

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS

Francielly Las-Casas de Assis

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE JUNTA DE ASSENTAMENTO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ALVENARIAS
CONFECCIONADAS COM TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Belo Horizonte
2024

Francielly Las-Casas de Assis

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE JUNTA DE ASSENTAMENTO NO
COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ALVENARIAS
CONFECCIONADAS COM TIJOLOS ECOLÓGICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Mestre em Engenharia de Estruturas”.

Orientador: Prof. Dr. White José dos Santos
Coorientador: Prof. Dr. Lucas Ribeiro dos Santos

Belo Horizonte

2024

A848i

Assis, Francielly Las-Casas de.

Influência do tipo de junta de assentamento no comportamento mecânico de alvenarias confeccionadas com tijolos ecológicos [recurso eletrônico] / Francielly Las-Casas de Assis. - 2024.

1 recurso online (73 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: White José dos Santos.

Coorientador: Lucas Ribeiro dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 65-73.

1. Engenharia de estruturas - Teses. 2. Alvenaria - Estruturas - Teses. 3. Argamassa - Teses. 4. Solo-cimento - Teses. 5. Sustentabilidade - Teses. I. Santos, White José dos. II. Santos, Lucas Ribeiro dos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 624(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS



**ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
Nº: 409 DA ALUNA FRANCIELLY LAS-CASAS DE ASSIS**

Às **15:00** horas do dia **14** do mês de **agosto** de **2024**, reuniu-se em ambiente virtual, na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora indicada pelo Colegiado do Programa em **09 de agosto de 2024**, para julgar a defesa da Dissertação de Mestrado intitulada "**Influência do Tipo de Junta de Assentamento no Comportamento Mecânico de Alvenarias Confeccionadas com Tijolos Ecológicos.**", cuja aprovação é um dos requisitos para a obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS na área de ESTRUTURAS.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. White José dos Santos**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof. Dr. White José dos Santos - DEMC - UFMG (Orientador)
Prof. Dr. Lucas Ribeiro dos Santos - DEES -UFMG (Coorientador)
Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas - DEES - UFMG
Prof. Dr. José Carlos Lopes Ribeiro - UFV

Pelas indicações acima, a candidata foi considerada APROVADA, conforme pareceres em anexo.

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão.

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 14 de agosto de 2024.

Observações:

- 1) A aprovação da candidata na defesa da Dissertação de Mestrado não significa que a mesma tenha cumprido todos os requisitos necessários para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Estruturas;
 - 2) Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo do Coordenador do Programa de Pós-Graduação.
-



Documento assinado eletronicamente por **White Jose dos Santos, Professor do Magistério Superior**, em 14/08/2024, às 18:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Membro de comissão**, em 16/08/2024, às 10:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Ribeiro dos Santos, Professor do Magistério Superior**, em 16/08/2024, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **José Carlos Lopes Ribeiro, Usuário Externo**, em 19/08/2024, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3454191** e o código CRC **0CB571C4**.

Agradecimentos

Primeiramente, expresso minha imensa gratidão ao Dr. White José dos Santos, meu orientador, cuja paciência, conhecimento e constante encorajamento foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua orientação precisa e seu comprometimento com o desenvolvimento desta pesquisa foram essenciais para a conclusão desta dissertação. Agradeço a confiança depositada em mim e por todo o apoio prestado ao longo dessa caminhada.

Ao Dr. Lucas Ribeiro dos Santos, meu coorientador, sou igualmente grata pelas contribuições valiosas, pelos dias de laboratório e por sempre estar disponível para auxiliar com suas sugestões pertinentes e enriquecedoras para esta pesquisa.

Expresso também minha gratidão ao meu marido, por sua ajuda essencial na confecção dos corpos de prova para os ensaios. Sua disposição e apoio prático foram fundamentais para o desenvolvimento dos experimentos.

Agradeço à Doutoranda Fernanda e ao Mestrando Dabdon pela colaboração nas atividades gerais do trabalho e pela ajuda indispensável no laboratório. O comprometimento e a assistência de ambos contribuíram significativamente para o andamento desta pesquisa.

À empresa Tractebel, onde atuo, expresso meu profundo agradecimento pela compreensão e pela disponibilidade concedida, permitindo que eu pudesse cursar o Mestrado com a tranquilidade necessária.

Não posso deixar de agradecer ao Centro Multiusuário de Análise Experimental de Estruturas (CEMAEES) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) por fornecer os recursos laboratoriais que tornaram possível a realização dos experimentos desta dissertação.

Resumo

Construções em alvenaria de tijolos ecológicos são amplamente executadas devido à sua praticidade, baixo custo e sustentabilidade. Diante disto, a tecnologia de construção em terra se torna atraente em países em desenvolvimento devido a sua facilidade de execução e baixo custo. Também vem se tornando atraente para países desenvolvidos por ter uma característica sustentável, quando comparada as metodologias construtivas convencionais. Este trabalho propõe o estudo da influência das juntas de assentamento no comportamento mecânico da alvenaria confeccionada com tijolos ecológicos. Para tal, foi desenvolvido um programa experimental contemplando prismas e pequenas paredes construídos com diferentes tipos de junta: argamassa de assentamento, argamassa colante e cola PVA. A resistência média à compressão dos tijolos ecológicos foi influenciada pelas diferentes condições de umidade: secos em estufa (10,47MPa), condição ambiente (6,92MPa), com umidade relativa de 90% (5,79MPa) e saturados (3,88MPa). A argamassa colante e a argamassa convencional apresentaram resistência à compressão 1,36 e 0,99 vezes o valor da resistência à compressão dos tijolos, respectivamente. A resistência à compressão de prismas e pequenas paredes também foi impactada pelas juntas sendo os valores: 3,26MPa e 4,86MPa (argamassa colante), 2,84MPa e 4,01MPa (argamassa convencional), 1,86MPa e 1,87MPa (PVA). Isto convergiu para um aumento de resistência à compressão de 75% e 52% da argamassa colante e convencional (respectivamente) em relação aos prismas de com PVA e de 2,60 e 2,14 vezes de aumento para estas pequenas paredes. O modo de ruptura observado nos prismas de argamassa colante e argamassa convencional foi por tração nos tijolos. Já nas pequenas paredes, além da tração nos tijolos, foi observada também o esmagamento das unidades nas laterais dos corpos de prova. Já para os prismas e pequenas paredes de cola PVA foram observadas fissuras por tração por todo o corpo de prova além do esmagamento das unidades, caracterizado pelo lascamento de detritos. Conclui-se que junta de assentamento, que além de solidarizar os tijolos, teve por função transmitir de maneira uniforme os esforços, evitando o acúmulo de tensões e a falha local das unidades, conferindo ao sistema de tijolo ecológicos uma maior resistência. Dentre os tipos de juntas estudadas, àquela que apresentou melhor eficiência na distribuição das tensões internas foi a argamassa colante, possivelmente em razão da sua maior resistência à compressão e tração/aderência devido a presença de adições poliméricas além do cimento.

Palavras-chave: argamassa; solo cimento; alvenaria estrutural; alvenaria solo cimento.

Abstract

Ecological brick masonry constructions are widely carried out due to their practicality, low cost and sustainability. Given this, earthen construction technology becomes attractive in developing countries due to its ease of implementation and low cost. It has also become attractive to developed countries because it has a sustainable characteristic, when compared to conventional construction methodologies. This work proposes the study of the influence of laying joints on the mechanical behavior of masonry made with ecological bricks. To this end, an experimental program was developed including prisms and small walls constructed with different types of joints: laying mortar, adhesive mortar and PVA glue. The average compressive strength of ecological bricks was influenced by different humidity conditions: oven-dried (10.47MPa), ambient condition (6.92MPa), with relative humidity of 90% (5.79MPa) and saturated (3.88MPa). The adhesive mortar and conventional mortar presented compressive strength 1.36 and 0.99 times the compressive strength of bricks, respectively. The compressive strength of prisms and small walls was also impacted by the joints, with values being: 3.26MPa and 4.86MPa (adhesive mortar), 2.84MPa and 4.01MPa (conventional mortar), 1.86MPa and 1.87MPa (PVA). This converged to an increase in compressive strength of 75% and 52% for adhesive and conventional mortar (respectively) in relation to PVA prisms and a 2.60 and 2.14 times increase for these small walls. The rupture mode observed in the sticky mortar and conventional mortar prisms was due to traction in the bricks. In the small walls, in addition to the traction in the bricks, the crushing of the units on the sides of the test specimens was also observed. As for the prisms and small PVA glue walls, traction cracks were observed throughout the entire test piece in addition to the crushing of the units, characterized by the chipping of debris. It is concluded that the laying joint, which in addition to solidifying the bricks, had the function of uniformly transmitting the efforts, avoiding the accumulation of tensions and local failure of the units, giving the ecological brick system greater resistance. Among the types of joints studied, the one that presented the best efficiency in distributing internal stresses was the adhesive mortar, possibly due to its greater resistance to compression and traction/adhesion due to the presence of polymeric additions in addition to cement.

Keywords: mortar; soil cement; structural masonry; soil cement masonry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa de taipa de mão.	16
Figura 2 - Tijolo maciço e tijolo vazado de solo cimento – dimensões mínimas.	18
Figura 3 - Estado de tensões atuantes nos blocos e junta de argamassa: (a) Argamassa com menor resistência que as unidades (b) argamassa com maior resistência que as unidades.	22
Figura 4 - Variação da resistência à compressão da alvenaria em função da resistência do bloco.	22
Figura 5 - Curvas de tensão-deformação típicas para alvenaria e arg. de solo cimento.....	23
Figura 6 - Influência da granulometria da areia aderência à tração de prismas de solo cimento.	24
Figura 7 - Falhas típicas de prismas com diferentes espessuras de juntas.	25
Figura 8 - Variação na resistência à compressão úmida de prismas em relação à espessura da junta de assentamento.	25
Figura 9 - Evolução da resistência à compressão de blocos de solo cimento.	27
Figura 10 - Evolução da resistência à compressão de blocos de solo cimento.	27
Figura 11 - Esquema para ensaios de determinação da resistência do prisma.	28
Figura 12 - Modelos de prismas.	28
Figura 13 - Relação eficiência prisma/bloco.	29
Figura 14 - Croquis dos modos de falha de prismas.	30
Figura 15 - Esquema para ensaios de determinação da resistência de pequenas paredes.	30
Figura 16 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.....	32
Figura 17 - Padrão de falha de prismas de alvenaria.....	32
Figura 18 - Padrão de falha de prismas de alvenaria.....	33
Figura 19 - Padrão de falha de corpos de prova de alvenaria.....	33
Figura 20 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.....	34
Figura 21 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.....	34
Figura 22 - Ruptura final da parede – junta seca.....	35
Figura 23 – Padrões de fissura parede – junta seca (a) e junta de argamassa (b).....	35
Figura 24 – Esquematização da pesquisa proposta.	39
Figura 25 - Dimensões dos tijolos de solo cimento (cm).....	41

Figura 26 – Aferição das dimensões dos tijolos de solo cimento em 3 pontos distintos.	
Figura 27 – Etapas de caracterização dos tijolos em relação à absorção de água.	41
Figura 28 – Preparação dos corpos de prova para realização dos ensaios à compressão simples.	42
Figura 29 – Preparação dos corpos de prova prismáticos de argamassa.	43
Figura 30 – Ensaios de caracterização argamassa.	44
Figura 31 – Confeção dos prismas de argamassa colante (a), argamassa convencional (b) e PVA (c).	45
Figura 32 – Ensaio dos prismas.	45
Figura 33 – Confeção das pequenas paredes de argamassa colante (a), argamassa convencional e PVA (c).	45
Figura 34 – Instrumentação e realização de ensaio de compressão em pequenas paredes.	46
Figura 35 – Resistência média dos tijolos.	48
Figura 36 – Gráfico tensão x deformação corpos de prova submersos 6h (CP6).	49
Figura 37 – Gráfico tensão x deformação tijolos secos em estufa (TE).	49
Figura 38 – Gráfico tensão x deformação tijolos em condição ambiente (TA).	50
Figura 39 – Gráfico tensão x deformação tijolos com 90% de umidade relativa (T90).	50
Figura 40 – Gráfico tensão x deformação tijolos saturados (TS).	50
Figura 41 – Gráficos tensão x deformação axial dos prismas de argamassa Colante (a), argamassa de assentamento convencional (b) e cola PVA (c).	53
Figura 42 – Fissuras típicas prismas – (a) argamassa colante, (b) argamassa convencional, (c) cola PVA.	57
Figura 43 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de AC – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.	59
Figura 44 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de ARG – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.	60
Figura 45 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de PVA – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.	62
Figura 46 – Resistências médias à compressão.	64
Figura 47 – Acúmulo de argamassa nos furos verticais das pequenas paredes.	66
Figura 48 - Estado de tensões atuantes nos blocos e junta de argamassa: argamassa com maior resistência que as unidades.	66
Figura 49 – Fissuras típicas pequenas paredes – (a) argamassa colante, (b) argamassa convencional, (c) cola PVA.	67
Figura 50 – Resistência característica esperada para alvenaria.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Proporções de solo adequadas para confecção de solo cimento.	17
Tabela 2 – Teores de cimento para confecção de solo cimento.	18
Tabela 3 – Dimensões mínimas.	19
Tabela 4 – Fatores de correção para a resistência à compressão de prismas de alvenaria.	37
Tabela 5 – Valores de ϕ em função da quantidade de elementos de alvenaria.	37
Tabela 6 – Valores de ϕ em função da quantidade de elementos de alvenaria.	38
Tabela 7 – Ensaio de caracterização dos tijolos de solo cimento conforme ABNT NBR 8492, 2012.	40
Tabela 8 – Ensaio de compressão simples tijolos de solo cimento inteiros.	42
Tabela 9 – Resultados do ensaio de análise dimensional.	47
Tabela 10 – Tensão de ruptura tijolos de solo cimento.	48
Tabela 11 – Módulo de deformação secante tijolos	51
Tabela 12 – Resistência à compressão e tração na flexão argamassa.	52
Tabela 13 – Médias, desvio padrão (D. P.) e coeficiente de variação (C. V.) das resistências à compressão dos prismas de solo cimento.	55
Tabela 14 – Módulo de deformação secante prismas.	57
Tabela 12 – Módulo de deformação secante pequenas paredes.	63
Tabela 16 – Resistência à compressão axial pequenas paredes.	64
Tabela 17 – Resistência característica esperada para alvenaria.	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Construção em solo cimento e tijolos ecológicos	15
2.2 Tijolo de solo cimento.....	17
2.3 Juntas de assentamento.....	20
2.3.1 Argamassa de assentamento.....	20
2.3.2 Juntas finas	26
2.4 Prismas e pequenas paredes	27
2.5 Modos de falha de alvenaria de terra.....	31
2.6 Modelos matemáticos de estimativa da resistência da alvenaria.....	35
2.6.1 Modelos teóricos	36
2.6.2 Formulações baseadas na resistência de prismas e pequenas paredes.....	37
2.6.3 Tabelas e ábacos.....	38
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	39
3.2.1 Caracterização dos tijolos de solo cimento	40
3.2.2 Caracterização das argamassas e cola PVA	43
3.2.3 Prismas e pequenas paredes	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Tijolo.....	47
4.2 Argamassa.....	51
4.3 Prismas	52
4.4 Pequenas paredes	58
4.5 Análise comparativa da resistência esperada da alvenaria	68
5 CONCLUSÃO	71
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	73
6 REFERÊNCIAS	74

1

INTRODUÇÃO

No último século surgiram várias iniciativas para tornar a construção civil mais sustentável, na tentativa de definir parâmetros e alternativas para realização de práticas que dependam de recursos advindos do meio ambiente, a preservação dos recursos naturais passou a ser prioridade nas políticas destinadas à construção civil (JARDIM *et al.*, 2019). Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2017), a construção civil é uma das atividades que mais consome recursos naturais e gera resíduos. Nesse contexto, surge uma alternativa sustentável de construção: alvenaria em solo cimento (JARDIM *et al.*, 2019). Para Hema *et al* (2021), há uma necessidade crescente em utilizar materiais sustentáveis e economicamente acessíveis para construção de edifícios, principalmente nos países em desenvolvimento.

Diante disto, a tecnologia de construção em terra se torna atraente em países em desenvolvimento devido a sua facilidade de execução e baixo custo. Também vem se tornando atraente para países desenvolvidos por ter uma característica sustentável, quando comparada as metodologias construtivas convencionais (LAN, 2023). As construções em solo cimento são amplamente utilizadas em virtude das principais vantagens trazidas pelo modelo construtivo: material base disponível no local (solo), baixo custo, maior conforto térmico e destaca-se ainda por ser uma solução sustentável (JABRI, 2022; MICCOLI, MULLER, FONTANA, 2014; SAJANTHAN, BALAGASAN, SATHIPARAN, 2019).

Segundo Hema *et al* (2021), ambientes construídos com alvenaria de terra estabilizada têm demonstrado desempenho satisfatório na regulação da temperatura interna em regiões mais quentes, evitando-se o superaquecimento durante o dia. Como desvantagens, pode apresentar paredes mais espessas, perda de resistência na saturação e erosão devido ao impacto da chuva. Essas desvantagens podem ser minimizadas ou eliminadas com a utilização de técnicas de estabilização e compactação (MURMU, PATEL, 2018; LAN, 2023; PACHECO-TORGAL, JALALI, 2012; REDDY, LAL, RAO, 2009). Entretanto, o estudo das propriedades físicas e

mecânicas dos materiais constituintes da alvenaria de terra é essencial para avaliar seu desempenho quando comparado às metodologias construtivas convencionais (JABRI, 2022).

A construção com alvenaria constituída de blocos de terra tem despertado o interesse mundial nas últimas décadas (Dorado *et al*, 2022). O bloco de terra comprimida e estabilizada é uma das técnicas mais modernas e mais proeminente das construções em terra, sendo sua resistência à compressão uma propriedade chave para o projeto de estruturas (TRIPURA; KASINIKOTA, 2023).

Ao longo dos anos, diversas pesquisas foram realizadas acerca do comportamento de alvenaria de terra estabilizada sob esforços de compressão axial. Reddy e Gupta (2006b), Reddy e Gupta (2007) e Reddy, Lal e Rao (2009) estudaram a variação do tipo, resistência, granulometria da areia utilizada na argamassa e espessura das juntas no comportamento de prismas. Vimala e Kumarasamy (2014) pesquisaram sobre o efeito da variação da umidade na resistência à compressão de prismas. Ferreira e Moreno (2011) realizaram estudos com prismas confeccionados com diferentes tipos de argamassa: cimentícia, solo cimento e cola PVA. Miccoli, Muller e Fontana (2014) ensaiaram e observaram os modos de falha de pequenas paredes confeccionadas por três técnicas distintas de construção: bloco intertravado, taipa e cob. Fundi, Kaluli e Kinuthia (2018) avaliaram a resistência e os modos de falha de paredes constituídas de bloco de terra sem juntas de assentamento. Sajanthan, Balagasan e Sathiparan (2019) realizaram estudos com prismas confeccionados com argamassas de diferentes resistências. Jabri *et al.* (2022) avaliaram a resistência e o modo de falha de prismas preenchidos com argamassa e de paredes armadas e grauteadas sem juntas de assentamento. Joyklad, *et al.* (2022) ensaiaram paredes com tijolos intertravados, sem a utilização de argamassa para avaliação da resistência e dos modos de falha. Lan, Weng e Zhang (2023) ensaiaram prismas assentados com argamassas de diferentes resistências e analisaram os diferentes modos de falha.

Nesse contexto insere-se a necessidade de compreender melhor o comportamento da alvenaria com tijolos ecológicos. O conhecimento do funcionamento conjunto dos blocos e dos materiais utilizados na junta de assentamento pode ajudar a difundir a prática construtiva, bem como dar subsídios para elaboração de normativas que contemplem e regulamentem a aplicação estrutural desse tipo de alvenaria.

Diante disto, o objetivo geral deste trabalho é caracterizar a influência dos tipos de juntas no comportamento mecânico de prismas e pequenas paredes compostos por tijolos de solo cimento e definir as indicações e limitações dos tipos de juntas em função do uso como alvenaria estrutural.

Para alcançar o objetivo proposto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as características das unidades de solo cimento (tijolos) quanto as normativas;
- Avaliar os materiais empregados nas juntas de assentamento (argamassa convencional, argamassa colante e cola PVA);
- Estudar o efeito da variação do tipo de junta (argamassa convencional, argamassa colante e cola PVA) no comportamento mecânico de prismas e pequenas paredes, analisando a resistência à compressão e os modos de falha.

2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Construção em solo cimento e tijolos ecológicos

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo composto por: unidades (tijolos ou blocos), elemento ligante (argamassas, adesivos), e eventualmente graute e armadura (MOHAMAD, 2015). As unidades são as principais responsáveis pelas características resistentes da estrutura. Devido as suas diferentes formas, são também responsáveis pela modulação das construções. Os materiais mais difundidos para a confecção das unidades (blocos, tijolos) são a cerâmica, concreto, material sílico-calcário e solo cimento. Este sistema construtivo é utilizado há muitos anos pelo homem, seja em habitações, templos religiosos e monumentos (MOHAMAD, 2015). Algumas delas são antigas e bastante conhecidas como: pirâmide de Quéops, que foi construída com mais de dois milhões de blocos de pedra; o farol de Alexandria, que tem altura superior a 130 metros; e as catedrais góticas, que datam da Idade Média e possuem vãos expressivos construídos em arcos e abóbadas (ACCETTI, 1998). A existência de construções antigas em alvenaria estrutural em bom estado de conservação, comprova o potencial e a durabilidade desse processo construtivo (MOHAMAD, 2015).

Assim com o uso das pedras, a possibilidade da utilização de recursos naturais para construção deu destaque à construção com terra, técnica de baixo impacto ambiental, com abundante matéria prima e de fácil obtenção (Bogas *et al.*, 2023). Para Pacheco-Torgal e Jalali (2012), não existe um consenso sobre a data que o homem começou a utilizar a técnica de construção em terra. Contudo pode-se afirmar que a construção em terra teve origem com o início das primeiras sociedades agrícolas, período de 12000 a 7000 a.C. Podem ser citados diversos edifícios de terra construídos no passado e que permanecem até hoje: a muralha da China, construída há aproximadamente 3000 anos e que possui trechos em taipa; o templo Horyuji no Japão construído há 1300 anos; as ruínas da cidade de Chanchán no Peru estão entre um dos mais antigos registros de construção em terra. No Brasil, as construções em terra podem ser identificadas na arquitetura colonial, com diversas construções em regiões urbanas e rurais (GIRALDELLI *et al.*, 2020).

A técnica varia desde a construção com adobes, obtidos através da mistura de terra e água, construções com taipa, uma mistura de terra e madeira (Figura 1), tijolos de terra estabilizados, obtidos através da compactação do material e cob, técnica que consiste em moldar paredes monolíticas com uma mistura de terra, água e palha (PACHECO-TORGAL e JALALI, 2012).

Figura 1 - Casa de taipa de mão.



Fonte: Giraldelli (2020).

Apesar de ter sido empregada amplamente em todo o mundo e ter se mostrado durável, a construção com terra foi gradualmente marginalizada, sobrevivendo apenas entre as populações menos favorecidas, devido a seu baixo custo. O desenvolvimento industrial e a produção de materiais mais duráveis contribuíram significativamente para o abandono da técnica (ABCP, 1984; GIRALDELLI *et al.*, 2020; SANTOS, 2020).

De acordo com Pacheco-Torgal e Jalali (2012), ao longo dos anos muitos países desenvolveram normativas relacionadas a construção em terra, com destaque para a Nova Zelândia que possui uma das regulamentações mais avançadas sobre construção em terra. No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) publicou alguns boletins relativos à dosagem de solo cimento (ABCP, 1984; BURROUGHS, 2008; PACHECO-TORGAL, JALALI, 2012). Segundo Miranda *et al.*, (2017) a técnica de construção com terra tem se modernizado nas últimas décadas, para atender principalmente à demanda de construções mais duráveis, de baixo custo, rápidas e seguras. Nesse contexto, destaca-se a produção de blocos de terra estabilizados, que permite ter unidades de geometria padronizada e com melhor controle de qualidade.

