. 12-39.
- BARBOSA, N.; MATTONE, R.; MESBAH, A. Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante para a Sustentabilidade da Construção. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO; 2002, Belo Horizonte, Minas Gerais.
- BAYER, A. P. **Proposta de diretrizes para o desenvolvimento da arquitetura em terra no Rio Grande do Sul, a partir da interpretação de estratégias uruguaias**. 2010. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2010.
- BOUTH, J. A. C. **Estudo da Potencialidade da Produção de Tijolos de Adobe misturado com outros materiais – Uma alternativa de Baixo Custo para a Construção Civil**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Centro

de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

CBIC, CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de Edificações Habitacionais: Guia Orientativo para Atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013**. Brasília, DF: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CORDEIRO, M. E. V. M.; CONCEIÇÃO, P. M.; LIMA, T. V. A educação ambiental e o uso do solo-cimento. Revista Vértices do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFF), Essentia Editora, Campos dos Goytacazes, RJ, v.8, n.1, (2006).

CORREIA, M. Universalidade e diversidade da arquitectura de terra. In: 10ª MESA REDONDA DE PRIMAVERA – TERRA: FORMA DE CONSTRUIR, 2006, Lisboa. **Anais eletrônicos...** Lisboa, 2006. Disponível em: <<http://www.aldeia.org/portal/user/documentos/MCorreia.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

DALLACORT et al. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFCG, Campina Grande, PB, v.6, n.3, p.511-518, 2002.

FERREIRA, R. C. **Desempenho Físico-mecânico e Propriedades Termo Físicas de Tijolos e Mini-Painéis de Terra Crua Tratada com Aditivos Químicos**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FREIRE, A. S.; CAVALCANTE, J. R. Avaliação do potencial de uso de agregado reciclado nas aplicações destinadas ao sistema construtivo em alvenaria estrutural: bloco, graute e argamassa. In: 14º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. Juiz de Fora. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2012. P. 1.599-1.608.

GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com o uso de tijolos de terra crua para construções urbanas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

GUERREIRO, V. da S. **[Tra]edição Limitada: Arquitectura de terra**. 2009. 228 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009.

HATGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em bloco cerâmicos e alvenarias em bloco de concreto**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HYDRONORTH. Cambé, PR, 2016. Disponível em:
<<http://hydronorth.com/projetos/Produtos.aspx?Id=248>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

LIMA, F. X. R. F. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. 2013. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade de Brasília, Brasília.

LORENZI, L. S. **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse sociais térreas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LOURENÇO, P. **Arquitetura de terra: uma visão do futuro. PlanetaCADestudo**, Companhia de Arquitectura e Design, Portugal, 2005. Disponível em:
<http://planetacad.com/PresentationLayer/ResourcesUser/Documentos/estudos/STUDY_Terra_futuro.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2014.

MELO et al. Desempenho estrutural de protótipo de alvenaria construída com blocos de terra crua estabilizada. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 111-124, 2011.

MINKE, G. **Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual**. 2. ed. Montevideo: Editora Fin de Siglo, 2005.

MORAES, F. R. **Sistema de vedação vertical externo composto por concreto e PVC frente ao ensaio de ação de calor e choque térmico – Norma de Desempenho NBR 15575/2013**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra**. [S.l.]: Rede Ibero-americana PROTERRA, 2010. Disponível em:
<<http://www.redproterra.org>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

NEVES, C. M. M.; CARNEIRO, A. P.; COSTA, D. B. Uso do agregado reciclado em tijolos de solo estabilizado com cimento. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001. p. 228-260.

PASSOS, M. E. M.; LIMA, S. M. Z.; SANTOS, F.A. Utilização de tijolos de solo-cimento na construção de casas populares: treinamento de mão-de-obra e resultados. In: ENEGEP, 2001.

PENTEADO, P. T.; MARINHO, R.C. **Análise comparativa de custo e produtividade dos sistemas construtivos: alvenaria de solo-cimento, alvenaria com blocos cerâmicos e alvenaria estrutural com blocos de concreto na**

construção de uma residência popular. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção Civil) - Departamento Acadêmico de Construção Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR.

PINTO, L. M. **Estudo de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção civil.** 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Estruturas e Construção Civil – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

PONTE, M. M. C. C. da. **Arquitetura de Terra: o desenho para a durabilidade das construções.** 2012. 316 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

RODRIGUES, A. H. **Estanqueidade de alvenaria revestida com diferentes argamassas e acabamentos: aplicação da NBR 15575-4/2008.** 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERARDO A. L. Análise Comparativa da Resistência à Compressão Simples de Corpos-de-Prova, Tijolos e Painéis de Solo-Cimento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFCG, Campina Grande, PB, v.3, n.1, p.89-92, 1999.

ROSSI et al. Avaliação de Propriedades Acústicas da “Casa Popular Eficiente”. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (Euro ELECS), 2015, Guimarães. Anais... Guimarães: Portugal, 2015. p. 945-953.

SANTOS et al. Avaliação Térmica de Casa Popular Eficiente no Período de Verão. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (Euro ELECS), 2015, Guimarães. Anais... Guimarães: Portugal, 2015. p. 227-236.

SILVA, C. G. T. da. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua.** 2000. 155 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.arca.fiocruz.br/xmlui/handle/icict/4736>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

SILVA et al. Avaliação de painéis de tijolos prensados de solo-cimento incorporados com resíduos de calçados (EVA). Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.3.2, p.44-49, 2008. Disponível em: <www.dema.ufcg.edu.br/revista.htm>. Acesso em 20 mai. 2016.

SILVA; MENDES; LADCHUMANANANDASIVAM. Análise das propriedades mecânicas e térmicas de tijolos de solo-cimento com e sem adição do pó da fibra de coco. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA (CONEM), 2000, Natal. Anais...Natal: UFRN, 2000.

SOUZA; SEGANTINI; PEREIRA. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental da UFCG, Campina Grande, PB, v.12, n.2, p.205–212, 2008.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Construção em terra: o passado, o presente e o futuro. **Arte & Construção**, Portugal, out. 2009. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10742>>. Acesso em: 03 jan. 2014.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. Portugal: TecMinho, 2010.

WEBER. Disponível em <<http://www.weber.com.br/argamassas-e-rejuntas.html>>. Acesso em: 10 de jun. 2016.

VALENCIANO; FREIRE. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. Revista Engenharia Agrícola Jaboticabal, v.24, n.3, p.484-492, 2004.

VERBAMFIX. Sapucaia do Sul, RS, 2016. Disponível em <<http://www.verbamfix.com.br>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

VISINTAINER, M. R. M.; CARDOSO, L. A.; VAGHETTI, M. A. O. Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e ambiental. Revista de Arquitetura da IMED, v. 1, n.2, p. 133-140, 2012.

ZANONI, V. A. G.; SÁNCHEZ, J. M. M. Sistemas construtivos inovadores: uma abordagem analítica a partir das diretrizes e dos documentos de avaliação técnica do SINAT. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: USP, 2012.