2.2 Tijolo de solo cimento

Blocos ou tijolos de solo cimento são obtidos através da mistura de solo, cimento (estabilizador), água e a compactação sob pressão dessa mistura. O desempenho do produto se dá em função das características do solo e da dosagem da mistura (SITTON *et al.*, 2018). Segundo ABCP (1984) e Reddy e Gupta (2006b), os solos arenosos são mais adequados para confecção de blocos de solo cimento. Geralmente o teor de cimento empregado varia de 6% a 10% para blocos de solo cimento utilizados na construção de edificações de 2 a 3 andares. ABCP (1984) destaca que o consumo de cimento está diretamente relacionado a uniformidade e calibre dos grãos.

Quando há incidência maior de silte e argila ou quando os grãos possuem tamanhos muito uniformes, há um aumento no teor de cimento necessário à estabilização do solo. Em contrapartida, é necessário que os solos tenham um teor mínimo da fração fina, devido à coesão proporcionada pela compactação do material (REDDY, GUPTA, 2006b). Contudo, ressalta-se que se o solo elegido não possuir as características desejáveis a confecção de solo cimento, pode-se realizar a correção misturando-o com outros solos a fim de se obter a proporção desejada (ABCP, 1984).

Augusto e Enteiche (1963), Merrill (1949), ICPA (1973), Houben (1975) e ABCP (1984) apresentaram proporções de solo adequadas para confecção de paredes/blocos de solo cimento. As proporções estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Proporções de solo adequadas para confecção de solo cimento.

	Teor de areia (%)	Teor de silte (%)	Teor de argila (%)	Teor de silte + argila (%)	Limite de Liquidez (%)
CINVA (1963)	45 a 80	-	-	20 a 55	-
ICPA (1973)	60 a 80	10 a 20	5 a 10	-	-
MERRILL (1949)	> 50	-	-	-	-
HOUBEN (1975)	40 a 70	0 a 30	20 a 30	-	-
ABCP (1984)	45 a 90	-	< 20	10 a 55	< 45

Fonte: Construída a partir de CINVA (1963), MERRILL (1949), ICPA (1973), HOUBEN (1975) e ABCP (1984)

Para determinação do teor de cimento a ser utilizado a ABCP (2004) indica que a melhor maneira é comparar as características do solo (granulometria, origem geológica, coloração, consistência etc.) com solos testados anteriormente. Na ausência de testes anteriores, recomenda-se adotar os teores de cimento sugeridos na Tabela 2. Em relação ao tipo de cimento

mais adequado para confecção de blocos de solo cimento, a ABCP (2000) especifica apenas que o cimento a ser utilizado deve obedecer às normas brasileiras pertinentes (CASTRO, SILVA, 2011).

Tabela 2 – Teores de cimento para confecção de solo cimento.

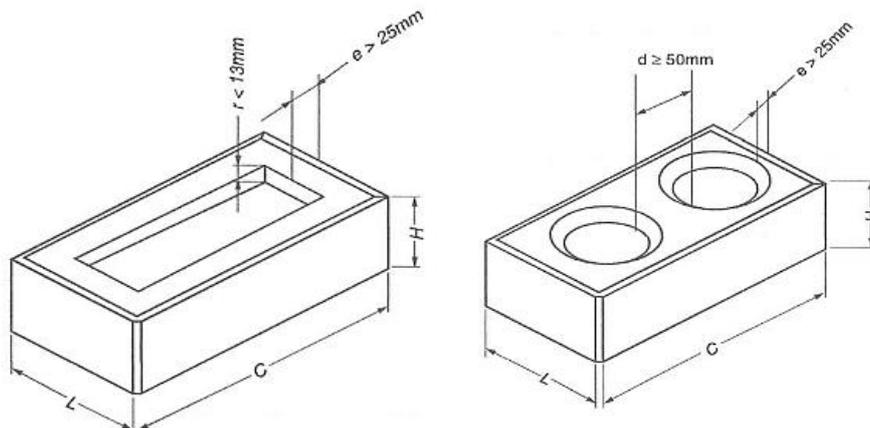
Classificação do solo segundo a AASHTO (M 145)	Teor de cimento em massa (%)
A1-a	5
A1-b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fonte: ABCP (2004).

A produção dos tijolos de solo cimento se dá através de prensas manuais ou hidráulicas, dispensando a queima em fornos. O princípio fundamental da fabricação das unidades é a compactação estática, onde a mistura de solo cimento umedecida é submetida a pressões elevadas dentro de formas metálicas para formar os blocos com a geometria desejada. Os blocos são imediatamente desmoldados e colocados para secar (MIRANDA *et al.*, 2017).

Os tijolos de solo cimento podem ser maciços ou vazados. Os maciços podem apresentar reentrâncias nas faces maiores e os vazados tem furos verticais que os tornam mais leves e permitem a incorporação de reforços (Figura 2) (ABNT NBR 8491, 2012). As reentrâncias permitem uma construção mais rápida e fácil, promovida pelo empilhamento dos blocos, eliminando a necessidade de utilizar argamassa nas juntas (MIRANDA *et al.*, 2017).

Figura 2 - Tijolo maciço e tijolo vazado de solo cimento – dimensões mínimas.



Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

A norma brasileira que especifica os requisitos dimensionais bem como as propriedades físicas e mecânicas dos tijolos em solo cimento é a NBR 8491 (ABNT, 2012), cujas dimensões mínimas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões mínimas.

TIPOS	COMPRIMENTO (mm)	LARGURA (mm)	ALTURA (mm)
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: NBR 8491 (ABNT, 2012).

Em relação à resistência à compressão da unidade, a referida norma especifica a resistência média mínima de 2,0MPa e a resistência individual mínima de 1,7MPa. Em relação à absorção de água, é especificado que a média deve ser de menor que 20% e a absorção individual deve ser menor que 22%. A amostragem para realização dos ensaios de compressão e de absorção de água é de 7 tijolos e 3 tijolos respectivamente, para um lote de 10.000 unidades (ABNT NBR 8492, 2012).

Destaca-se os experimentos realizados por Vimala e Kumarasamy (2014) buscaram analisar a resistência da alvenaria de solo cimento no estado seco e úmido. Para tal, foram realizados ensaios em prismas confeccionados com blocos estabilizados combinados com argamassas de cimento e de solo cimento. As principais conclusões obtidas pelos autores foram que as resistências à compressão de blocos e prismas são menores quando o ensaio é realizado com os elementos úmidos; tanto a resistência no estado seco e no estado úmido dos prismas diminui com a redução da resistência da argamassa, sendo que, aumentos significativos na resistência da argamassa não levam a uma melhoria relevante na resistência da alvenaria e; a alvenaria úmida é menos sensível à resistência da argamassa quando comparada com a alvenaria seca.

Reddy, Lal e Rao (2007) ensaiaram tijolos estabilizados com cimento nas proporções de 4% e 8%. Os ensaios realizados com as unidades na condição seca, identificaram um aumento de resistência à compressão entre 45% e 86% quando do aumento do percentual de cimento. Quando ensaiados à compressão na condição saturada, os tijolos estabilizados com 4% de cimento sofreram uma redução na resistência entre 47% e 81%, já os tijolos estabilizados com 8% de cimento sofreram uma redução de resistência entre 44% e 55%. Os autores concluíram que o aumento na proporção de cimento contribuiu para o aumento da resistência dos tijolos na condição seca, bem como reduziu a perda de resistência na condição saturada. Sitton, *et al.*,

(2018) também realizaram experimentos com tijolos estabilizados com diferentes percentuais de cimento e observaram que em todos os casos, os tijolos apresentaram redução na resistência à compressão quando saturados. Os autores também concluíram que quanto maior a porcentagem de cimento utilizado na estabilização das unidades, maior a resistência à compressão, tanto no estado seco quanto saturado. Os estudos realizados por Sore *et al.*, (2018) com tijolos de solo cimento convergem com os resultados de Sitton, *et al.*, (2018) e Reddy, Lal e Rao (2007).

Destaca-se que a norma brasileira NBR 8492 (2012) coloca como pré-requisito a submersão dos prismas em água por no mínimo 6 horas para realização do ensaio que determina a resistência à compressão das unidades de solo cimento.

2.3 Juntas de assentamento

Nas vedações estruturais, a principal função da junta de assentamento é transferir e uniformizar as tensões e solidarizar os blocos/tijolos e ter a capacidade de absorver pequenas deformações (RAMALHO, CORRÊA, 2003; SANTOS *et al.*, 2013). A interação entre as unidades e argamassa de cimento e cimento-cal com alvenaria pode ser considerada como sendo essencialmente mecânica, promovida pela penetração dos produtos de hidratação do cimento nos poros das unidades (LAWRENCE e CAO, 1987 *apud* REDDY; LAL; RAO, 2007).

2.3.1 Argamassa de assentamento

Apesar de constituir uma pequena parte na alvenaria, a argamassa tem influência significativa no comportamento do conjunto. A argamassa é uma mistura homogênea com propriedades de aderência e endurecimento constituída de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água. Essa mistura pode ou não conter aditivos e adições (ABNT NBR 13.281, 2005). De acordo a Santos *et al.* (2013), as argamassas são aplicadas amplamente para revestimento de paredes, tetos, pisos ou assentamento, podendo ser utilizadas em vários locais com função diferenciada.

Os tipos mais comuns de argamassa utilizada em alvenaria estrutural são as constituídas de cimento, cal, areia, água, podendo conter ainda aditivos e adições (BASTOS, 2021). Já para assentamento de blocos de solo cimento, os tipos de argamassa mais comuns são: argamassa de solo cimento, argamassa de cimento e argamassa mista (cimento e cal) (REDDY; GUPTA,

2006b). A argamassa de solo cimento é constituída de cimento e solo (que tem por função aumentar o volume da mistura e contribuir para a plasticidade). Quando comparada à argamassa convencional, apresenta maior trabalhabilidade, devido à parte argilosa do solo (FERREIRA; MORENO, 2011).

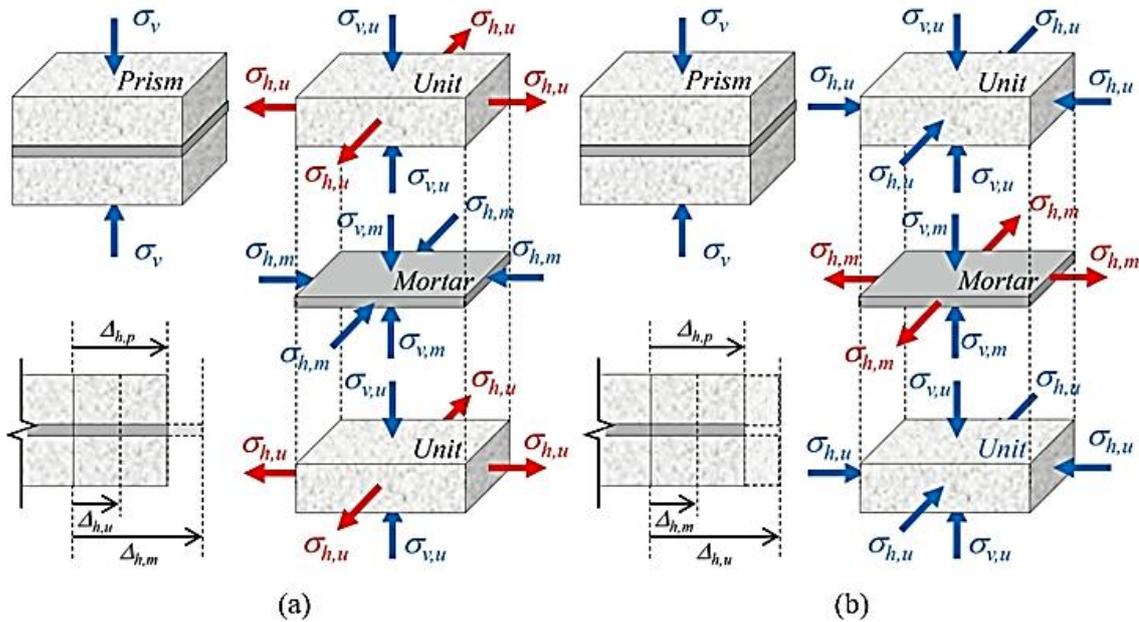
Suas principais funções são: solidarizar as unidades constituintes da alvenaria, transmitir as tensões atuantes e acomodar as eventuais deformações (BARBOSA, 2004). Para Ramalho e Corrêa (2003), existem dois fatores que devem ser citados quando se trata da influência da argamassa na alvenaria estrutural: a resistência a compressão da argamassa e a espessura da junta de assentamento. Para Reddy *et al* (2009) a espessura da junta de argamassa é o principal fator (REDDY, LAL, RAO, 2009).

Para aplicação em alvenaria estrutural, a NBR 16868-1 (ABNT, 2020) recomenda que a resistência da argamassa deve ser limitada a no máximo 1,5 vezes a resistência do bloco, a fim de evitar a ocorrência de fissuras. Para Gomes (1983) *apud* Bastos (2021), não é recomendável a utilização de argamassa com resistência muito inferior à resistência do bloco, devendo a mesma variar de 70% a 100% da resistência da unidade. Castro *et al.* (2015) realizaram ensaios com variação da resistência da argamassa das juntas e observaram dois modos de ruptura do prisma: o primeiro é a ruptura pelo esmagamento da junta, quando se alcança a resistência confinada da argamassa. O segundo é a ruptura à tração do bloco, quando a tensão à tração resistente do bloco é atingida primeiro. Assim, quando as argamassas de assentamento possuem menor resistência à compressão que o bloco, por consequência menor módulo de elasticidade, é comprimida deformando-se e tende a aumentar as dimensões horizontais da junta, devido ao efeito de Poisson. Como existe aderência entre as superfícies, ocorre o confinamento da junta, submetendo-a ao estado triaxial de tensões (Figura 3a) (BASTOS, 2021). Nos elementos com unidades de menor rigidez que a argamassa, ocorre o oposto, há o surgimento de um estado de compressão triaxial nos tijolos e tensões de compressão vertical e tensões de tração lateral nas juntas de assentamento, conforme indicado na Figura 3b (NALON, *et al.*, 2022).

Exemplifica-se que os resultados de Reddy e Gupta (2006b) que estudaram as características de resistência à compressão e a relação tensão-deformação de alvenarias de terra estabilizadas com a utilização de 3 tipos de argamassa: cimento, cimento e cal e solo cimento. As principais conclusões foram que a resistência a compressão da alvenaria está diretamente relacionada com a resistência do bloco, independentemente do tipo de argamassa utilizada. Assim, dobrar a

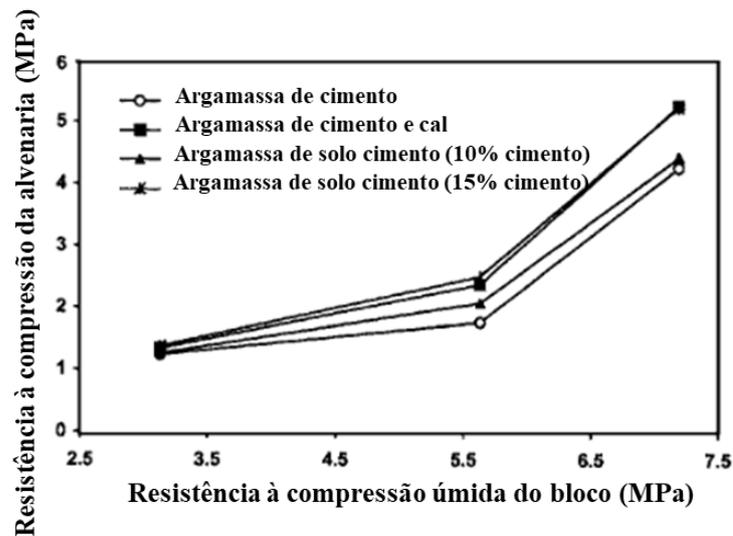
resistência dos blocos significou um aumento de mais de três vezes a resistência da alvenaria (Figura 4). Todavia eles não identificaram uma relação definida entre a resistência à compressão da argamassa e da alvenaria. Já o módulo de elasticidade da alvenaria aumentou com o aumento da resistência do bloco e a deformação na tensão máxima é maior para a alvenaria do que para argamassas e blocos isoladamente (Figura 5).

Figura 3 - Estado de tensões atuantes nos blocos e junta de argamassa: (a) Argamassa com menor resistência que as unidades (b) argamassa com maior resistência que as unidades.



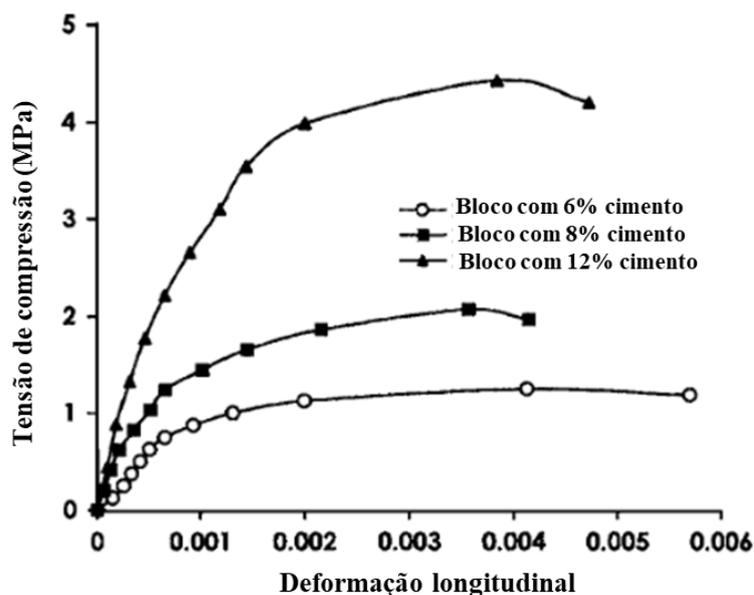
Fonte: Nalon, et al. (2022).

Figura 4 - Variação da resistência à compressão da alvenaria em função da resistência do bloco.



Fonte: REDDY; GUPTA (2006b).

Figura 5 - Curvas de tensão-deformação típicas para alvenaria e argamassa de solo cimento.



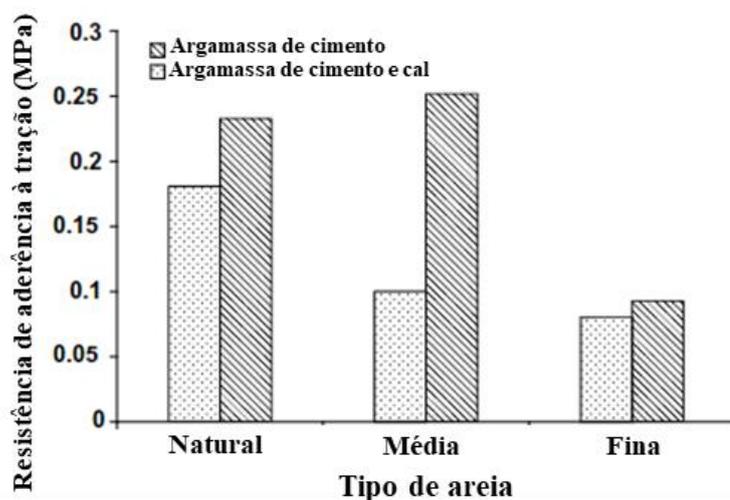
Fonte: REDDY; GUPTA (2006b).

Uzoegbo e Ngowi (2003) estudaram prismas e paredes de blocos de terra estabilizados à compressão e verificaram que a variação da resistência do bloco influenciou significativamente a resistência do conjunto, sendo que a utilização de argamassa na interface entre os blocos melhorou em 50% a resistência das paredes quando comparadas a paredes sem argamassa.

Reddy e Gupta (2007) por sua vez estudaram a influência da granulometria da areia nas características da argamassa de cimento e cimento cal e da alvenaria de solo cimento. Foram confeccionadas argamassas com três tipos de areia: natural, média e fina. Ensaios de aderência, resistência à compressão e as características de tensão deformação da alvenaria foram realizados. Apresentaram que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da argamassa diminuem à medida que a areia fica mais fina, sendo que, a resistência à compressão não sofre alterações em virtude da granulometria da areia e o módulo de elasticidade da alvenaria também diminui quando empregada argamassa com areia fina. Já a retração por secagem aumenta para areias de menor granulometria e a resistência de aderência à tração da alvenaria é reduzida quando empregada argamassa com areia fina (Figura 6).

Destaca-se ainda, a aderência entre a argamassa e a alvenaria que, segundo Casali (2008) depende de vários fatores, dentre os quais pode citar: características da argamassa, características das unidades da alvenaria (textura da superfície, disposição e tamanho dos poros), índices de absorção de água, teor de umidade da unidade quando da construção dos protótipos.

Figura 6 - Influência da granulometria da areia aderência à tração de prismas de solo cimento.



Fonte: REDDY; GUPTA (2007).

Já no caso da espessura da junta de assentamento, destaca-se que deve se situar entre limites muito estreitos: não pode ser muito pequena de maneira a impedir que os blocos se toquem, o que ocasionaria uma concentração de tensões e não pode ser muito grande, o que diminuiria o confinamento da argamassa (GOMES, 1983 *apud* BASTOS, 2021). Em relação à espessura das juntas horizontais e verticais, a NBR 16868-2 (ABNT, 2020) preconiza o valor de 10mm, com tolerância de ± 3 mm. Santos *et al.*, 2013 ensaiaram diversas espessuras de juntas de assentamento com a utilização de argamassa mista e blocos de concreto. Os resultados do estudo indicaram uma maior resistência dos prismas para as juntas com espessura de 10mm (SANTOS *et al.*, 2013).

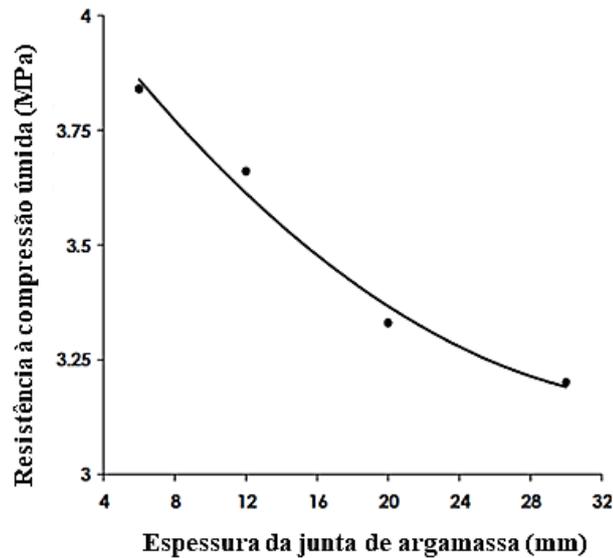
Reddy, Lal e Rao (2009), por exemplo, pesquisaram a respeito da influência da espessura da argamassa de assentamento no comportamento de alvenarias de blocos de solo cimento. O programa experimental consistiu na confecção de prismas de alvenaria com argamassa de solo cimento com espessuras de 6, 12, 20 e 30mm. Os autores chegaram à conclusão de que a resistência à compressão do prisma de alvenaria diminui com o aumento da espessura da junta de assentamento (diminui cerca de 16% com o aumento da espessura da argamassa de 6mm para 30mm - Figura 7) e que de forma geral, os prismas falharam pela formação de fissuras verticais para as espessuras de argamassa de até 20 mm. Nos prismas com espessura de argamassa de 30 mm ocorreu a ruptura por cisalhamento devido à formação de fissuras diagonais aos cantos opostos dos prismas (Figura 8).

Figura 7 - Falhas típicas de prismas com diferentes espessuras de juntas.



Fonte: REDDY; LAL; RAO (2009).

Figura 8 - Variação na resistência à compressão úmida de prismas em relação à espessura da junta de assentamento.



Fonte: REDDY; LAL; RAO (2009).

Miranda *et al.*, (2017) realizaram estudos com paredes de alvenaria de terra estabilizada confeccionadas sem a utilização de argamassa (através de encaixes) e com a utilização de argamassa cimentícia. Os autores observaram uma melhoria significativa no desempenho mecânico das paredes quando da utilização de juntas de argamassa, aumentando a resistência à compressão em 3 a 3,5 vezes e o módulo de elasticidade da alvenaria de 9 a 14 vezes, quando comparada à alvenaria sem argamassa.

2.3.2 Juntas finas

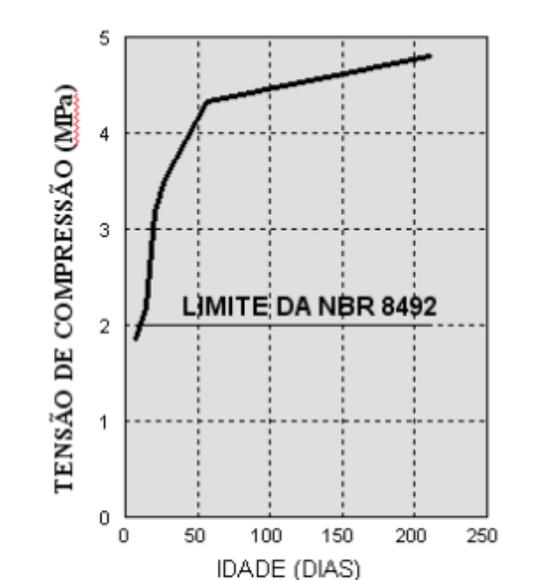
Ainda que não seja previsto pelas normas brasileiras de alvenaria estrutural, pesquisas recentes de Sipp *et al.*, (2021) propõem a utilização de juntas finas de argamassa polimérica como uma alternativa para o assentamento dos blocos. Esse tipo de colagem é previsto atualmente no Brasil apenas para alvenarias de vedação, devido à espessura das juntas (<10mm). A argamassa polimérica é uma argamassa colante, constituída por uma grande proporção de cimento, adições minerais finas e polímeros. A utilização de argamassa polimérica industrializa o processo de assentamento da alvenaria, pode trazer eficiência, produtividade e redução de custos. Sipp *et al.* (2021) destacam que são necessárias pesquisas para avaliar o desempenho estrutural do material, o que possibilitaria o desenvolvimento de normativas para projeto de alvenaria estrutural de juntas finas com argamassas poliméricas.

Outro tipo de junta usada em solo cimento é a cola PVA, que é um produto de base Acetato de Polivinila, normalmente comercializada como emulsão à base de água. É também largamente utilizada para colar papel, madeira, tecidos e cerâmica. Ainda que existam poucos estudos acerca da utilização da cola PVA em conjunto com blocos de solo cimento, segundo Ferreira e Moreno (2011) a solução já é aplicada por várias empresas brasileiras na execução de edificações. Para que haja sucesso na colagem, recomenda-se que as superfícies estejam secas, uniformes e pouco porosas.

Ferreira e Moreno (2011) confeccionaram prismas com 4 tijolos maciços e realizaram ensaios à compressão e flexão. Como comparativo, realizaram-se também ensaios de prismas com as seguintes configurações de assentamento: argamassa de solo cimento e argamassa de cimento e cal. Observou-se que a resistência à compressão dos blocos de solo cimento cresce consideravelmente até os 56 dias de idade. A partir dessa idade, a taxa de crescimento torna-se bem menor (Figura 9).

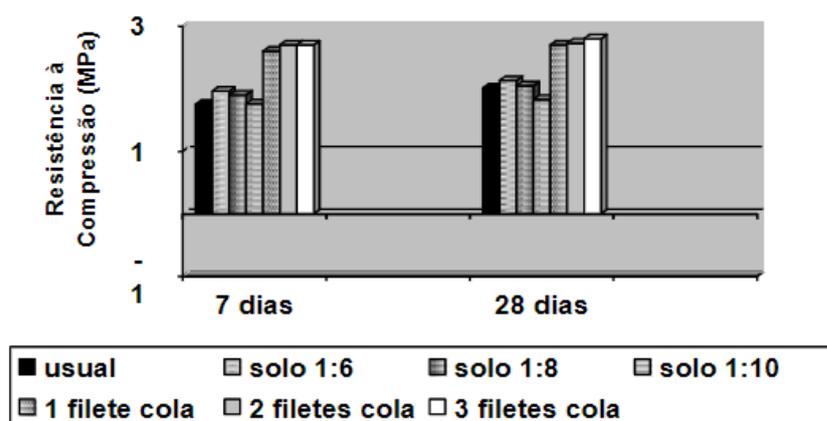
Em relação à resistência à compressão, os prismas confeccionados com argamassa de solo cimento apresentaram comportamento similar aos prismas confeccionados com argamassa usual. Já os prismas confeccionados com cola PVA apresentaram resultados superiores de resistência quando comparados à argamassa convencional e de solo cimento (Figura 10).

Figura 9 - Evolução da resistência à compressão de blocos de solo cimento.



Fonte: FERREIRA; MORENO (2011).

Figura 10 - Evolução da resistência à compressão de blocos de solo cimento.



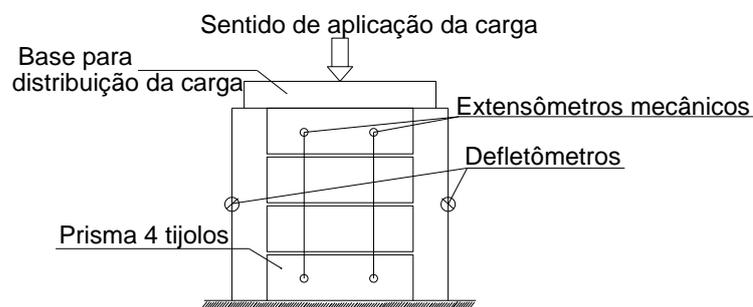
Fonte: FERREIRA; MORENO (2011).

2.4 Prismas e pequenas paredes

Os prismas e as pequenas paredes são elementos utilizados para caracterizar a resistência da alvenaria estrutural. Como ensaios em escala real de paredes são complexos e de execução mais onerosa, a norma NBR 16868-2 (ABNT, 2020) permite a utilização de prismas e pequenas paredes para analisar o comportamento da alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e de concreto. Trabalhos como de Valim (2017), corroboram isto dizendo que os prismas e pequenas paredes são representativos para entender o comportamento do sistema de alvenaria, tendo em vista que ensaios separados dos elementos constituintes (tijolo e argamassa) não expressam o comportamento real do conjunto.

Os prismas são elementos constituídos por dois blocos sobrepostos unidos por uma junta de assentamento. Quando da utilização de tijolos, o prisma deve ser constituído de quatro elementos sobrepostos e três juntas de assentamento, sendo a altura final do prisma no mínimo o dobro da largura dos tijolos. Os prismas podem ser ocios ou cheios. O esquema básico do ensaio para determinação da resistência a compressão de prismas é apresentado pela Figura 11 (ABNT NBR 16868-3, 2020).

Figura 11 - Esquema para ensaios de determinação da resistência do prisma.



Fonte: Adaptado de NBR 16868-3 (ABNT, 2020).

De acordo à C1314-22 (ASTM, 2022), os prismas devem possuir dimensão mínima de 100 mm e devem ter a razão da altura (h_p) pela espessura (t_p) entre 1,3 e 5,0. Alguns exemplos de prismas estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 - Modelos de prismas.



Fonte: C1314-22 (ASTM, 2022).

Fortes (2012) elaborou um comparativo em função da resistência à compressão dos blocos e a eficiência do prisma/bloco (razão da resistência do prisma e da resistência do bloco). O cálculo da eficiência pode ser realizado conforme Equação 01.

$$\eta = \frac{f_p}{f_b} \quad (01)$$

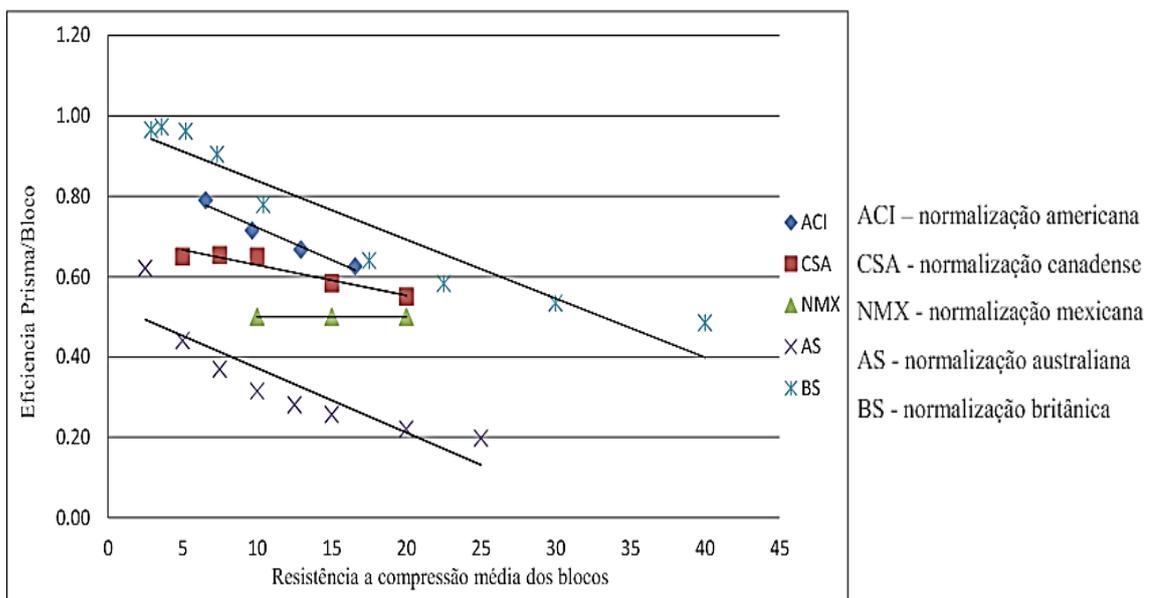
Onde: η = Eficiência prisma;

f_p = Resistência à compressão do prisma;

f_b = Resistência à compressão do bloco.

Segundo Fortes (2012), na ausência de ensaios específicos, podem ser seguidas as recomendações de normativas para determinação da resistência de prismas, baseando-se na resistência do bloco e da argamassa. Em seu trabalho, o autor realizou um comparativo entre as recomendações e apresentou os resultados por meio de um gráfico, em função da resistência média do bloco e da relação de eficiência do prisma (Figura 13). Destaca-se, de uma maneira geral, a redução da eficiência do prisma com o aumento da resistência do bloco, exceto no caso da norma mexicana (NMX), onde a eficiência se mostrou constante. Outro ponto de atenção é a variabilidade apresentada pelas normas na previsão das resistências dos prismas, a normativa britânica (BS) traz a resultados mais otimistas e a normativa australiana (AS) resultados mais conservadores.

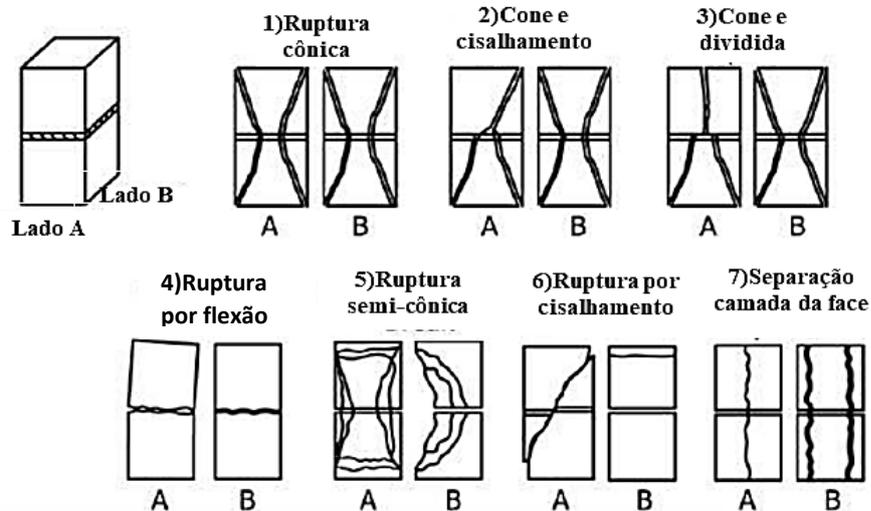
Figura 13 - Relação eficiência prisma/bloco.



Fonte: Adaptado de FORTES (2012).

Após a realização dos ensaios, de acordo à C1314-22 (ASTM, 2022), os modos de falha devem ser identificados, bem como as faces do prisma onde ocorreram as rupturas. Para auxiliar nessa identificação, a referida normativa apresenta sete possíveis modos de falha (Figura 14).

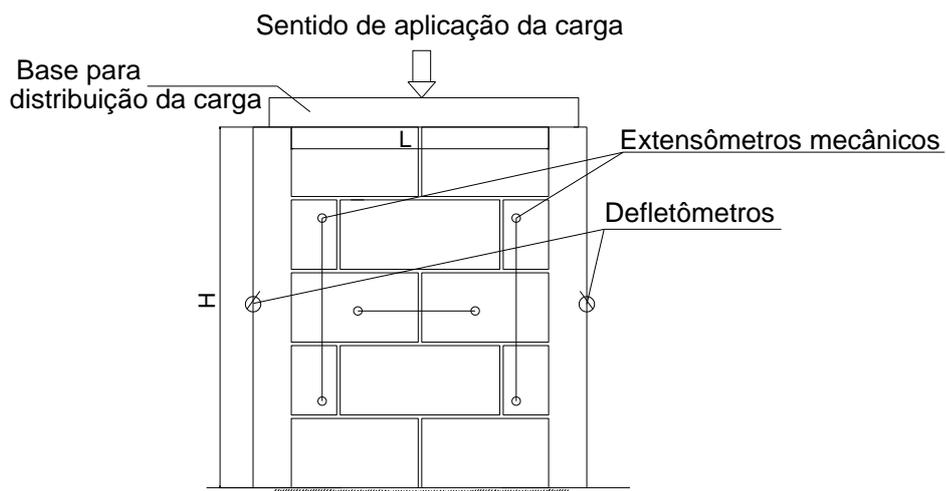
Figura 14 - Croquis dos modos de falha de prismas.



Fonte: Adaptado de C1314-22 (ASTM, 2022).

As pequenas paredes são amostras que possuem um comprimento (L) mínimo equivalente a dois blocos/tijolos e altura (H) equivalente a cinco vezes a espessura do bloco/tijolo, mas não inferior a 70cm. O número de fiadas ao longo da altura deve ser ímpar e as juntas devem ter espessura mínima de (10 ± 3) mm, salvo em casos especiais (Figura 15) (ABNT NBR 16868-3, 2020).

Figura 15 - Esquema para ensaios de determinação da resistência de pequenas paredes.



Fonte: Adaptado de NBR 16868-3 (ABNT, 2020).

Sajanthan, Balagasan e Sathiparan (2019) ensaiaram prismas constituídos por alvenaria de terra estabilizada assentadas com argamassas de diferentes resistências. Os autores concluíram que

o comportamento observado para a alvenaria de terra se assemelha ao comportamento da alvenaria de tijolos cerâmicos e de concreto. Além disso, observou-se que a resistência da alvenaria aumenta com a resistência do bloco e da argamassa empregados, sendo que o bloco influencia mais do que a argamassa. Quando os blocos não possuem resistência muito elevada, a resistência à compressão dos prismas confeccionados com argamassa de alta ou baixa resistência à compressão não divergem muito.

2.5 Modos de falha de alvenaria de terra

Sajanthan, Balagasan e Sathiparan (2019), em seus experimentos com alvenaria de terra estabilizada, observaram que o modo de falha da alvenaria está relacionado com a compatibilidade das tensões do bloco e argamassa na interface unidade-argamassa. Segundo Mohamad *et al.* (2017), Caldeira *et al.* (2020), Nalon *et al.* (2020), Abdelrahman e Galal (2020) a argamassa é a principal responsável pelo comportamento da alvenaria. Em seus estudos com alvenaria de blocos de concreto, os autores observaram que para prismas confeccionados com argamassas com resistências próximas ao bloco falhavam geralmente por fissuras verticais, provocadas por tração nas unidades. Já para prismas confeccionados com argamassas menos resistentes que o bloco, observou-se uma não linearidade do comportamento, devido à propagação de fissuras e esmagamento da argamassa.

Jabri *et al.* (2022), realizou estudos à compressão com blocos de terra comprimida estabilizada com cimento para prismas e paredes, sem juntas de assentamento, utilizando-se do sistema de intertravamento dos blocos. Os prismas foram confeccionados com 4, 5, 6 e 7 blocos com os furos preenchidos com argamassa, as paredes foram armadas e grauteadas. Os autores observaram que a resistência dos prismas diminuiu com o aumento da altura (número de blocos) e que o modo de falha dos prismas foi semelhante em todos os casos com a ocorrência de fissuras verticais (Figura 16). Já a parede de alvenaria falhou por flexão, devido à esbeltez da peça.

Em relação a resistência bloco/argamassa, em ensaios com prismas de alvenaria de terra estabilizada, Sajanthan, Balagasan e Sathiparan (2019) identificaram um padrão para os casos em que os blocos eram mais resistentes que a argamassa, onde ocorreu uma falha por rompimento a tração da argamassa na junta que se propagou para o bloco, gerando uma fissura

vertical (Figura 17a). Já quando a argamassa se mostrou mais resistente que o bloco, ocorreu a falha por esmagamento da unidade (Figura 17b). Resultado similar a Sturm, Ramos e Lourenço (2015) que observaram que os padrões de falha para prismas constituídos de alvenaria intertravada de terra estabilizada com cimento foram semelhantes: fragmentação em uma das faces principais de um bloco, surgimento de fissuras verticais na face lateral nos blocos superiores e fissuras maiores nos blocos inferiores subsequentes (Figura 18).

Figura 16 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.



Fonte: Jabri et al. (2022).

Figura 17 - Padrão de falha de prismas de alvenaria.

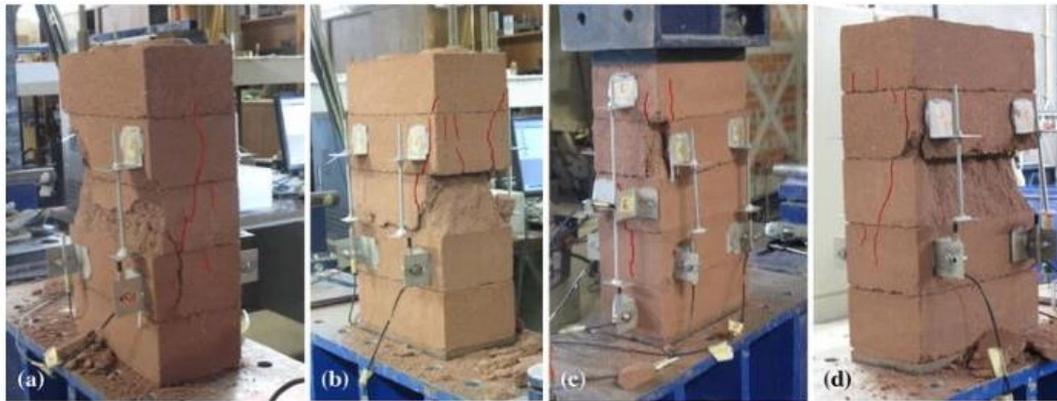


Fonte: Sajanathan, Balagasan e Sathiparan (2019).

Já em relação alvenaria de terra estabilizada com cimento e cal, Lan, Weng, Zhang (2023) avaliaram à compressão 48 corpos de prova. Os blocos com resistência à compressão de 2,40 MPa foram assentados com argamassa de cimento de resistência 14,14 MPa e ensaiados à

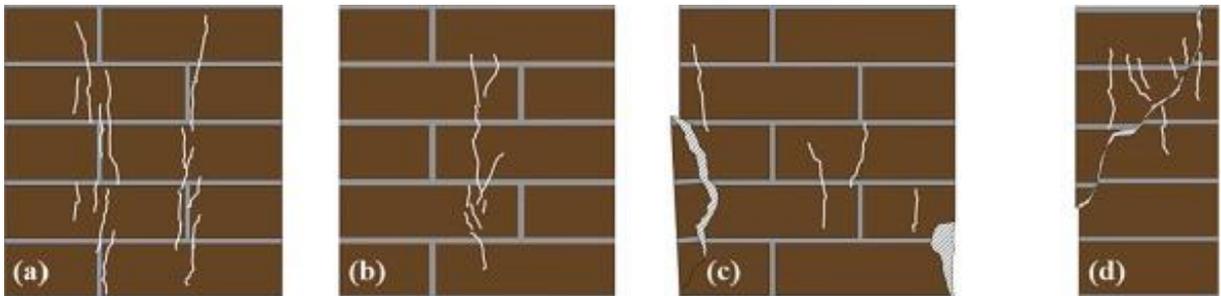
compressão uniaxial. Foram observados 4 modos de falha: (I) várias fissuras ao longo da junta vertical de argamassa, formando uma junta passante (Figura 19a); (II) Surgimento de trincas verticais no meio e na lateral da amostra (Figura 19b); (III) Fissuras verticais no meio da amostra, não totalmente desenvolvidas, com esmagamento das bordas laterais (Figura 19c); (IV) Fissuras inclinadas e conectadas formando uma superfície de ruptura (Figura 19d). Logo observa-se uma variabilidade maior dos processos de ruptura.

Figura 18 - Padrão de falha de prismas de alvenaria.



Fonte: Sturm, Ramos e Lourenço (2015).

Figura 19 - Padrão de falha de corpos de prova de alvenaria.



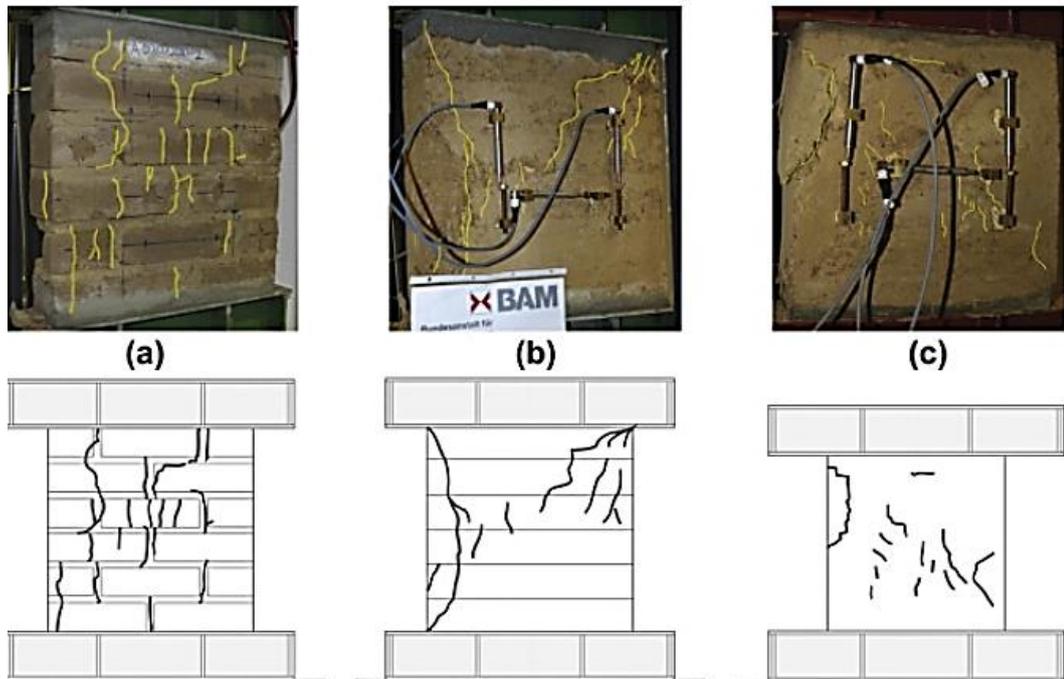
Fonte: Lan, Weng, Zhang (2023).

Tem-se ainda, estudos com pequenas paredes de blocos de terra (Figura 20a), taipa (Figura 20b) e cob (Figura 20c) submetidas à compressão. Nestas, a falha ocorria de forma abrupta, com a formação de trincas preponderantemente verticais e diagonais, e em alguns casos fissuras em forma de cone (MICCOLI, MULLER, FONTANA, 2014).

Fundi, Kaluli e Kinuthia (2018) realizaram testes em paredes constituídas por blocos intertravados de terra estabilizados com cimento e cal. Observaram ainda, que a ruptura das

paredes foi caracterizada por fissuras diagonais de blocos individuais ou lascamento de detritos dos blocos, o que caracteriza o esmagamento das unidades (Figura 21).

Figura 20 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.



Fonte: Miccoli, Muller, Fontana (2014).

Figura 21 - Corpos de prova em alvenaria de blocos de terra sob compressão uniaxial - padrões de fissuras.



Fonte: Fundi, Kaluli e Kinuthia (2018).

Destaca-se também, Joyklad, *et al.* (2022) que ensaiaram à compressão paredes com dimensões de 100cmx100cm, constituídas por tijolos de terra intertravados, sem utilização de argamassa. Foi observada a falha das paredes por surgimento de fissuras verticais, provocadas por tração no bloco, bem como o esmagamento dos tijolos (Figura 22).

Miranda *et al.*, (2017) ensaiaram paredes de alvenaria de terra estabilizada sem argamassa e com a utilização de argamassa nas juntas. Os estudos mostraram uma diferença significativa

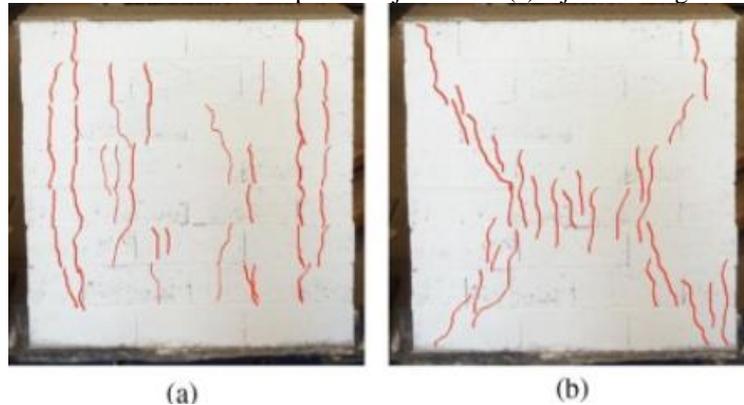
nos padrões de fissuras entre os tipos de alvenaria estudados. No caso da alvenaria intertravada, foram observadas fissuras verticais distribuídas por todo o corpo de prova, causadas por tração nas unidades. Já onde utilizou-se argamassa nas juntas, foram observadas fissuras mais concentradas, partindo dos cantos e indo em direção ao centro, indicando um comportamento mais monolítico do sistema (Figura 23).

Figura 22 - Ruptura final da parede – junta seca.



Fonte: Joyklad, *et al.* (2022).

Figura 23 – Padrões de fissura parede – junta seca (a) e junta de argamassa (b).



Fonte: Miranda, *et al.* (2017).

2.6 Modelos matemáticos de estimativa da resistência da alvenaria

Segundo Bastos (2021), existem quatro modos para determinação da resistência característica à compressão de paredes de alvenaria de blocos de concreto e cerâmicos: ensaio da parede em escala real, segundo modelos teóricos, por meio de formulações com base na resistência de prismas e pequenas paredes e através de tabelas e ábacos de normas e publicações.

Como não foi realizado o ensaio com a parede em escala real, nessa seção será realizado um comparativo das resistências características esperadas para alvenaria constituída com os tijolos de solo cimento e argamassas utilizadas nessa pesquisa. Na ausência de modelos para paredes de unidades de solo cimento, apenas para cunho de comparação, neste trabalho serão utilizadas as formulações de alvenaria de blocos de concreto e cerâmicos.

2.6.1 Modelos teóricos

Os modelos teóricos baseiam-se na experimentação e observação dos autores e normalmente estão relacionados às características das unidades, das argamassas e da utilização de graute ou não (Valim, 2017). De acordo a Mohamad (1998), o desenvolvimento de modelos matemáticos é dificultado pelo fato da alvenaria ser constituída pela união de elementos heterogêneos, contudo, muitos pesquisadores tem buscado desenvolver equações para prever a resistência característica da alvenaria.

Em seu trabalho, Priestley e Yuk (1984) propõe a utilização da seguinte expressão (Equação 02) para a previsão da resistência à compressão característica da alvenaria. Os autores desenvolveram a expressão baseando-se em suas pesquisas com prismas de concreto, considerando blocos com 19cm de altura e 1cm de junta de assentamento. Já Hamid e Drysdale (1994), propõe a Equação 03 para a previsão da resistência característica da alvenaria. Os autores também basearam suas expressões em blocos de concreto de 10 cm de altura e juntas de argamassa de 1cm de espessura.

$$f'_m = 5,91. (0,1. f'_{cb} + 0,01284. f'_a) \quad (02)$$

$$f'_m = 8,08. (0,1. f'_{cb} + 0,01460. f'_a) \quad (03)$$

Onde: f'_m = resistência característica da alvenaria (MPa);

f'_a = resistência característica à compressão uniaxial da argamassa (MPa);

f'_{cb} = resistência característica à compressão do bloco (MPa).

De acordo ao Eurocode 6 – EN 1996-1 (2005) a resistência característica da alvenaria pode ser obtida através da Equação 04.

$$f_k = k. f_b^{0,7} \cdot f_{arg}^{0,3} \quad (04)$$

Onde: f_k = resistência característica à compressão da alvenaria (MPa);
 f_{arg} = resistência à compressão da argamassa (MPa);
 f_b = resistência à compressão do bloco (MPa);
 k = constante tabelada conforme o tipo de unidade e argamassa.

2.6.2 Formulações baseadas na resistência de prismas e pequenas paredes

Conforme o C1314-22 (ASTM, 2022), para obtenção da resistência à compressão característica da alvenaria através de ensaio de prismas, devem ser ensaiados pelo menos três corpos de prova de acordo às recomendações de moldagem e ensaio referida norma. A média dos resultados dos ensaios deve ser multiplicada pelos fatores de correção apresentados na Tabela 4. Os fatores de correção são associados à relação h_p/t_p , estabelecida anteriormente.

Tabela 4 – Fatores de correção para a resistência à compressão de prismas de alvenaria.

hp/tp	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Fator de correção	0,75	0,86	1,00	1,04	1,07	1,15	1,22

Fonte: C1314-22 (ASTM, 2022).

A NBR 16868-3 (ABNT, 2020) estabelece as Equações 05 e 06 para obtenção das resistências dos prismas e pequenas paredes quando da realização de ensaios.

$$f_{ek,est,1} = 2 \left[\frac{(f_{e(1)} + f_{e(2)} + \dots + f_{e(i-1)})}{i-1} \right] - f_{e(i)} \quad (05)$$

$$f_{ek,est,2} = \phi f_{e(1)} \quad (06)$$

Onde: $f_{ek,est}$ maior valor entre $f_{ek,est,1}$ e $f_{ek,est,2}$;

$i = n/2$ se n for par, com n igual ao número de exemplares da amostra;

$i = (n-1)/2$ se n for ímpar, com n igual ao número de exemplares da amostra;

$f_{ek,est}$ = é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals (MPa);

$f_{e(1)}, f_{e(2)}, f_{e(i-1)}$ = são os valores de resistência individual dos corpos de prova da amostra, ordenados em ordem crescente;

ϕ = é o fator de incerteza em função da quantidade de resultados, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores de ϕ em função da quantidade de elementos de alvenaria.

Nº Elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 e 17	18 e 19
Φ	0,8	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1	1,01	1,02	1,04

Fonte: NBR 16868-3 (ABNT, 2020).

Conforme a norma mexicana NMX-C-464 (ONNCCE, 2010), a resistência característica da alvenaria pode ser obtida através de ensaios de prismas. Devem ser ensaiados no mínimo 3 amostras. A média dos resultados deve ser multiplicada pelos fatores de correção devido à relação de esbeltez (razão da altura e a menor dimensão da seção transversal) apresentados na

Tabela 6. A resistência à compressão característica da alvenaria pode ser obtida através da Equação 07.

Tabela 6 – Valores de ϕ em função da quantidade de elementos de alvenaria.

Relação de esbeltez do prisma	2	3	4	5	6
Fator de correção	0,75	0,90	1,00	1,05	1,06

Fonte: NBR 16868-3 (ABNT, 2020).

$$f'_m = \frac{f_m}{1+2,5.c_m} \quad (07)$$

Onde: f'_m = resistência característica da alvenaria (MPa);

f_m = resistência média à compressão dos prismas ensaiados (MPa);

c_m = coeficiente de variação dos esforços resistentes dos prismas ensaiados. Calculado como a razão do desvio padrão e a média. Não deve ser menor que 0,10 para obras com controle de qualidade e menor que 0,15 para outros casos.

A norma britânica BS EN 1052-1 (1999) estabelece que a resistência característica da alvenaria pode ser obtida através de ensaios com pequenas paredes. A resistência da alvenaria é dada pelo menor valor das equações 08 e 09.

$$f_k = \frac{f}{1,2} \quad (08)$$

$$f_k = f_{i,máx} \quad (09)$$

Onde: f_k = resistência à compressão característica da alvenaria (MPa);

$f_{i,máx}$ = resistência máxima obtida nos ensaios das pequenas paredes (MPa);

f = resistência à compressão média das pequenas paredes (MPa).

2.6.3 Tabelas e ábacos

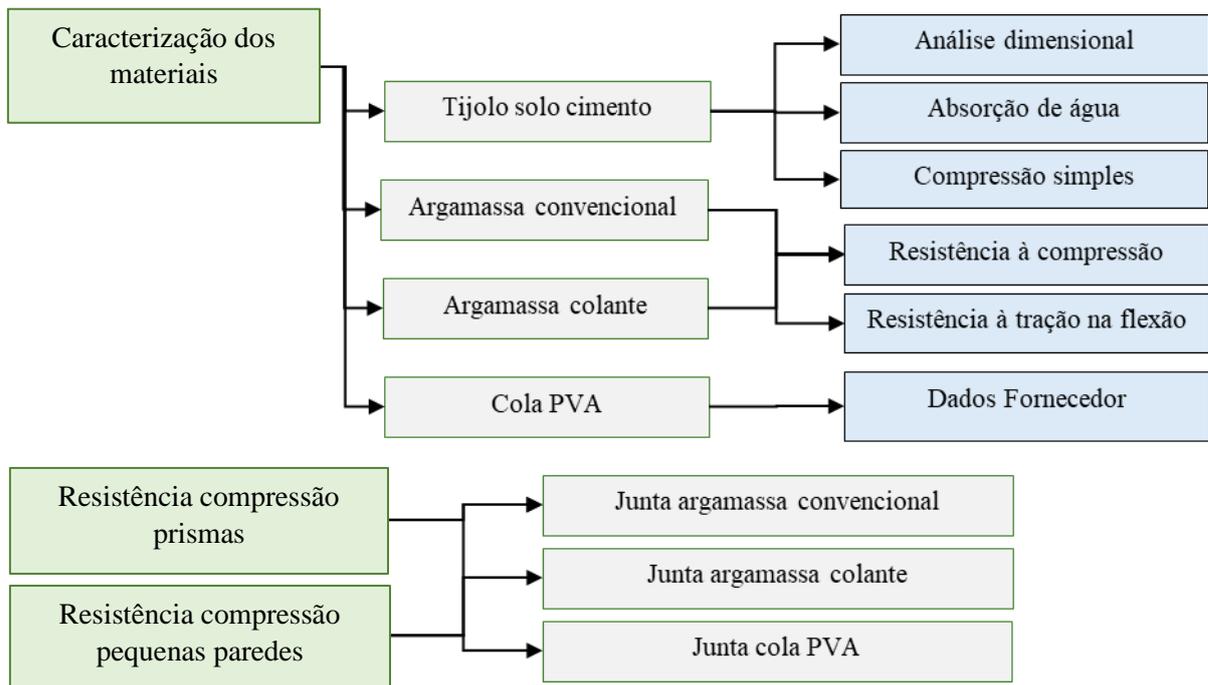
A norma BS 5628-1 (2005) estabelece que quando não são realizados ensaios, a resistência à compressão característica da alvenaria pode ser obtida através de tabelas propostas pela própria normativa. As tabelas são relacionadas ao tipo de unidade e à resistência da argamassa empregada na construção da alvenaria e foram obtidas através de ensaios de protótipos construídos em laboratório e ensaiados aos 28 dias. Já a normativa ACI 530 (2011) também estabelece tabelas baseadas no tipo e resistências das unidades e argamassas para obtenção da resistência para o dimensionamento empírico de alvenaria. Diferentemente da BS 5628-1 (2005), o ACI 530 (2011) estabelece tabelas para a resistência admissível da alvenaria.

3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental proposto para essa pesquisa busca identificar a influência de diferentes tipos de junta (argamassa convencional, argamassa colante e cola PVA) no comportamento à compressão de alvenarias compostas por tijolos de solo cimento. Para tal, estruturou-se o programa experimental em 3 etapas, a saber: caracterização dos materiais constituintes da alvenaria, avaliação da resistência à compressão dos prismas e avaliação da resistência à compressão das pequenas paredes (Figura 24).

Figura 24 – Esquemática da pesquisa proposta.



Fonte: O autor.

Os tijolos de solo cimento foram adquiridos em uma empresa localizada na região metropolitana de Belo Horizonte. Foram adquiridos tijolos suficientes para realização dos ensaios de caracterização, bem como a confecção dos prismas e pequenas paredes. As argamassas (convencional e colante) e cola PVA, devido à sua comercialidade, também foram

adquiridas no mercado. A água que foi utilizada para preparação das argamassas foi proveniente da rede de abastecimento público de Belo Horizonte/Minas Gerais.

O programa experimental dessa pesquisa foi desenvolvido no Centro Multiusuário de Análise Experimental de Estruturas (CEMAEES) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). As atividades foram desenvolvidas no período de aproximadamente um ano, entre novembro de 2022 e novembro de 2023. Para o desenvolvimento da pesquisa, primeiramente foi realizada a caracterização dos materiais, seguidos pela confecção dos corpos de prova que foram submetidos posteriormente aos ensaios de compressão, a fim de caracterizá-los quanto à sua resistência.

3.2.1 Caracterização dos tijolos de solo cimento

Os tijolos foram caracterizados através de análise dimensional, em relação à absorção de água e resistência à compressão simples, conforme amostragem e recomendações da norma ABNT NBR 8492 (2012). Ao todo foram tomadas 10 amostras do lote de tijolos, sendo realizada a análise dimensional em 10 amostras, o ensaio de absorção de água em 3 amostras e o ensaio de compressão simples em 7 amostras (Tabela 7). Os ensaios de caracterização foram realizados por volta de 45 dias de idade.

Tabela 7 –Ensaio de caracterização dos tijolos de solo cimento conforme ABNT NBR 8492, 2012.

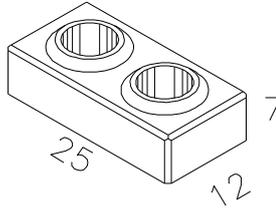
Ensaio	Amostragem
Análise dimensional (ABNT NBR 8492, 2012)	10
Absorção de água (ABNT NBR 8492, 2012)	3
Compressão simples (ABNT NBR 8492, 2012)	7

Fonte: O autor.

As dimensões dos tijolos adquiridos para o estudo informadas pelo fornecedor são conforme indicadas na Figura 25. Essas dimensões estão de acordo com as dimensões mínimas e tolerâncias estabelecidas pela NBR 8492 (ABNT, 2012) para tijolos de solo cimento e foram aferidas através de ensaios de análise dimensional. A análise dimensional foi realizada com o auxílio de um paquímetro em uma amostragem de 10 tijolos. Foram aferidas medidas de comprimento, altura, largura, distância entre furos e espessura das paredes dos tijolos. Para cada caso, foram tomadas 3 medidas em pontos distintos da face, conforme indicado na Figura 26, e

a média comparada com os requisitos mínimos de dimensão estabelecidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012).

Figura 25 - Dimensões dos tijolos de solo cimento (cm)



Fonte: O autor.

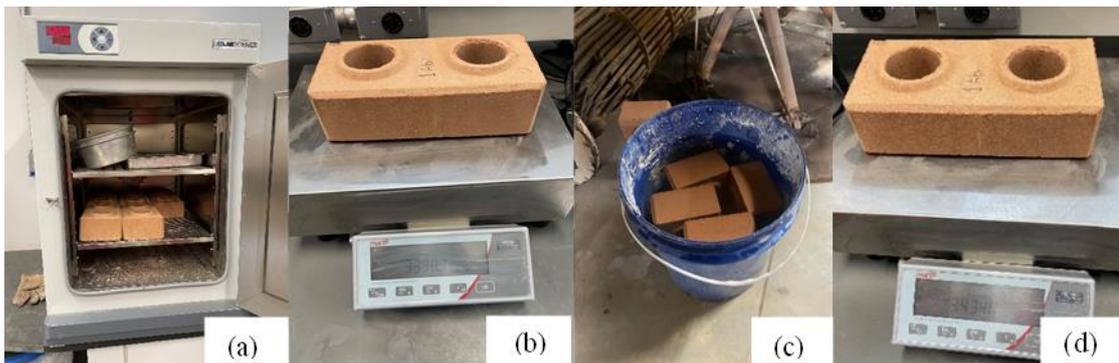
Figura 26 – Aferição das dimensões dos tijolos de solo cimento em 3 pontos distintos.



Fonte: O autor.

Para caracterizar os tijolos em relação à absorção de água, seguiu-se as prescrições da NBR 8492 (ABNT, 2012), na qual 3 amostras foram colocadas em estufa (Figura 27a), com temperatura entre 105° e 110° C até atingirem a constância de massa, quando foram pesadas para obtenção de sua massa seca (Figura 27b). Posteriormente as amostras foram imersas em água por 24 horas (Figura 27c) e pesadas novamente ao final deste processo (Figura 27d), obtendo-se assim a massa do tijolo saturado.

Figura 27 – Etapas de caracterização dos tijolos em relação à absorção de água.



Fonte: O autor.

Os ensaios de compressão simples foram realizados com os tijolos cortados ao meio (Figura 28a), sobrepostos e ligados por uma camada fina de pasta de cimento Portland de alta resistência inicial, com espessura de 3mm (Figura 28b). Para que as faces ficassem planas e permitissem o perfeito contato entre as superfícies de trabalho, realizou-se o capeamento com a mesma pasta de cimento utilizada para sobrepor as partes (Figura 28c). Os ensaios de compressão simples foram realizados em uma prensa universal Emic DL 20MF, com aplicação de carga gradativa, a uma razão de 500 N/s até a ruptura (Figura 28d). Os valores individuais de resistência à compressão foram obtidos dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio pela área da face de trabalho.

Figura 28 – Preparação dos corpos de prova para realização dos ensaios à compressão simples.



Fonte: O autor.

Além dos ensaios de compressão simples realizados conforme as prescrições da NBR 8492 (ABNT, 2012), foram realizados ensaios adicionais de compressão em tijolos inteiros, considerando diferentes variações umidade: secos em estufa, condição ambiente, 90% de umidade relativa e saturados (Tabela 8). O objetivo destes ensaios foi avaliar a influência da umidade na resistência à compressão dos tijolos de solo cimento.

Tabela 8 – Ensaio de compressão simples tijolos de solo cimento inteiros.

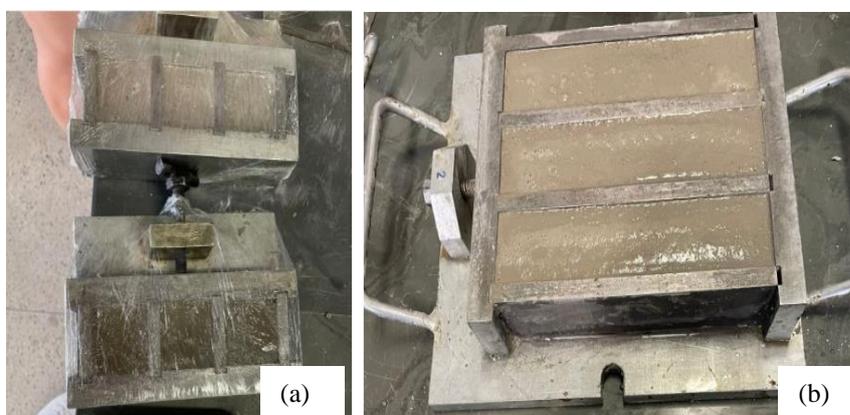
Ensaio	Amostragem
Tijolos secos em estufa	7
Tijolos na condição ambiente	7
Tijolos com 90% de Umidade Relativa	7
Tijolos Saturados	7

Fonte: O autor.

3.2.2 Caracterização das argamassas e cola PVA

A caracterização da argamassa convencional e colante foi realizada através de ensaios de compressão e de tração na flexão, conforme NBR 13279 (ABNT, 2005). Para os ensaios à compressão foram confeccionados 6 corpos de prova prismáticos com dimensões de 4cm x 4cm x 4cm para cada tipo de argamassa (Figura 29a). Já para o ensaio de tração na flexão, foram confeccionados 3 corpos de prova prismáticos com dimensões de 4cm x 4cm x 16cm para cada tipo de argamassa (Figura 29b).

Figura 29 – Preparação dos corpos de prova prismáticos de argamassa.

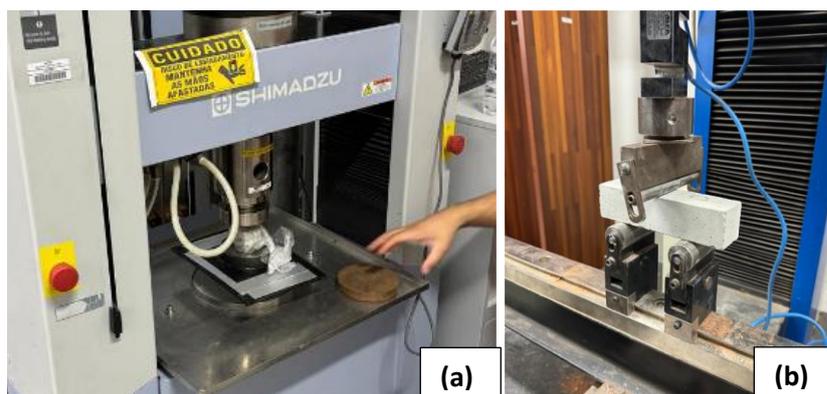


Fonte: O autor.

Os ensaios de compressão das argamassas foram realizados em prensa universal, com aplicação de carga gradativa de 500 N/s até a ruptura (Figura 30a). Os ensaios de tração na flexão, foram realizados apoiando-se o corpo de prova em roletes com aplicação da carga no centro, a uma razão de 50 N/s conforme recomendado pela NBR 13279 (ABNT, 2005) (Figura 30b). Os valores individuais de resistência à compressão foram obtidos dividindo-se a carga máxima observada durante o ensaio pela área da face de trabalho. Já os valores de resistência à tração na flexão, foram obtidos através da formulação prescrita na NBR 13279 (ABNT, 2005).

Já no caso da cola PVA (Acetato de Polivinila), os dados disponíveis para sua caracterização são os fornecidos pelo fabricante, onde são apresentados na ficha técnica os dados de densidade relativa (1,05g/cm³), viscosidade dinâmica (6000-8000 MPas) e PH (4-5).

Figura 30 – Ensaio de caracterização argamassa.



Fonte: O autor.

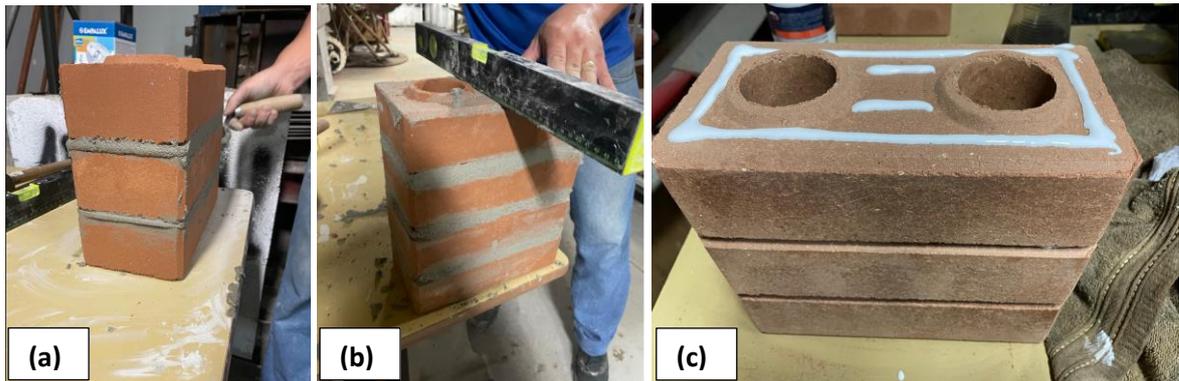
3.2.3 Prismas e pequenas paredes

Os prismas e pequenas paredes foram confeccionados seguindo as orientações das normas NBR 16868-3 (ABNT, 2020) e C 1314-14 (ASTM, 2022). Foram moldados 6 prismas e 6 pequenas paredes para cada tipo de junta de assentamento: argamassa colante (AC3), argamassa convencional (ARG) e cola PVA (PVA).

A preparação das argamassas (colante e convencional) foi realizada conforme instruções dos fabricantes. Foram seguidas também as recomendações de dosagem e tempo máximo de utilização dos materiais. Já os elementos confeccionados com cola PVA seguiram o período de secagem estabelecido pelo fabricante.

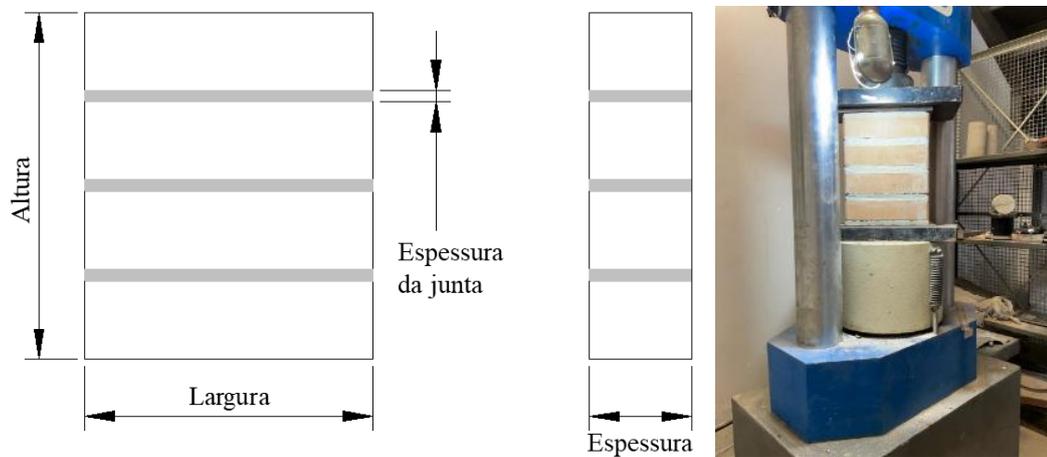
Os prismas foram confeccionados com 4 tijolos sobrepostos com dimensões médias de 249x126x312mm (largura x espessura x altura) para argamassa colante (Figura 31a), 249x126x323mm para argamassa convencional (Figura 31b) e 249x126x293mm para cola PVA (Figura 31c). Os prismas foram construídos com juntas médias de $6,80 \pm 0,61$ mm para argamassa colante e $10,30 \pm 0,15$ mm para argamassa convencional. Para que as faces ficassem planas e permitissem o perfeito contato entre as superfícies de trabalho, realizou-se o capeamento com pasta de cimento. Utilizou-se a prensa universal Emic SSH300, com incremento de tensão de 0,02 MPa/s até a ruptura (Figura 32) dos prismas. Como os corpos de prova não foram instrumentados, os deslocamentos foram obtidos através da medida da movimentação do êmbolo da prensa. Os prismas foram rompidos com idade em torno de 113 dias para estabilização das resistências dos materiais.

Figura 31 – Confeção dos prismas de argamassa colante (a), argamassa convencional (b) e PVA (c).



Fonte: O autor.

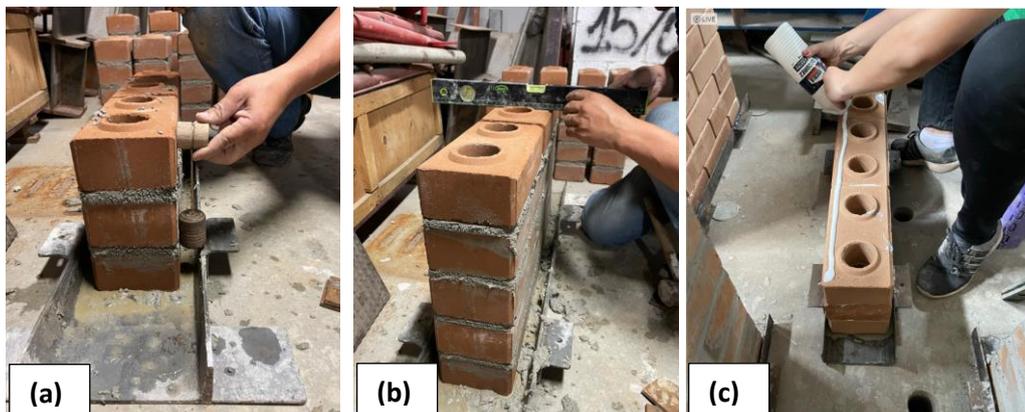
Figura 32 – Ensaio dos prismas.



Fonte: O autor.

As pequenas paredes foram construídas com 11 fiadas de tijolos, com dimensões médias (largura x altura x espessura) de 651x857x126mm para argamassa colante, 651x893x126mm para argamassa convencional e 621x782x126mm para cola PVA (Figura 33).

Figura 33 – Confeção das pequenas paredes de argamassa colante (a), argamassa convencional e PVA (c).

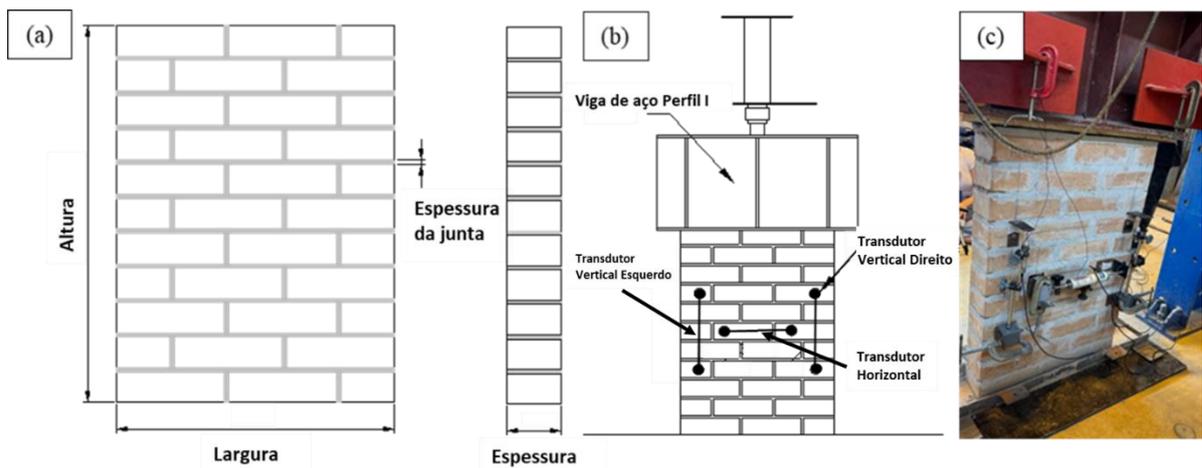


Fonte: O autor.

As pequenas paredes foram construídas com juntas médias de $7,3 \pm 0,53\text{mm}$ para argamassa colante e $10,9 \pm 0,73\text{mm}$ para argamassa convencional. Para que as faces ficassem planas e permitissem o perfeito contato entre as superfícies de trabalho, realizou-se o capeamento com pasta de cimento. Após a confecção, os corpos de prova foram identificados e mantidos protegidos das intempéries até a realização dos ensaios. As pequenas paredes foram rompidas com idade superior a 180 dias.

Para o ensaio de compressão das pequenas paredes utilizou-se o pórtico de reação em aço, sendo as cargas aplicadas através de macaco hidráulico manual, com capacidade para 50 toneladas. O carregamento foi aplicado com incrementos de 35kN, com o tempo de permanência de 2 minutos para cada carregamento. A carga foi aplicada com o auxílio de uma viga de aço perfil I, de 85cm de comprimento e 40cm de altura, posicionada entre a pequena parede e o pistão. Para leitura dos deslocamentos foram posicionados 3 transdutores de deslocamentos lineares (LVDTs) em uma das faces da parede, dois verticais e um horizontal (Figura 34a e 34b). Os ensaios foram realizados seguindo as recomendações da NBR 16868-3 (ABNT, 2020) (Figura 34c). Em todos os casos, os transdutores foram retirados em certo ponto do ensaio, quando percebia-se o risco de ocorrência de algum dano aos equipamentos, fazendo com que as leituras fossem interrompidas antes da tensão de ruptura das pequenas paredes.

Figura 34 – Instrumentação e realização de ensaio de compressão em pequenas paredes.



Fonte: O autor.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Tijolo

O ensaio de absorção indicou uma absorção média de $16,47 \pm 0,49\%$, com variação de 3,00% para os tijolos de solo cimento. Esse resultado está dentro do limite máximo de 20% estabelecido pela NBR 8492 (ABNT, 2012) em relação à absorção de água. A Tabela 9 apresenta o resultado da análise dimensional realizada, que também se apresentou dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012).

Tabela 9 – Resultados do ensaio de análise dimensional.

Análise dimensional													
	Comprimento (mm)			Largura (mm)			Altura (mm)				Diâmetro Furo (mm)		Borda
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	D1	D2	
Média	249,4	249,5	249,4	126,8	126,7	126,6	68,3	70	69,3	70,1	55,2	55,1	55,1
Desvio-padrão	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	3,1	0,7	0,8	0,7	0,3	0,3	0,3
Variação (%)	0,14	0,09	0,09	0,25	0,17	0,16	4,47	1,07	1,11	1,01	0,47	0,55	0,55

Fonte: O autor.

A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos para resistência à compressão dos tijolos de solo cimento. A primeira coluna apresenta a resistência à compressão dos tijolos de solo cimento segundo a recomendações da NBR 8492 (ABNT, 2012), sendo nesse caso a resistência média dos tijolos de $4,18 \pm 0,27$ MPa. Já as demais colunas da Tabela 10 apresentam a resistência à compressão dos tijolos considerando a variação de umidade. Os tijolos secos em estufa apresentaram resistência média à compressão de $10,47 \pm 1,36$ MPa, os tijolos em condição ambiente $6,92 \pm 0,51$ MPa, os tijolos com 90% de umidade relativa $5,79 \pm 0,40$ MPa e os tijolos saturados $3,88 \pm 0,09$ MPa.

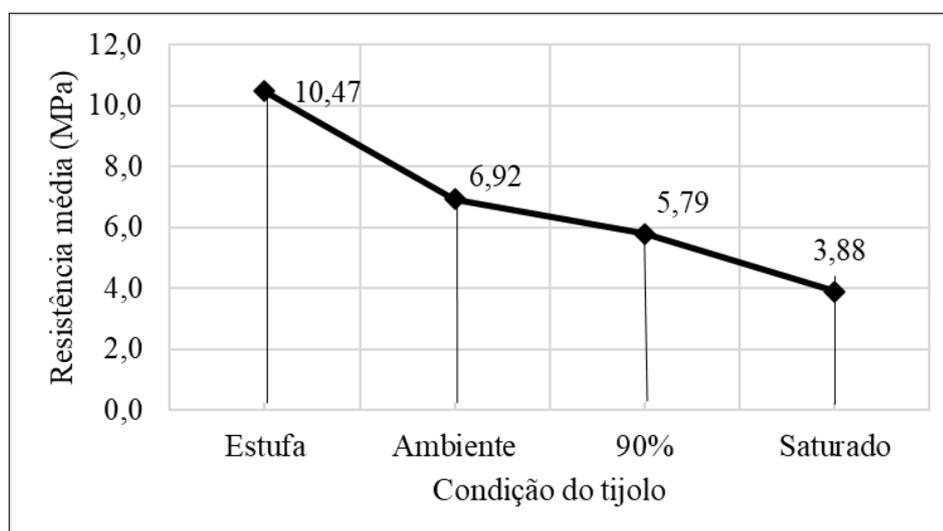
Tabela 10 – Tensão de ruptura tijolos de solo cimento.

Tensão de ruptura (MPa)					
	Corpos de prova submersos 6h (ABNT NBR 8492, 2012)	Tijolo seco em estufa	Tijolo condição ambiente	Tijolo 90% umidade relativa	Tijolo saturado
Média	4,18	10,47	6,92	5,79	3,88
Desvio-padrão	0,27	1,36	0,51	0,40	0,09
C.V. (%)	6,44	12,99	7,37	6,91	2,32

Fonte: O autor.

De uma maneira geral (Tabela 10), em todas as situações estudadas os tijolos apresentaram resistência mínima à compressão de 1,70 MPa, em conformidade com o requerido pela NBR 8492 (ABNT, 2012). A resistência média à compressão dos tijolos de solo cimento na condição ambiente convergiu com os resultados encontrados nos ensaios de Miranda *et al.*, (2017), Jabri *et al.* (2022) e Triputa e Kasinkota (2023) para tijolos com características semelhantes, 7,00MPa, 5,50MPa e 5,67MPa, respectivamente.

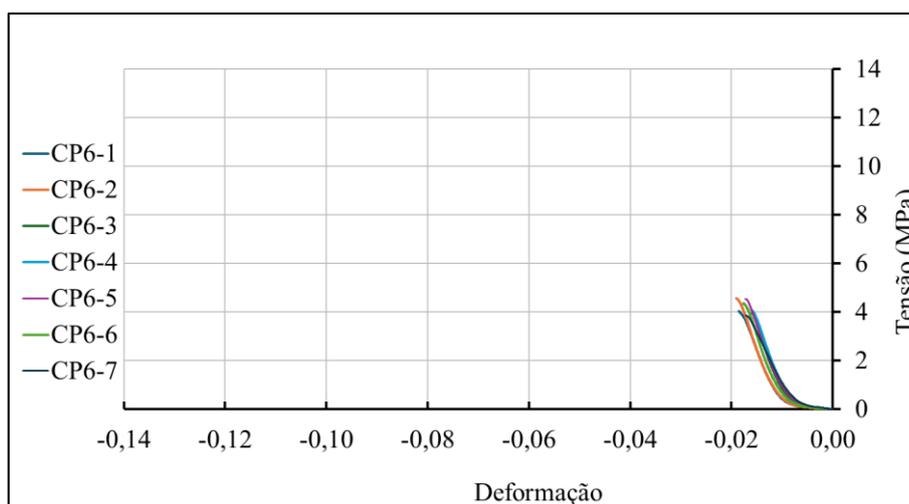
Em relação à presença de água, os resultados mostraram que a resistência à compressão dos tijolos diminui consideravelmente com o aumento da saturação, o que converge com os resultados encontrados nos estudos de Reddy, Lal e Rao (2007), Sitton, *et al.*, (2018) Sore *et al.*, (2018). Observa-se que a resistência dos tijolos secos em estufa foi a maior encontrada, sendo 2,70 vezes maior que a resistência dos tijolos na condição saturada. A Figura 35 apresenta a redução da resistência média à compressão dos tijolos quando do aumento da saturação.

Figura 35 – Resistência média dos tijolos.

Fonte: O autor.

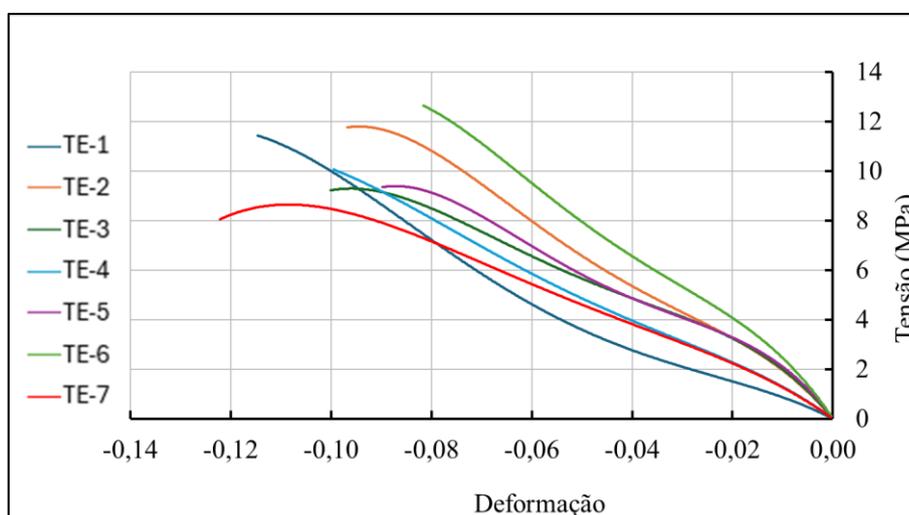
As Figuras 36, 37, 38, 39 e 40 apresentam respectivamente, os gráficos de tensão x deformação axial obtidos através do ensaio de compressão realizados com os corpos de prova submersos por 6 horas, com os tijolos secos em estufa, em condição ambiente, com umidade relativa de 90% e saturados.

Figura 36 – Gráfico tensão x deformação corpos de prova submersos 6h (CP6).



Fonte: O autor.

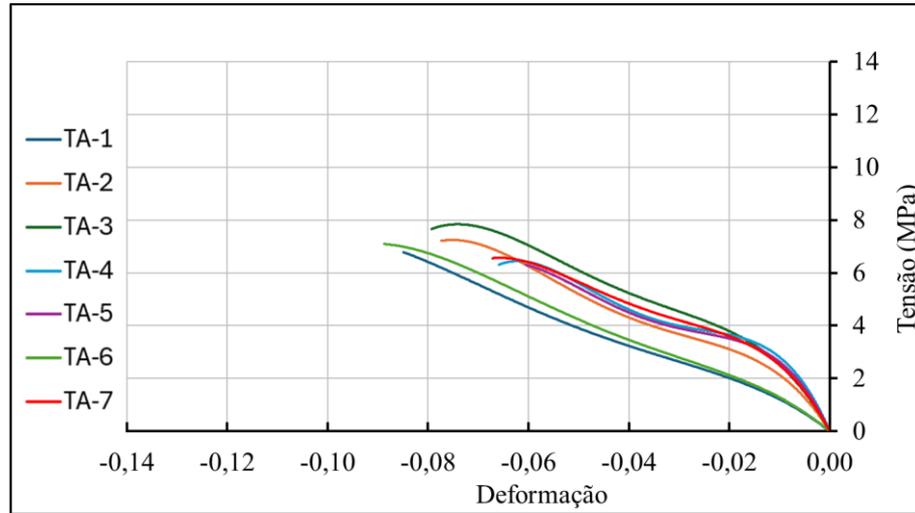
Figura 37 – Gráfico tensão x deformação tijolos secos em estufa (TE).



Fonte: O autor.

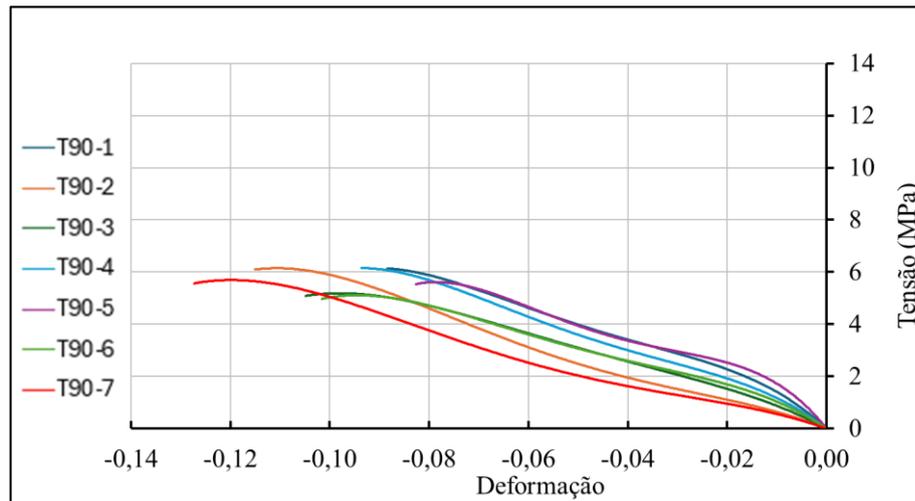
Observa-se que, de uma maneira geral, que para a mesma condição de umidade, as curvas apresentaram comportamento semelhante, não ocorrendo grandes dispersões. Contudo, foi observada uma redução na inclinação das curvas quando do aumento da umidade dos tijolos, demonstrando o aumento da deformabilidade dos tijolos quando submetidos à presença de água.

Figura 38 – Gráfico tensão x deformação tijolos em condição ambiente (TA).



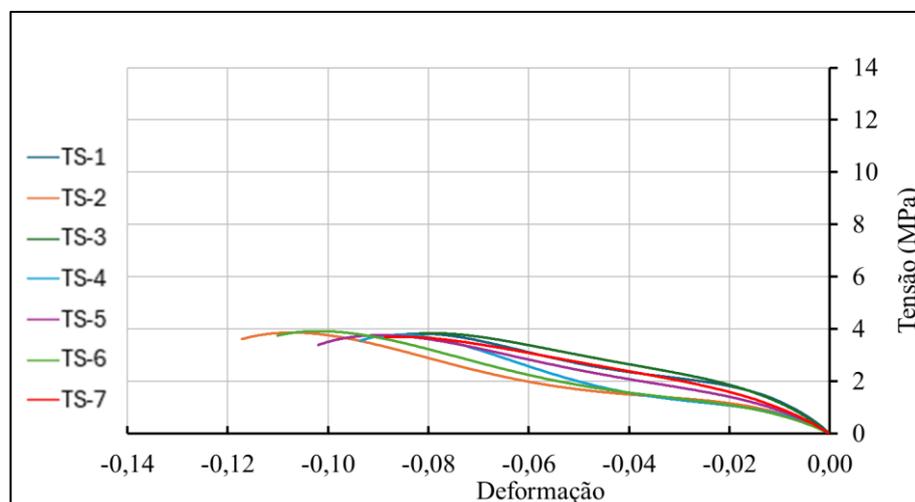
Fonte: O autor.

Figura 39 – Gráfico tensão x deformação tijolos com 90% de umidade relativa (T90).



Fonte: O autor.

Figura 40 – Gráfico tensão x deformação tijolos saturados (TS).



Fonte: O autor.

Já para o ensaio de caracterização dos tijolos conforme NBR 8492 (2012), notou-se uma diferença significativa na ordem de grandeza das deformações (Figura 35). Este fato possivelmente está relacionado à diferença nos corpos de prova. Enquanto os ensaios dos tijolos foram realizados com tijolos inteiros e capeados, a referida NBR preconiza ensaios com meio tijolos sobrepostos capeados e unidos por uma pasta de cimento, o que conferiu uma menor deformabilidade do sistema.

O módulo de deformação secante dos tijolos foi obtido conforme estabelecido pela NBR 18868-3 (ABNT, 2020), calculado no intervalo correspondente a 5% e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova. Os módulos de deformação secante para todas as condições de umidade estudadas estão apresentados na Tabela 11. Observa-se uma redução do módulo de deformação quando do aumento da saturação dos tijolos, resultado convergente com o encontrado por Sitton, *et al.*, (2018) Sore *et al.*, (2018) em seus estudos.

Tabela 11 – Módulo de deformação secante tijolos

Módulo de deformação secante (MPa)					
	Corpos de prova submersos 6h (ABNT NBR 8492, 2012)	Tijolo seco em estufa	Tijolo condição ambiente	Tijolo 90% umidade relativa	Tijolo saturado
Média	232	131	125	102	86
Desvio-padrão	15	17	14	7	6
C.V. (%)	6	13	11	7	7

Fonte: O autor.

Para as análises que se seguem, foi tomada como resistência à compressão do tijolo de solo cimento a resistência de 6,92 MPa, resistência obtida para os tijolos em condição ambiente. Foram buscadas argamassas para confecção dos prismas e pequenas paredes com resistência em torno de 70% a no máximo 1,5 vezes deste valor, conforme indicação de Gomes (1983) *apud* Bastos (2021) e da NBR 16868-1 (ABNT, 2020).

4.2 Argamassa

A Tabela 12 apresenta os resultados dos ensaios à compressão e à tração na flexão realizados com as argamassas. A argamassa colante apresentou resistência média à compressão de $9,38 \pm 1,59$ MPa, já a argamassa convencional apresentou resistência à compressão de $6,89 \pm 1,14$ MPa. Em relação a resistência de tração na flexão, os resultados obtidos para a argamassa colante foram duas vezes maiores do que os resultados obtidos para a argamassa convencional.

Tabela 12 – Resistência à compressão e tração na flexão argamassa

Argamassa	Tensão média ruptura compressão (MPa)	Tensão média ruptura tração na flexão (MPa)
Argamassa colante	9,38	2,85
Desvio Padrão	1,59	0,22
C.V. (%)	16,95	7,72
Argamassa convencional	6,89	1,40
Desvio Padrão	1,14	0,16
C.V. (%)	16,55	11,43

Fonte: O autor.

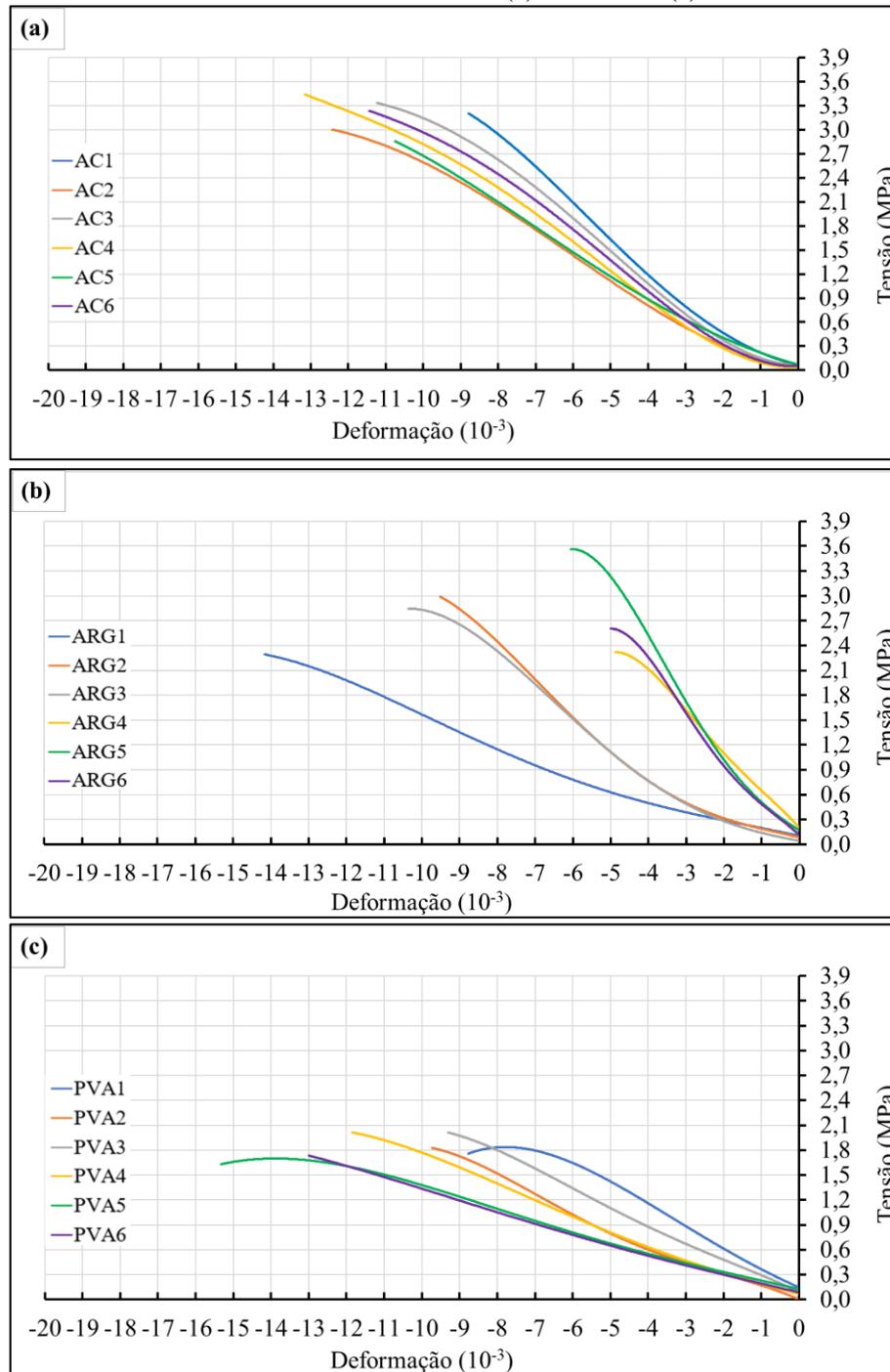
Ressalta-se que se utilizou argamassa colante do tipo III (usadas para fixação de revestimentos cerâmicos sujeitos a alto tráfego e variações de temperatura e assim de dilatações maiores dos revestimentos a serem fixados) que contém além do cimento adições poliméricas que contribuía para aumento da deformabilidade e da resistência a tração/adesão. Assim, acredita-se que isto possa ter causada a elevação tão expressiva da resistência a tração destas argamassas.

A razão entre a resistência à compressão da argamassa colante e a resistência à compressão do tijolo de solo cimento é 1,36, já para argamassa convencional essa razão é de 0,99. Nesse caso, ambas argamassas estão de acordo ao recomendado pela NBR 18868-1 (ABNT, 2020), que limita a resistência da argamassa a 1,5 vezes a resistência do bloco.

4.3 Prismas

A Figura 41 apresenta os diagramas de tensão x deformação axial dos seis prismas de argamassa colante (AC), argamassa de assentamento convencional (ARG) e cola (PVA). Pode-se observar na Figura 41 que os prismas de AC tiveram um comportamento semelhante entre si, apresentando deformações semelhantes para tensões de até 1 MPa. Observa-se também que as curvas dos prismas AC2 e AC5 estão praticamente sobrepostas, demonstrando um comportamento similar (Figura 41a). Assim, acredita-se que este tipo de junta permitiu uma melhor distribuição dos esforços e melhor acomodação dos tijolos gerando um comportamento mecânico similar. Isto aconteceu devido a composição da argamassa colante ser com areia mais fina e uso de cimento e polímeros que tendem a melhorar a aderência e permite ter uma maior deformabilidade.

Figura 41 – Gráficos tensão x deformação axial dos prismas de argamassa Colante (a), argamassa de assentamento convencional (b) e cola PVA (c).



Fonte: O autor.

Já para a argamassa de assentamento convencional (Figura 41b), observa-se um comportamento mais disperso entre as curvas dos prismas de ARG. Os prismas ARG2 e ARG3 apresentaram curvas semelhantes, quase sobrepostas e tensões de ruptura muito próximas, assim como os prismas ARG4, ARG5 e ARG6. Já o prisma de ARG1 apresentou deformações maiores para níveis de tensão semelhantes quando comparado aos demais. Acredita-se que devido a presença de partículas de areia maiores neste tipo de argamassa possa ter ocorrido concentração de carga

em algumas amostras gerando a ruptura. Tem-se ainda, o comportamento mais rígido (Figura 41b) desta argamassa que tende a deformar menos (só cimento como elemento aglomerante) e com isto reduz a acomodação do tijolo levando-o a ruptura antecipada.

Similar aos prismas com argamassa colante, de uma maneira geral, não houve uma grande dispersão nos diagramas de tensão x deformação axial dos seis prismas assentados com cola PVA. O comportamento dos prismas gerou uma tensão de ruptura entre 1,5 e 2,0 MPa, ou seja, muito menor que as argamassas anteriores. Isto pode ter acontecido devido a junta ser muito fina e possivelmente defeitos na superfície do tijolo podem ter gerado concentração de tensão levando-o a ruptura. O que é corroborado pelo fato das amostras de PVA serem as amostras que apresentaram maiores deformações antes de se romperem (Figura 41c).

Além disso, observou-se que em cerca de 60% da carga de ruptura já apareciam as primeiras fissuras nos prismas de AC, enquanto na amostra de ARG isso aconteceu na razão de 50% e para o prisma de PVA por volta dos 30%. Tal resultado corrobora a consideração do efeito dos defeitos na superfície dos tijolos no caso de PVA e da maior rigidez das argamassas de assentamento convencionais transmitindo a carga direto entre as unidades (sem acomodação). Tem-se ainda que a cola PVA pode ter causado um adicional de resistência, ou seja, após o tijolo fissurar (30% da carga final) a cola PVA passou a ser solicitada por tração e ainda conseguir manter nos prismas uma capacidade de carga aceitável antes da ruptura final, aumentando assim, a ductilidade destas amostras. Constatou-se ainda, que nesta pesquisa os valores foram menores que os realizados por Lan, Weng e Zhang (2023) com prismas de alvenaria de terra estabilizada unidos por argamassa cimentícia (menos resistente que o tijolo), na qual a razão entre a carga de ruptura e a resistência do prisma quando da ocorrência das primeiras fissuras foi de 70%.

Os ensaios de compressão dos prismas foram realizados no mês de março de 2023 em Belo Horizonte, esse período registrou umidade média relativa do ar em torno de 73% (INMET, 2023), umidade semelhante quando da realização dos ensaios dos tijolos em condição ambiente.

A Tabela 13 resume os valores de resistências à compressão dos prismas de argamassa colante (AC), argamassa convencional (ARG) e cola PVA (PVA) ensaiados aos 113 dias, exceto os prismas ARG4, ARG5 e ARG6 que foram ensaiados aos 228 dias. As resistências foram calculadas considerando a área bruta dos elementos, conforme estabelecido pelas normas de

blocos e tijolos cerâmicos, de concreto e de solo cimento. A resistência média observada para os prismas de AC é de $3,26 \pm 0,22$ MPa, com coeficiente de variação de 6,75% o que corresponde a um fator de eficiência de resistência do prisma/resistência do tijolo de 0,47. Para os prismas de ARG, resistência média observada é de $2,84 \pm 0,42$ MPa, com coeficiente de variação de 14,79% o que corresponde a um fator de eficiência de resistência do prisma/resistência do tijolo de 0,41. Em relação aos prismas de PVA, os valores encontrados são os seguintes: resistência média de $1,86 \pm 0,11$ MPa, com coeficiente de variação de 5,91% e fator de eficiência de resistência do prisma/resistência do tijolo de 0,27.

Tabela 13 – Médias, desvio padrão (D. P.) e coeficiente de variação (C. V.) das resistências à compressão dos prismas de solo cimento.

Nº Prisma	Resistência (MPa)	Nº Prisma	Resistência (MPa)	Nº Prisma	Resistência (MPa)
AC1	3,19	ARG1	2,50	PVA1	1,91
AC2	3,08	ARG2	3,05	PVA2	1,85
AC3	3,49	ARG3	2,93	PVA3	1,99
AC4	3,53	ARG4	2,34	PVA4	2,00
AC5	2,91	ARG5	3,60	PVA5	1,73
AC6	3,37	ARG6	2,62	PVA6	1,70
Média	3,26	Média	2,84	Média	1,86
D. P.	0,22	D. P.	0,42	D. P.	0,11
C.V. (%)	6,75	C.V. (%)	14,79	C.V. (%)	5,91

Fonte: O autor.

Observa-se que os fatores de eficiência também foram influenciados pelo tipo de junta de assentamento, sendo a junta de argamassa colante a que gerou o melhor resultado (74% superior a PVA). No caso da argamassa de assentamento convencional (0,41), identificou-se um comportamento distinto da bibliografia como Lan, Weng e Zhang (2023) que encontrou o fator de eficiência de 0,63 e Tripura e Kasinikota (2023) que encontraram 0,60. Nestes trabalhos as argamassas eram menos resistentes que o tijolo e podem ter levado a esta condição. Ressalta-se, todavia, que Tripura e Kasinikota (2023) afirmam ser semelhantes os fatores de eficiência para prismas assentados com e sem argamassa de solo cimento, 0,60 e 0,57, respectivamente. O que contraria os resultados desta pesquisa que demonstra que a presença de junta tende a melhorar o comportamento da alvenaria.

Já para a cola PVA, tem-se um comportamento semelhante ao encontrado por Jabri *et al.* (2022) que avaliou prismas de alvenaria de terra estabilizada sem juntas de assentamento é em torno de 0,36. Assim, a junta fina acabou gerando um comportamento similar a não existência de juntas de assentamento. Estes fatos corroboram com a afirmativa de Mohamad, Rizzatti e Roman (2011), que o comportamento do conjunto da alvenaria não depende apenas da

qualidade individual de cada material, estando associada às interações físico-químicas desenvolvidas entre eles. Sendo indispensável para os autores a realização de ensaios com prismas e pequenas paredes para estimar o desempenho estrutural de paredes de alvenaria.

Observa-se que a resistência à compressão axial dos prismas confeccionados com argamassa colante (AC) e argamassa convencional (ARG) são consideravelmente superiores à resistência dos prismas confeccionados com cola PVA (PVA). Ressalta-se também a diferença significativa entre os custos da argamassa colante (AC) em relação à argamassa convencional (ARG), em média, a argamassa colante tem o custo duas vezes maior que a argamassa convencional. A média de resistência à compressão dos prismas de AC é 1,75 vezes maior que a média da resistência à compressão dos prismas de PVA. Já a média de resistência à compressão dos prismas de ARG é 1,53 vezes maior que a média da resistência à compressão dos prismas de PVA. Este fato pode ser explicado pela influência das argamassas no comportamento conjunto dos elementos, onde suas principais funções são de solidarizar as unidades, transmitir as tensões atuantes de maneira homogênea e trabalhar na acomodação de eventuais deformações do conjunto (BARBOSA, 2004). Para Mohamad *et al.* (2017), Caldeira *et al.* (2020), Nalon *et al.* (2020), Abdelrahman e Galal (2020) a argamassa é a principal responsável pelo comportamento da alvenaria. Esse resultado contrapõe os resultados obtidos por Ferreira e Moreno (2011) que obtiveram maiores resistências à compressão em prismas confeccionados com cola PVA, quando comparados aos prismas de argamassa convencional e de solo cimento.

O módulo de deformação secante dos prismas foi obtido conforme estabelecido pela NBR 18868-3 (ABNT, 2020), calculado no intervalo correspondente a 5% e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova. Conforme observado na Tabela 14, o módulo de deformação médio dos prismas de ARG calculado foi de 313 ± 143 MPa e coeficiente de variação de 46%, demonstrando uma maior dispersão entre o comportamento de cada prisma. Os prismas de PVA apresentaram módulo de deformação médio de 160 ± 48 MPa e coeficiente de variação de 30%, variação menos que nos prismas de ARG. Já os prismas de AC, apresentaram valores menos dispersos, com módulo de deformação médio de 255 ± 25 MPa e coeficiente de variação de 10%.

Percebe-se que o módulo de deformação do prisma com cola PVA é bem próximo ao do tijolo (125 ± 17 MPa) demonstrando o pouco efeito da junta de assentamento no comportamento mecânico do prisma. Todavia nas argamassas colantes e de assentamento convencional tem-se

um aumento expressivo (59% e 95%, respectivamente) no sentido a aumentar a rigidez do conjunto. Considera-se e comprova-se, desta forma, que as argamassas ajudaram no confinamento dos tijolos e na acomodação dos esforços convergindo para estruturas mais rígidas e melhorando o comportamento individual do tijolo.

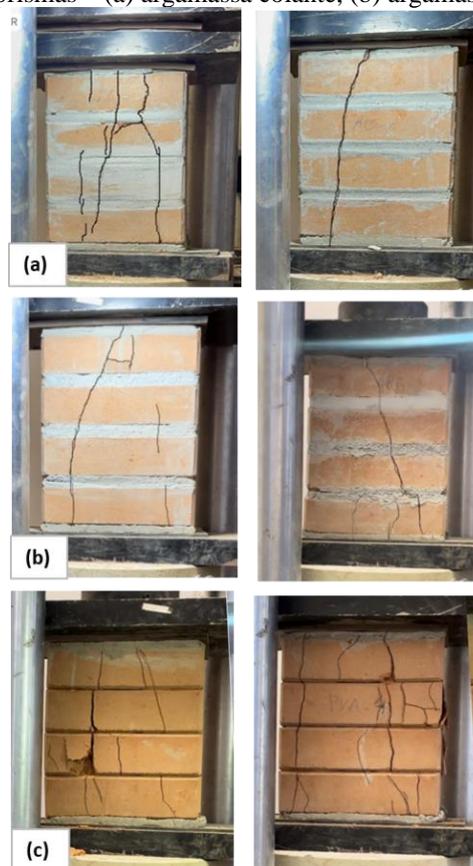
Tabela 14 – Módulo de deformação secante prismas.

Prisma	E_p (MPa)	Prisma	E_p (MPa)	Prisma	E_p (MPa)
AC1	288	ARG1	111	PVA1	242
AC2	219	ARG2	199	PVA2	136
AC3	268	ARG3	226	PVA3	204
AC4	267	ARG4	514	PVA4	147
AC5	226	ARG5	431	PVA5	121
AC6	263	ARG6	397	PVA6	109
Média	255	Média	313	Média	160
Desvio Padrão	25	Desvio Padrão	143	Desvio Padrão	48
C.V. (%)	10	C.V. (%)	46	C.V. (%)	30

Fonte: O autor.

As Figuras 42 (a), (b) e (c) apresentam respectivamente, a ocorrência das fissuras típicas nos prismas de AC, ARG e PVA ensaiados à compressão.

Figura 42 – Fissuras típicas prismas – (a) argamassa colante, (b) argamassa convencional, (c) cola PVA.



Fonte: O autor.

Nos prismas de AC e ARG o comportamento mecânico se caracterizou pela ruptura por tração nos tijolos, seguindo pela ruptura da argamassa de assentamento, se assemelhando à ruptura por cisalhamento indicada no C1314-22 (ASTM, 2022). Em ambos os casos, as fissuras surgiram mais discretas e foram ficando mais evidentes a medida que a carga de compressão aumentava (Figuras 42a e 42b). Já nos prismas de PVA as fissuras foram mais evidentes com a ocorrência de lascamentos do tijolo em alguns pontos do corpo de prova. Essas fissuras surgiram ao mesmo tempo em mais de um ponto do corpo de prova, indicando um comportamento mais frágil do prisma. Entende-se que a ruptura se deu predominantemente por tração e esmagamento das unidades, padrão similar ao observado por Sturm, Ramos e Lourenço (2015) para esse tipo de alvenaria. Possivelmente devido a concentração de tensões em função de pequenos defeitos (saliências) no tijolo (Figura 42c).

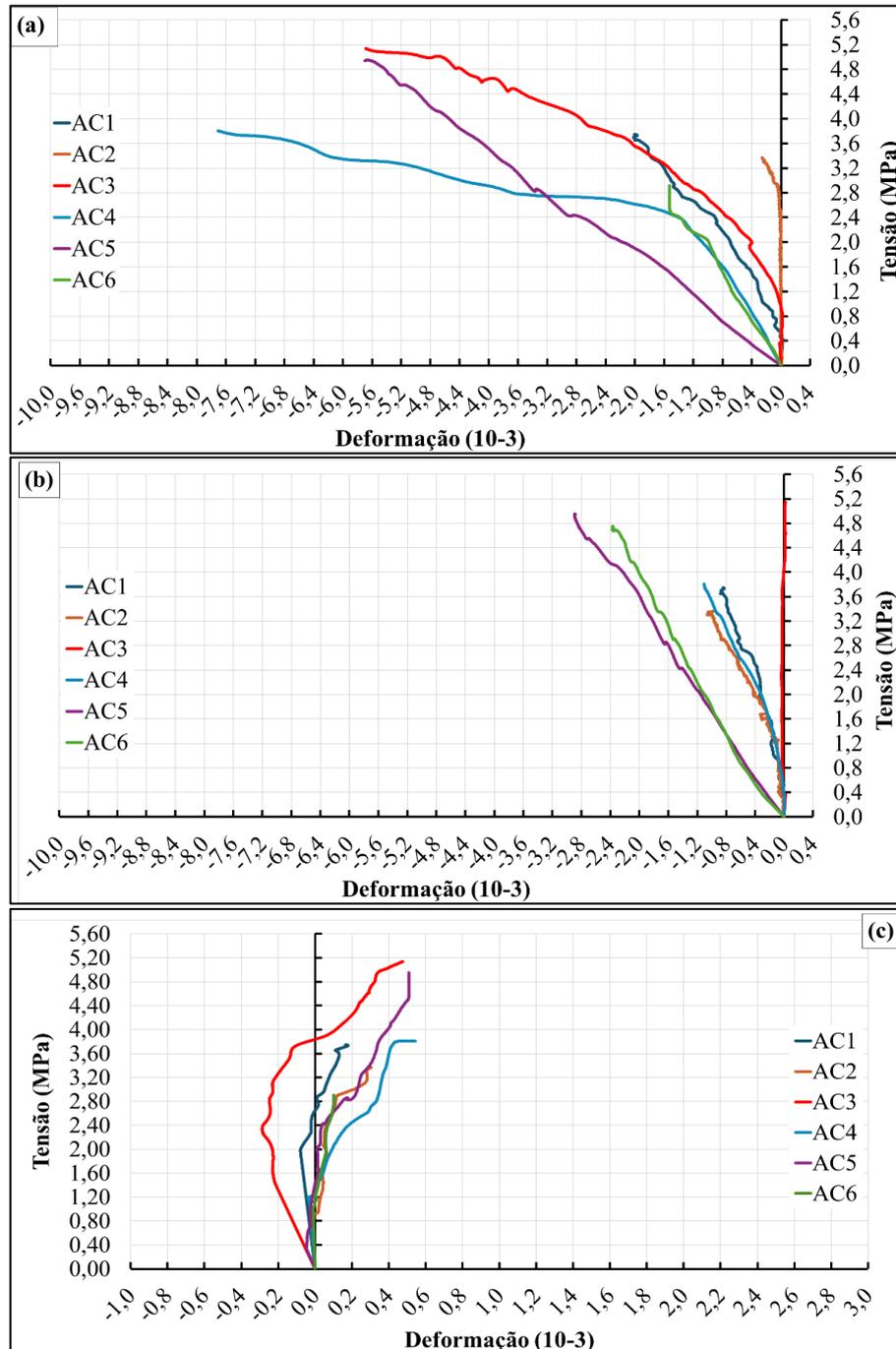
4.4 Pequenas paredes

A Figura 43 apresenta os gráficos relativos às pequenas paredes confeccionadas com argamassa colante (AC). A Figura 43a apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor vertical posicionado do lado esquerdo da parede, a Figura 43b apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor vertical posicionado do lado direito da parede e a Figura 43c apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor horizontal posicionado no centro da parede. Ressalta-se que a curva de deformação vertical direita da parede de AC3 sobrepõe-se ao eixo das tensões, o que indica que ocorreu um erro de leitura nesse transdutor, impossibilitando a obtenção e análise dos dados (Figura 43b). Já no caso da parede AC2, o ensaio foi interrompido antes da ruptura devido ao risco de tombamento da parede que tendeu a fletir devido a um problema de prumo do elemento.

Em relação aos gráficos de tensão x deformação vertical (Figuras 43a e 43b), observa-se um comportamento semelhante entre as pequenas paredes: deformação maior do lado esquerdo quando comparado ao lado direito, possivelmente devido a uma maior concentração de fissuras na área de leitura dos transdutores posicionados do lado esquerdo das paredes. Até a retirada dos transdutores, verifica-se também um comportamento linear das pequenas paredes nas leituras realizadas no lado direito. Em relação ao gráfico de tensão x deformação horizontal (Figura 43c), observa-se que todas as pequenas paredes, com exceção apenas da AC2, comprimiram lateralmente até um valor máximo e após esse valor a compressão reduziu até se

transformar em tração, levando à ruptura dos corpos de prova. Comprova-se assim o estado triaxial de esforços associados as juntas, nas quais, devido ao atrito com tijolos estavam comprimidas num primeiro momento e a partir da ruptura destes, surgem esforços de tração levando a argamassa também a rutura.

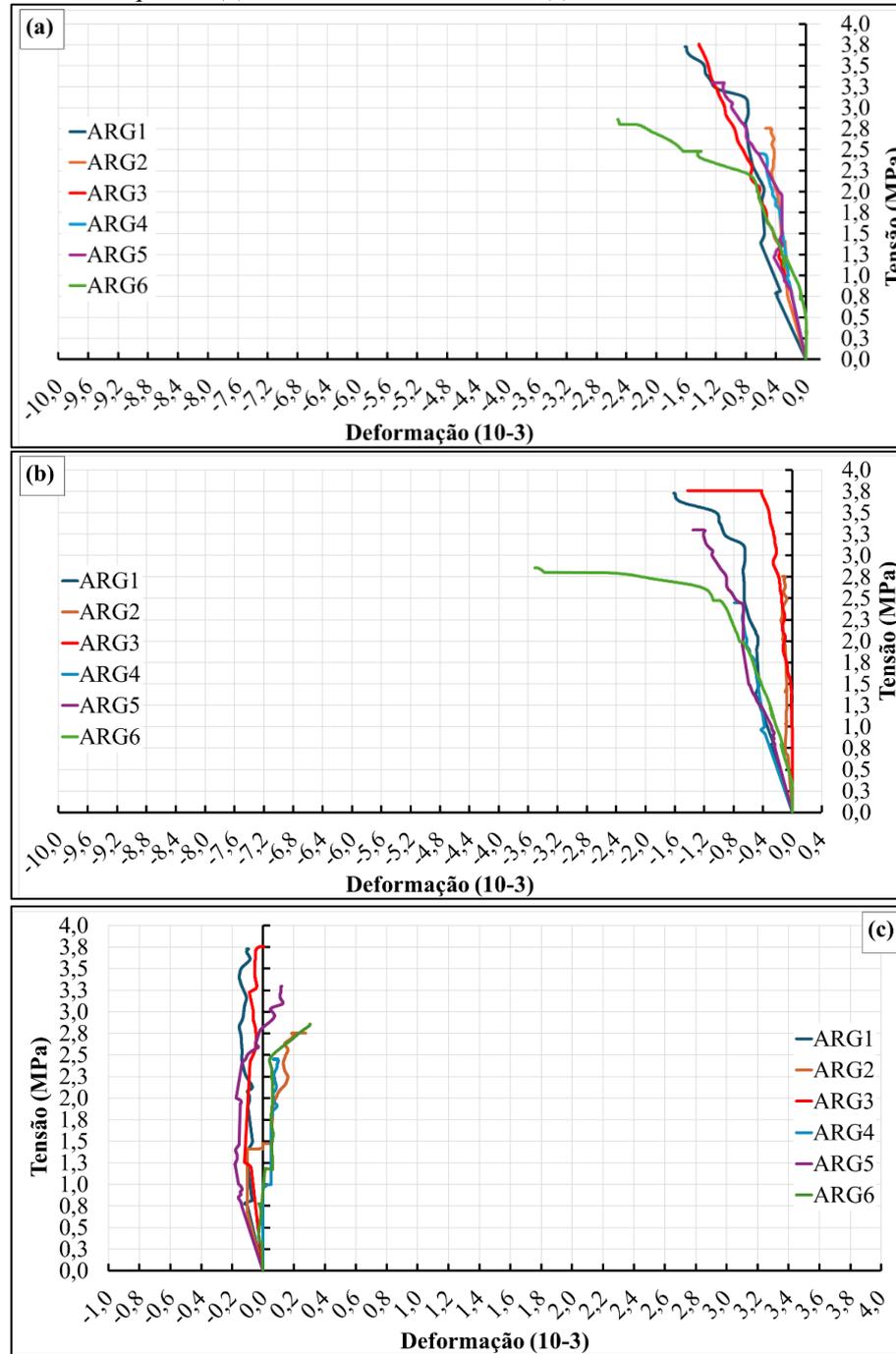
Figura 43 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de AC – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.



Fonte: O autor.

A Figura 44 apresenta os resultados das pequenas paredes com argamassa convencional (ARG).

Figura 44 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de ARG – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.



Fonte: O autor.

A Figura 44a apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor vertical posicionado do lado esquerdo da parede, a Figura 44b apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor vertical posicionado do lado direito da parede e a Figura 44c apresenta as curvas relativas às medições realizadas pelo transdutor horizontal posicionado no

centro da parede. Até a retirada dos transdutores, observou-se um comportamento linear e semelhante das curvas tensão x deformação vertical (esquerdo e direito) de todas as paredes de ARG, com exceção da parede ARG6 que apresentou comportamento linear até uma tensão de aproximadamente 2 MPa, que corresponde a 53% de sua tensão de ruptura. Em relação ao gráfico de tensão x deformação horizontal, verifica-se que todas as paredes com exceção da parede ARG4 comprimiram lateralmente até um valor máximo e após esse valor, a compressão reduziu até se transformar em tração.

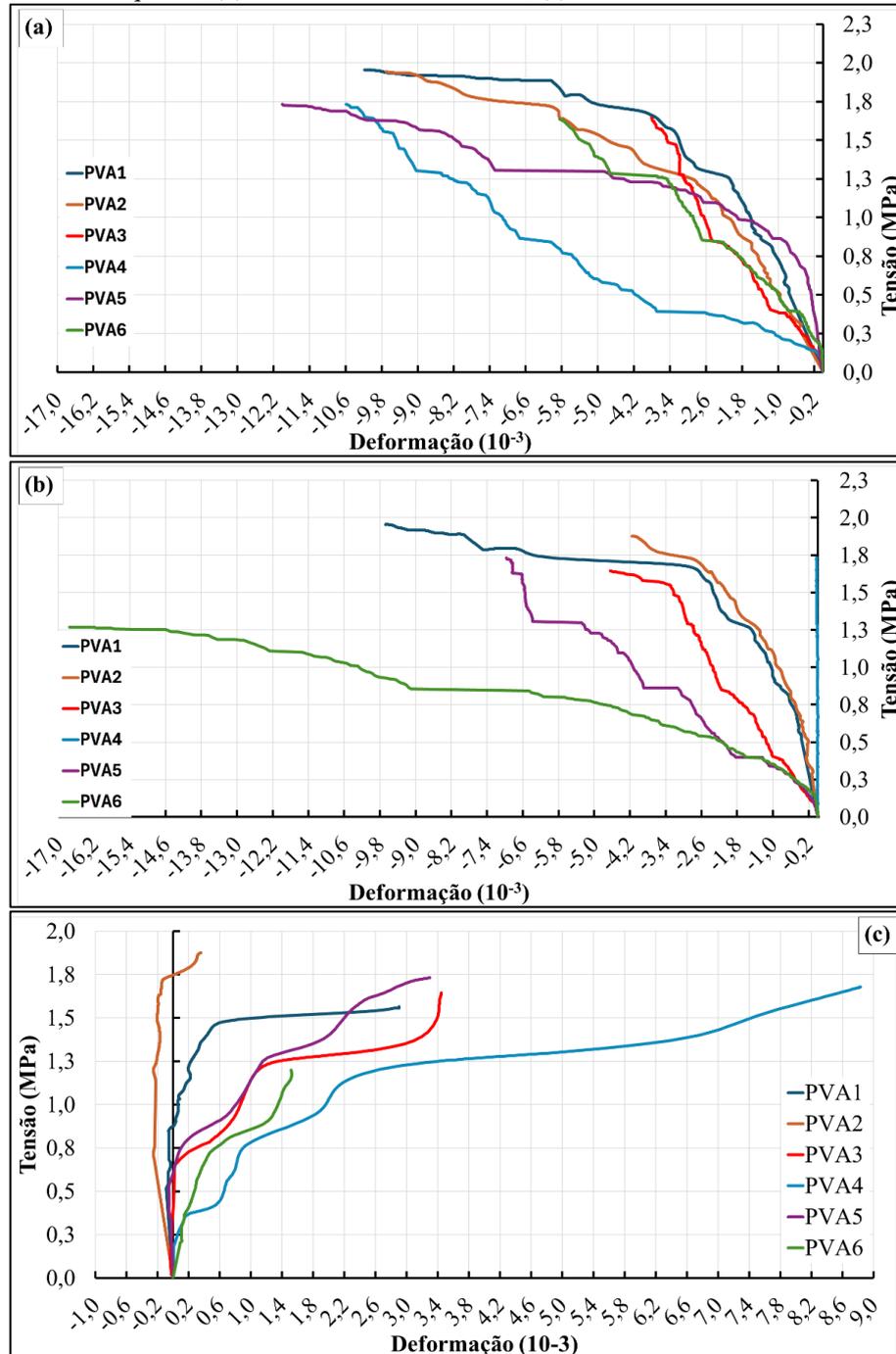
De uma maneira geral, as curvas de tensão x deformação de AC e ARG apresentaram comportamento semelhante em relação ao transdutor vertical direito (comportamento linear) e ao transdutor horizontal (ocorrência de compressão lateral seguida por tração). Já em relação ao transdutor vertical esquerdo, as pequenas paredes de ARG apresentaram deformações inferiores às pequenas paredes de AC até o fim das leituras. Para uma tensão de 2,50MPa, a deformação média das paredes de AC foi de $-1,33 \times 10^{-3}$, enquanto para as paredes de ARG a deformação média foi de $-0,836 \times 10^{-3}$.

A Figura 45 apresenta os gráficos de tensão x deformação relativos às pequenas paredes confeccionadas com cola PVA. A curva de tensão x deformação vertical esquerda da parede PVA4 sobrepõe-se ao eixo das tensões, o que indica que ocorreu um erro de leitura nesse transdutor, impossibilitando obtenção e análise dos dados. De uma maneira geral, as deformações apresentadas por todas as paredes de PVA foram bastante superiores às deformações apresentadas pelas paredes de AC e ARG para os mesmos valores de tensão. Para uma tensão de 1,30MPa, a deformação média vertical esquerda da parede de PVA foi de $-4,90 \times 10^{-3}$, enquanto nas paredes de AC e ARG para a mesma tensão as deformações foram $-0,51 \times 10^{-3}$ e $-0,37 \times 10^{-3}$, respectivamente (Figura 45a). No caso das deformações horizontais, os valores obtidos para a parede de PVA foram $2,14 \times 10^{-3}$ e para as paredes de AC e ARG $-0,03 \times 10^{-3}$ e $-0,05 \times 10^{-3}$, respectivamente (Figura 45c).

Verifica-se também a manutenção da tensão e um aumento da deformação na maioria das curvas, indicando que durante o ensaio, as pequenas paredes apresentavam uma capacidade de deformação para um nível de tensão praticamente constante. Em relação à curva de tensão x deformação esquerda, as paredes PVA1, PVA2, PVA3, PVA5 e PVA6 apresentaram comportamento semelhante (Figura 44a). A parede que mais divergiu no comportamento da curva foi a parede PVA4, devido à concentração de fissuras no ponto de leitura do transdutor

esquerdo. Já no caso da curva de tensão deformação direita, a curva mais divergente das demais foi a referente à parede PVA6, onde as primeiras fissuras ocorreram próximo ao transdutor direito (Figura 45b).

Figura 45 – Gráficos tensão x deformação axial das pequenas paredes de PVA – (a) Transdutor vertical esquerdo, (b) Transdutor vertical direito, (c) Transdutor horizontal.



Fonte: O autor.

No que se refere à curva de tensão x deformação horizontal, observa-se que as paredes PVA1, PVA2, PVA3 e PVA5 comprimiram lateralmente até um valor máximo e após esse valor a

compressão reduziu até se transformar em tração, levando à ruptura dos corpos de prova. Comportamento diferente do apresentado para as paredes PVA4 e PVA6, onde foram lidas apenas deformações associadas à tração (Figura 45c).

O módulo de deformação secante das pequenas paredes foi obtido conforme estabelecido pela NBR 18868-3 (ABNT, 2020), calculado no intervalo correspondente a 5% e 30% da tensão de ruptura de cada corpo de prova. Conforme observado na Tabela 12, o módulo de deformação secante médio das pequenas paredes de AC é 3812 ± 1692 MPa, das paredes de ARG 4110 ± 2341 MPa e das paredes de PVA 639 ± 406 MPa. Observa-se uma grande dispersão nos módulos de deformação obtidos para cada parede. Os coeficientes de variação para as pequenas paredes de AC, ARG e PVA são 44%, 57% e 64%. Essa variabilidade de valores entre as paredes pode ter ocorrido devido à leitura localizada dos transdutores, em alguns casos as trincas ocorreram no campo de leitura dos transdutores em outras situações ela ocorreu fora desse campo de leitura, levando a pequenas deformações e conseqüentemente módulos de deformação elevados. Outra hipótese que pode ter contribuído para a dispersão dos valores foram os erros de algumas leituras, alguns transdutores não geraram dados durante os ensaios.

Tabela 15 – Módulo de deformação secante pequenas paredes.

Pequena Parede	E_p (MPa)	Pequena Parede	E_p (MPa)	Pequena Parede	E_p (MPa)
AC1	4710	ARG1	2516	PVA1	859
AC2	5514	ARG2	8759	PVA2	1112
AC3	5154	ARG3	52316*	PVA3	364
AC4	4539	ARG4	2918	PVA4	101
AC5	1123	ARG5	2956	PVA5	1114
AC6	1836	ARG6	3401	PVA6	283
Média	3812	Média	4110	Média	639
Desvio Padrão	1692	Desvio Padrão	2341	Desvio Padrão	406
C.V. (%)	44	C.V. (%)	57	C.V. (%)	64

*Valor desconsiderado.

Fonte: O autor.

De todo modo, destaca-se os elevados módulos de deformação das pequenas paredes quando comparadas aos prismas. O módulo de deformação secante médio das pequenas paredes de AC é 15 vezes maior do que o observado no prisma, a pequena parede de ARG apresentou módulo de deformação secante 13 vezes maior que o prisma e a da cola PVA 5 vezes maior. O aumento da rigidez gerado pela presença das juntas de assentamento, já identificado nos prismas, ficou ainda mais pronunciado nestes resultados, gerando este aumento expressivos.

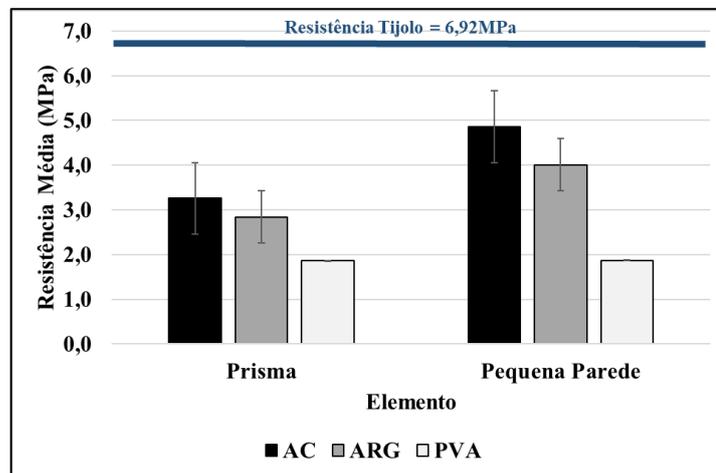
A Tabela 16 e Figura 46 apresentam o resumo das resistências à compressão axial das pequenas paredes ensaiadas com idade superior a 180 dias em comparação com os prismas e tijolos. As resistências foram calculadas considerando a área bruta dos elementos. Os ensaios de compressão das pequenas paredes foram realizados nos meses de outubro e novembro de 2023 em Belo Horizonte, esse período registrou umidade média relativa do ar em torno de 73% (INMET, 2023), umidade semelhante quando da realização dos ensaios dos tijolos em condição ambiente.

Tabela 16 – Resistência à compressão axial pequenas paredes.

Nº Pequena Parede	Resistência (MPa)	Nº Pequena Parede	Resistência (MPa)	Nº Pequena Parede	Resistência (MPa)
AC1	4,15	ARG1	5,04	PVA1	1,98
AC2	5,07	ARG2	4,23	PVA2	2,08
AC3	5,41	ARG3	4,22	PVA3	1,76
AC4	4,61	ARG4	3,36	PVA4	1,99
AC5	5,09	ARG5	3,46	PVA5	1,74
AC6	4,81	ARG6	3,75	PVA6	1,68
Média	4,86	Média	4,01	Média	1,87
Desvio Padrão	0,40	Desvio Padrão	0,57	Desvio Padrão	0,15
C.V. (%)	8,23	C.V. (%)	14,21	C.V. (%)	8,02

Fonte: O autor.

Figura 46 – Resistências médias à compressão



Fonte: O autor.

A resistência média observada para as pequenas paredes confeccionadas com argamassa colante (AC) foi de $4,86 \pm 0,40$ MPa, com coeficiente de variação de 8,23% o que corresponde a um fator de eficiência de resistência da pequena parede/resistência do tijolo de 0,70. Já para as pequenas paredes de argamassa convencional (ARG), a resistência média observada é de $4,01 \pm 0,57$ MPa, com coeficiente de variação de 14,21% o que corresponde a um fator de eficiência de resistência da pequena parede/resistência do tijolo de 0,58. Em relação às

pequenas paredes confeccionadas com cola PVA (PVA), os resultados foram os seguintes: resistência média de $1,87 \pm 0,15$ MPa, coeficiente de variação de 8,02% e fator de eficiência de resistência da pequena parede/resistência do tijolo de 0,27.

Observa-se que a resistência à compressão axial das pequenas paredes confeccionadas com argamassa colante (AC) e argamassa convencional (ARG) é consideravelmente superior (2,60 e 2,14 vezes respectivamente) à resistência das pequenas paredes confeccionadas com cola PVA (PVA). Este fato pode ser explicado pela influência das argamassas no comportamento conjunto dos elementos, assim como descrito anteriormente para os prismas. Observando-se o desvio padrão, pode-se dizer que as resistências à compressão dos primas e pequenas paredes de AC e ARG são estaticamente iguais.

Outro fato a destacar é o valor do fator de eficiência observado entre a resistência à compressão axial das pequenas paredes e dos prismas. As pequenas paredes confeccionadas com AC e ARG tiveram um incremento de resistência de 49% e 41% em relação à resistência dos prismas. Esse resultado é divergente do observado por Ramalho e Corrêa (2003) para blocos de cerâmicos e de concreto. Os autores indicam que a resistência da parede é sempre inferior a do prisma, sendo a relação entre suas resistências por volta de 0,70, devido a maior esbeltez e número de juntas de argamassa presentes na parede. Já as pequenas paredes de PVA apresentaram resistência à compressão axial muito semelhante à resistência dos prismas. No caso das pequenas paredes de AC e ARG, esse incremento de resistência pode estar associado à argamassa que penetrou pelos furos dos tijolos quando da confecção das peças, preenchendo os vazios, formando “colunas” de argamassa (Figura 47), conferindo maior resistência ao sistema. No caso dos prismas, como são formados apenas por 3 juntas horizontais, o acúmulo de argamassa nos furos de argamassa não ocorreu como nas pequenas paredes.

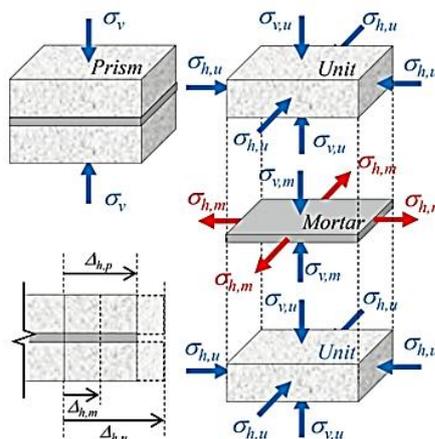
Outra hipótese que pode explicar o aumento de resistência das pequenas paredes em relação aos prismas é o possível confinamento dos tijolos provocado pela argamassa. Além da resistência da argamassa ser superior ao dos tijolos, as juntas ainda ficaram com espessura considerável em relação à altura das unidades: 10% e 16% para as paredes de AC e ARG, respectivamente. Essa configuração pode ter contribuído para o confinamento dos tijolos (Figura 48), introduzindo uma maior resistência ao sistema.

Figura 47 – Acúmulo de argamassa nos furos verticais das pequenas paredes.



Fonte: O autor.

Figura 48 - Estado de tensões atuantes nos blocos e junta de argamassa: argamassa com maior resistência que as unidades.



Fonte: Nalon, et al. (2022).

Em relação às fissuras, observou-se que em cerca de 65% da carga de ruptura já apareciam as primeiras fissuras nas pequenas paredes de AC, enquanto na amostra de ARG isso aconteceu na razão de 50% e para a pequena parede de PVA por volta dos 20%. Nos ensaios realizados por Lan, Weng e Zhang (2023) com paredes de alvenaria estabilizada unidos por argamassa cimentícia, a razão entre a carga de ruptura e a resistência do prisma quando da ocorrência das primeiras fissuras foi de 45%. Fundi, Kaluli e Kinuthia (2018), Jabri *et al.* (2022) e Joyklad, *et al.* (2022) ensaiaram paredes sem a utilização de juntas de assentamento e observaram o surgimento das primeiras fissuras com 15%, 21% e 8% da carga de ruptura das paredes.

A Figura 49 apresenta os padrões de fissuras das pequenas paredes quando ensaiadas à compressão axial.

Figura 49 – Fissuras típicas pequenas paredes – (a) argamassa colante, (b) argamassa convencional, (c) cola PVA.



Fonte: O autor.

De um modo geral, pode-se dizer que a ruptura das paredes se deu por tração nas unidades de solo cimento. A Figura 49a é relativa às fissuras nas paredes de argamassa colante (AC). Para esse grupo, foram observadas fissuras inclinadas e bem definidas ao longo de toda a parede, formando uma superfície deslizante. Já para as paredes de ARG (Figura 49b), observam-se fissuras verticais no centro e na lateral da parede e fissuras verticais não totalmente desenvolvidas no meio da amostra, caracterizando um rompimento localizado na parte superior das paredes. Os padrões de fissura observados para as paredes de AC e ARG são, respectivamente, semelhantes aos padrões III e IV de falha observados por Lan, Weng e Zhang (2023) em seu trabalho com tijolos de solo cimento assentados com argamassa cimentícia. No caso das paredes de cola PVA (Figura 49c), observa-se a ocorrência de fissuras verticais localizadas, provocadas por tração nos tijolos, bem como o esmagamento das unidades, caracterizado pelo lascamento de detritos. Contudo, o aspecto geral da falha da parede é caracterizado pela concentração e orientação das fissuras na diagonal da amostra, aproximando-se de um cisalhamento generalizado.

Entende-se que a ruptura se deu predominantemente por tração e esmagamento das unidades, padrão similar ao observado por Sturm, Ramos e Lourenço (2015), Fundi, Kaluli e Kinuthia (2018) e Joyklad, *et al.* (2022). Sem argamassa de junta, o contato entre as unidades está longe de ser uniforme, causando o início de danos por fissuração local em baixas cargas. Quando são utilizadas juntas argamassadas, o contato entre os tijolos torna-se mais uniforme, evitando assim a concentração de tensões e mitigando danos por flexão local (Miranda *et al.*, 2017).

4.5 Análise comparativa da resistência esperada da alvenaria

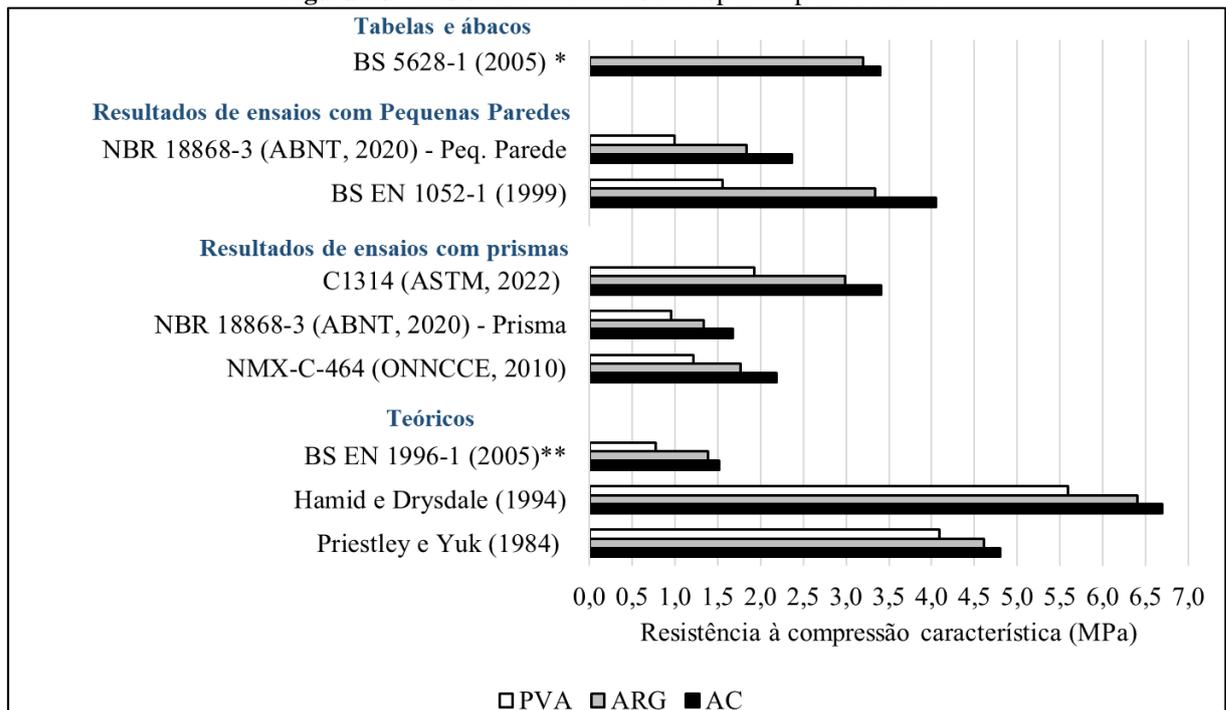
A partir das formulações apresentadas, das recomendações normativas e dos resultados dos ensaios dos prismas e pequenas paredes, calculou-se a resistência característica à compressão provável da alvenaria confeccionada com os tijolos de solo cimento e argamassa abordados nessa pesquisa (Tabela 17 e Figura 50).

Observa-se uma diferença significativa entre as previsões de resistência característica para a alvenaria. O modelo mais otimista é o proposto por Hamid e Drysdale (1994), seguido por Priestley e Yuk (1984). As formulações dos autores foram elaboradas para blocos de concreto, o que provavelmente conduziu a uma resistência esperada maior.

Tabela 17 – Resistência característica esperada para alvenaria

RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA ALVENARIA (MPa)			
	AC	ARG	PVA
Modelos Teóricos			
Priestley e Yuk (1984)	4,80	4,61	4,09
Hamid e Drysdale (1994)	6,70	6,40	5,59
BS EN 1996-1 (2005)**	1,52	1,38	0,77
Formulações baseadas na resistência de prismas			
NMX-C-464 (ONNCCE, 2010)	2,19	1,76	1,22
NBR 18868-3 (ABNT, 2020) - Prisma	1,67	1,33	0,95
C1314 (ASTM, 2022)	3,41	2,99	1,93
Formulações baseadas na resistência de pequenas paredes			
BS EN 1052-1 (1999)	4,05	3,34	1,56
NBR 18868-3 (ABNT, 2020) - Peq. Parede	2,37	1,84	1,00
Tabelas e ábacos			
BS 5628-1 (2005) *	3,40	3,20	-

Fonte: O autor.

Figura 50 – Resistência característica esperada para alvenaria

* Não foi possível correlacionar a cola PVA com as tabelas da norma;

** Para cálculo da resistência da alvenaria com junta de cola PVA foi utilizado o valor de 1,0 para a resistência da argamassa.

Fonte: O autor.

O resultado mais conservador é o proposto pelo BS EN 1996-1 (2005), seguido dos valores propostos pela NBR 18868-3 (2020) – Prismas, NMX-C-464 (ONNCCE, 2010) e NBR 18868-3 (ABNT, 2020) - Pequenas paredes. A norma britânica leva em consideração em sua previsão a resistência individual dos elementos constituintes da alvenaria: tijolos e argamassa, já a

normativa mexicana e a normativa brasileira fazem a estimativa a partir dos resultados dos ensaios de compressão de prismas e pequenas paredes confeccionados com os mesmos materiais propostos para a alvenaria. As normativas C1314 (ASTM, 2022), BS EN 1052-1 (1999) e BS 5628-1 (2005) apresentaram previsões intermediárias quando comparadas às demais.

De uma maneira geral, os resultados mais otimistas são os propostos pelos modelos teóricos e os mais conservadores os obtidos através de ensaios com prisma e pequenas paredes. Desta forma, acredita-se ser necessário maiores estudos, inclusive com paredes de solo cimento, para melhor entendimento do comportamento destes materiais. Percebeu-se ao analisar o fator de eficiência da pequena parede e prisma um aumento de mais 40% quando se utilizou as argamassas colante e de assentamento convencional, diferente das alvenarias convencionais, logo estas relações devem ser consideradas com ressalva. Nenhum destes modelos consideram uma junta tão espessa em relação a altura das unidades de tijolos.

5

CONCLUSÃO

Este estudo investigou o comportamento mecânico de prismas e pequenas paredes de tijolos de solo cimento sujeitos à compressão axial. O programa experimental desenvolvido englobou o ensaio de tijolos, prismas e pequenas paredes confeccionados com 3 tipos de junta: argamassa colante, argamassa convencional e cola PVA.

Após a apresentação e discussão dos resultados, pode-se concluir:

- Os tijolos de solo cimento apresentam uma redução elevada da resistência à compressão e no módulo de elasticidade relação ao aumento da umidade (de 10,47MPa seco em estufa a 3,88MPa saturado em água), respectivamente.
- Os prismas apresentam uma variação considerável no comportamento mecânico a compressão em função da variação do tipo de junta de assentamento. Os elementos confeccionados com argamassa colante apresentaram um melhor desempenho à compressão quando comparados aos confeccionados com argamassa convencional (115%) e cola PVA (175%). O melhor desempenho da argamassa colante em relação à argamassa convencional pode ser relativo à sua maior resistência à compressão e tração/aderência devido a presença de adições poliméricas além do cimento. Já no caso da cola PVA, acredita-se que seu desempenho inferior seja relacionado à ausência da junta, que evidenciou as imperfeições geométricas dos tijolos, levando a uma concentração de tensões, seguido do esmagamento das unidades.
- As pequenas paredes tenderam a maximizar o efeito do confinamento gerado pelas juntas e do efeito de maior resistência destas argamassas (colante e de assentamento convencional) a aumentar expressivamente (237% e 2498%, respectivamente) a resistência a compressão e módulo de elasticidades em relação a junta com cola PVA.
- A bibliografia existente para blocos cerâmicos e de concreto apresentou divergência de comportamento em relação as pequenas paredes com tijolos de solo cimento, uma vez que, estas apresentaram maior eficiência (resistência parede/resistência bloco) do que os prismas. Este fato pode ter sido ocasionado pelo acúmulo de argamassa nos furos da parede e/ou pelo

confinamento dos tijolos causado pela presença de argamassa de maior resistência com espessuras maiores (10 a 16% da altura dos tijolos).

- Os modos de falha observados nos prismas e pequenas paredes também sofreram influência dos tipos de junta empregados. Para os prismas confeccionados com argamassa colante e argamassa convencional, foram observadas fissuras de tração nos tijolos, seguida pela ruptura da argamassa de assentamento. Já nos prismas com juntas de cola PVA as fissuras surgiram em diversos pontos das amostras, causando lascamentos dos tijolos, evidenciando o esmagamento das unidades devido a concentração de tensões e um comportamento mais frágil. As fissuras ficavam mais evidentes quando do aumento da carga de compressão aplicada. Em relação às pequenas paredes, os elementos confeccionados com argamassa colante apresentaram fissuras inclinadas e bem definidas ao longo de toda a parede. Já os elementos de argamassa convencional apresentaram um rompimento mais localizado, com fissuras no centro e nas bordas das amostras. Já nas paredes de PVA observou-se a ocorrência de uma concentração de tensões ocasionando o esmagamento dos tijolos bem como uma orientação das fissuras na diagonal da amostra, aproximando-se de um cisalhamento generalizado.
- É evidente a importância da argamassa de assentamento, que além de solidarizar os elementos, tem por função transmitir de maneira uniforme os esforços, evitando a concentração de tensões e a falha local das unidades, conferindo ao sistema uma maior resistência.
- Em relação à previsão da resistência característica da alvenaria, ficou evidente a grande variação dos valores propostos pelos modelos teóricos, pelas formulações baseadas na resistência de prismas e pequenas paredes e pelas tabelas e ábacos das normativas e publicações. Se faz necessários maiores estudos para descrever melhor o comportamento destas alvenarias com tijolos de solo cimento.

Apesar dos resultados satisfatórios de resistência à compressão dos elementos confeccionados com tijolos de solo cimento, nota-se que existe uma carência de normatização para sua utilização como alvenaria estrutural. Assim, estudos futuros precisam ser desenvolvidos no sentido de ampliar o conhecimento da alvenaria e a influência das juntas finas e teor de umidade nas alvenarias com tijolos de solo de cimento.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Na sequência são apresentadas algumas sugestões para pesquisas futuras, visando dar continuidade ao que foi desenvolvido nessa dissertação.

- Realizar ensaios de flexão e cisalhamento em corpos de prova confeccionados com os tijolos ecológicos e os diferentes tipos de junta utilizados nessa pesquisa (argamassa colante, argamassa convencional e cola PVA);
- Ensaiair à compressão de paredes em escala real, confeccionadas com juntas de argamassa colante, argamassa convencional e cola PVA, a fim de comparar seu comportamento com o apresentado pelos prismas e pequenas paredes;
- Ensaiair a compressão pequenas paredes apenas com juntas horizontais;
- Realizar ensaios à compressão de prismas e pequenas paredes em diferentes condições de umidade.

6

REFERÊNCIAS

ABDELRAHMAN, B. GALAL, K. *Influence of pre-wetting, non-shrink grout, and scaling on the compressive strength of grouted concrete masonry prisms. Construction and Building Materials*, v. 241, 30 abril 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117985>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819334385>. Acesso em 02 setembro 2023.

ACCETTI, K. M. *Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria*. 1998. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Estrutural) São Carlos: Universidade de São Paulo, USP, São Paulo 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (**ABCP**). *Manual de Construção com solo-cimento*. Boletim técnico, 3.ed. São Paulo, 1984. 98p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (**ABCP**). *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais*. 3. ed. São Paulo, 2000. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (**ABCP**). *Dosagem das misturas de solo-cimento: Normas de dosagem e métodos de ensaios*. 3.ed. São Paulo, 2004. 63p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13277** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água*. Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13278** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Rio de Janeiro, 2005c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16541** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para realização de ensaios*. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281** - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900-1** *Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos*. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8491** - *Tijolo de Solo-Cimento - Requisitos*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8492** - *Tijolo de Solo-Cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459** - *Solo - Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180** - *Solo - Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181** - *Solo - Análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-1** - *Alvenaria estrutural - Parte 1 - Projeto*. Rio de Janeiro, 2020a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-2** - *Alvenaria estrutural - Parte 2 - Execução e controle de obras*. Rio de Janeiro, 2020b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16868-3** - *Alvenaria estrutural - Parte 3 - Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2020c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8492** – *Tijolo de solo cimento*. Rio de Janeiro, 2012.

American Society for Testing Materials. **ASTM C1314-22** - *Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms*, In: Annual Book of ASTM Standards, 2022.

AUGUSTO, A.; ENTEICHE, G. *Suelo cemento: su aplicación en la edificación*. 1ª edição. Bogotá: Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, 1963.

BARBOSA, C. S. *Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte*. 2004. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BASTOS, P. S. *Alvenaria Estrutural: Apostila. Alvenaria Estrutural*. Professor Paulo Sérgio Bastos. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2021.

BOGAS, J. A. et al, *Mechanical performance and shrinkage of compressed earth blocks stabilised with thermoactivated recycled cement*, **Journal of Building Engineering**. V. 79, 15 novembro 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107892>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710223020727>. Acesso em 05 dezembro 2022.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN 1052-1: Methods of Test for Masonry – Part 1: Determination of Compressive Strength**, BS 1052, London, BSI, 1999.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN 5628-1: Code of practice for the use of masonry – Part 1: Structural use of unreinforced masonry**, BS 5628, London, BSI, 2005.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **EN 1996-1-1. Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures**. BS 1996, London, BSI, 2005.

BURROUGHS, S. *Soil Property Criteria for Rammed Earth Stabilization*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 20, n. 3, p. 264–273, 1 mar. 2008. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2008\)20:3\(264\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2008)20:3(264)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282008%2920%3A3%28264%29>. Acesso em 05 março 2022.

CALDEIRA, F. E. et al. *Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks*. **Construction and Building Materials**, v. 234, 20 feb. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117419>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061819328715>. Acesso em 08 fevereiro 2023.

CALDERÓN, S. *A detailed experimental mechanical characterization of multi-perforated clay brick masonry*. **Journal of Building Engineering**, v. 63, n 105505, 1 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105505>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235271022201511X#fig4>. Acesso em 15 janeiro 2023.

CASALI, J. M. *Estudo da interação entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência*. 2008. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina 2008.

CASTRO, A. P. A. S.; SILVA, F. S. *Incentivo ao uso de produtos de baixo impacto ambiental através da disciplina de materiais de construção civil*. Instituto superior de Engenharia Arquitetura e Design – CEUNSP, Salto, SP. Maio de 2011.

CASTRO, L. O. et al. *Avaliação da influência da resistência da argamassa na resistência à compressão simples de primas de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. **Ibracon: Congresso Brasileiro do Concreto**, 2015. Bonito, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Construção Sustentável: a mudança em curso**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília: CNI, 2017.

DRYSDALE, R.G.; HAMID, A.A.; BAKER, L.R. **Masonry structures: Behavior and design**. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1994.

FERREIRA, G. C. S.; MORENO, A. L. J. *Cola à base de PVA e argamassa de solo-cimento como alternativas para o assentamento de alvenaria de tijolos maciços de solo-cimento*. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 237–248, abr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000200004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/cDw4Mzc5GnfL5jwngNSRrdm>. Acesso em: Acesso em 15 janeiro 2022.

FORTES, E. S. *Influência do capeamento e caracterização da resistência a compressão de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. 2012. 303 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

FUNDI, S. I., KALULI, J. W., KINUTHIA, J. *Performance of interlocking laterite soil block walls under static loading*. **Construction and Building Materials**, v. 171, 20 may. 2018, p. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.115>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818306056#f0025>. Acesso em 29 junho 2023.

GIRALDELLI, M. A., et al. *Construção com Terra: Breve Histórico e Técnicas*. **Ensaio**, v. 24, n. 4, p. 357-364, 02 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2020v24n4p357-364>. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsskroton.com.br/article/view/8083>. Acesso em 05 dezembro 2023.

HEMA, C. et al. *Improving the thermal comfort in hot region through the design of walls made of compressed earth blocks: An experimental investigation*. **Journal of Building Engineering**, v. 38, 05 jan. 2021, p. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102148>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221000048?via%3Dihub>. Acesso em 29 janeiro 2023.

HOUBEN - França. Ministère des Affaires Culturelles. *Minimôme découvre la terre*. Grenoble Unité Pédagogique d'Architecture de Grenoble, Grenoble, 1975.

ICPA - Instituto Del Cemento Portland Argentino. **Boletín**. Buenos Aires, 32p. abril 1973.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET**. *Valores Extremos*. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/ValoresExtremos/UMIN>. Acesso em 05 dezembro 2023.

JABRI, K. A. *Structural and thermal performance of sustainable interlocking compressed earth blocks masonry units made with produced water from oilfields*. **Case Studies in Construction Materials**, v. 17, e01186, dec 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01186>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522003187>. Acesso em 08 março 2023.

JARDIM, P. I. L. G. et al. *Aspectos dos blocos ecológicos de solo-cimento*. **Economia e Sociedade**, v. especial, n.1, p. 79-88, fevereiro, 2019. Disponível em:

<https://periodicos.saolucas.edu.br/index.php/dialogos/article/view/76/47>. Acesso em 22 fevereiro 2022.

JOYKLAD, P. *et al.* *A investigative study for the prediction of compressive strength of cement-clay interlocking (CCI) hollow brick masonry walls.* **Case Studies in Construction Materials**, v. 16, e01001, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522001334#bib29>. Acesso em 03 janeiro 2023.

LAN, G. WENG, G. ZHANG, K. *Assessment of optimal specimen to measure the compressive strength of earthen-based masonry.* **Measurement**, v. 208, n 112484, 28 feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112484>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224123000489#f0020>. Acesso em 24 fevereiro 2023.

LÜBECK, A. *Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural.* 2016. **Tese** (Doutorado Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2016.

MACHADO, A. P.; GUGLIELMI, E.; ANTUNES, P. *Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos cerâmicos estruturais.* 2015. **TCC** – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina 2015.

MERRILL, A. F. *Casas de tierra apisonada y suelo-cemento.* 1ª Edição. Buenos Aires: Windsor, 1949.

MICCOLI, L., MULLER, U., FONTANA, P. *Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob.* **Construction and Building Materials**, v.61, 30 jun 2014, p. 327-339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814002566#b0090>. Acesso em 28 fevereiro 2023.

MIRANDA, T., *et al.* *ICEBs stabilised with alkali-activated fly ash as a renewed approach for green building: Exploitation of the masonry mechanical performance.* **Construction and Building Materials**, v. 155, p. 65-78, 30 nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817316379>. Acesso em 05 dezembro 2023.

MOHAMAD, G. *Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto.* 1998. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. 134p. Santa Catarina, 1998.

MOHAMAD, G. *et al.* *Mechanical behaviour of bedding mortar for structural masonry - Preview and failure mode.* **Revista Materia**, v. 14, n. 2, p. 824–844, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-70762009000200006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/M4brjr7pT4HZjtj7cMbWmCs/abstract/?lang=en>. Acesso em 06 fevereiro 2022.

MOHAMAD, G. *Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho*. 2ª Edição. São Paulo: Blucher, 2015.

MOHAMAD, G., RIZZATTI, E., ROMAN, H. R., *Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais*. **Ambiente Construído**, vol.11, n.3, p.7-22. Porto Alegre, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000300002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/YGK9N7LvqbRH8pKjKxrHf8p/>. Acesso em 06 fevereiro 2022.

MOHAMAD, G. *et al. Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths*. **Construction and Building Materials**, v. 134, 1 março 2017, p. 489-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.112>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061816320311>. Acesso em 19 maio 2023.

MURMU, A. L.; PATEL, A. *Towards sustainable bricks production: An overview*. **Construction and Building Materials**, v. 165, p. 112–125, 20 mar. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818300382>. Acesso em Acesso em 05 maio 2022.

NALON, et al. *Strength and failure mechanisms of masonry prisms under compression, flexure and shear: components' mechanical properties as design constraints*. **Journal of Building Engineering**, v. 28, n 101038, março 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219305583>. Acesso em: 18 maio 2023.

NORMA MEXICANA. NMX-C-464-ONNCCE-2010: Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y modulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto – Métodos de ensayo. México, D.F.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. *Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction*. **Construction and Building Materials**, v. 29, p. 512–519, 1 abr. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061811006039>. Acesso em 05 dezembro 2022.

PRIESTLEY, M. J. N.; YUK, C. Prediction of masonry compressive strength Part I. In: New Zealand Concrete Construction. p. 21-24, abril, 1984.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. *Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural*. 1a Edição. São Paulo: Editora Pini, 2003, 174p.

RAO, K. V. M.; REDDY, B. V.; JAGADISH, K. S. *Flexural bond strength of masonry using various blocks and mortars*. **Materials and Structures**, 1996 29:2, v. 29, n. 2, p. 119–124, 1 mar. 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02486202>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02486202>. Acesso em 05 dezembro 2022.

REDDY, B. V. V.; GUPTA, A. *Tensile Bond Strength of Soil-Cement Block Masonry Couplets Using Cement-Soil Mortars*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 18, n. 1, p. 36–45, 1 fev. 2006a. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:1\(36\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:1(36)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282006%2918%3A1%2836%29>. Acesso em 05 dezembro 2022.

REDDY, B. V. V.; LAL, R.; RAO, K. S. N. *Enhancing Bond Strength and Characteristics of Soil-Cement Block Masonry*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 19, n. 2, p. 164–172, 1 fev. 2007. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2007\)19:2\(164\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2007)19:2(164)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282007%2919%3A2%28164%29>. Acesso em 05 dezembro 2022.

REDDY, B. V. V.; LAL, R.; RAO, K. S. N. *Influence of Joint Thickness and Mortar-Block Elastic Properties on the Strength and Stresses Developed in Soil-Cement Block Masonry*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 21, n. 10, p. 535–542, 15 set. 2009. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2009\)21:10\(535\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:10(535)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282009%2921%3A10%28535%29>. Acesso em 05 dezembro 2022.

REDDY, B. V.; GUPTA, A. *Strength and Elastic Properties of Stabilized Mud Block Masonry Using Cement-Soil Mortars*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 18, n. 3, p. 472–476, jun. 2006b. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:3\(472\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:3(472)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290899-1561%282006%2918%3A3%28472%29>. Acesso em 02 janeiro 2023.

REDDY, B. V.; GUPTA, A. *Influence of sand grading on the characteristics of mortars and soil-cement block masonry*. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 8, p. 1614–1623, 1 ago. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.06.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061807001766>. Acesso em 05 dezembro 2022.

SAJANTHAN, K., BALAGASAN, B., SATHIPARAN, N. *Prediction of Compressive Strength of Stabilized Earth Block Masonry*. **Advances in Civil Engineering**, 14 mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/2072430>. Disponível em <https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/2072430/>. Acesso em 24 março 2023.

SANTOS, G. *et al. Análise experimental da influência da espessura da argamassa de assentamento no desempenho mecânico de prismas de blocos de concreto*. **Construindo**, v. 5, n. 2, p. 1-8, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/61769855/An%C3%A1lise_Experimental_Da_Influ%C3%Aancia_Da_Espessura_Da_Argamassa_De_Assentamento_No_Desempenho_Mec%C3%A2nico_De_Prismas_De_Blocos_De_Concreto. Acesso em 05 janeiro 2022.

SANTOS, D.P. BESSA, S.A.L. *O uso do adobe no Brasil: uma revisão de literatura*. **Mix Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n1.53-66>. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3741>. Acesso em 05 dezembro 2023.

SIPP, G. et al. *Alvenaria de junta fina com utilização de argamassa polimérica – Principais características*. **Workshop De Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos, Porto Alegre: ANTAC, 2021.** p. 1–6, 18 out. 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/tecsic/article/view/1316>. Acesso em 02 dezembro 2022.

SITTON, J. D., *et al.* Effect of mix design on compressed earth block strength. **Construction and Building Materials**, v. 158, 15 jan. 2018, p. 124-131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817320354#b0125>. Acesso em 20 fevereiro 2022.

SORE, S. O., *et al.* Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso. **Construction and Building Materials**, v. 165, 20 mar. 2018, p. 333-345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061818300515>. Acesso em 20 março 2023.

STURM, T., RAMOS, L. F., LOURENÇO, P. B. *Characterization of dry-stack interlocking compressed earth blocks*. **Materials and Structures**, v.48, 18 jul. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0379-3>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-014-0379-3>. Acesso em 02 janeiro 2023.

TAVEIRA, E. S. N. *Construir morar habitar: o solo-cimento no campo e na cidade*. São Paulo: Ícone Editora, v. 1. 1987.

TENNANT, A. G. et al. *Verification of Masonry Building Code to Flexural Behavior of Cement-Stabilized Soil Block*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, n. 3, p. 303–307, 23 abr. 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.00005](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.00005). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000566>. Acesso em 03 janeiro 2023.

TRIPURA, D., KASINIKOTA, P. *Axial load behavior of unreinforced and reinforced hollow interlocking compressed stabilized earth block masonry walls*. **Construction and Building Materials**, v.407, 01 dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133451>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823031689>. Acesso em 05 janeiro 2024.

UZOEGBO, H.C., NGOWI, J.V. *Structural Behaviour of Dry-stack Interlocking Block Walling Systems Subject to In-plane Loading*. **Concrete Beton**, v. 103, p. 9-13, mai. 2003. Disponível em: <https://cemcon-sa.org.za/wp-content/uploads/filr/9777/103.pdf>. Acesso em 05 dezembro 2023.

VALIM, F. A. *Análise do comportamento de prismas e pequenas paredes de alvenaria confeccionados com tijolos de solo-cimento-RCC*. 2017. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá 2017.

VIEIRA, R. S. *Estudo de Argamassas Industrializadas para Assentamento de Alvenaria Estrutural de Bloco de Concreto*. 2019. **TCC** – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, Santa Catarina 2019.

VIMALA, S.; KUMARASAMY, K. Studies On The Strength Of Stabilized Mud Blockmasonry Using Different Mortar Proportions. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, v. 9001, n. 4, abr. 2014. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8123c7ac57f5455a9792b95f9be705ed9f36ce7>. Acesso em 05 dezembro 2023.

WALKER, P. *Bond characteristics of earth block masonry*. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 11, n. 3, p. 249-256, 01 ago. 1999. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(24\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(24)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290899-1561%281999%2911%3A3%28249%29>. Acesso em 05 dezembro 2023.