

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

DOMINIQUE DE MOURA JANK

**CORRELAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS EM ENSAIOS DE PRISMAS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS DE PAREDES
MACIÇAS**

Alegrete

2021

DOMINIQUE DE MOURA JANK

**CORRELAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS EM ENSAIOS DE PRISMAS DE
ALVENARIA ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS DE PAREDES MACIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alisson Simonetti Milani

Alegrete

2021

DOMINIQUE DE MOURA JANK

**CORRELAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS EM ENSAIOS DE PRISMAS DE ALVENARIA
ESTRUTURAL COM BLOCOS CERÂMICOS DE PAREDES MACIÇAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Civil da Universidade
Federal do Pampa, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 24 de Setembro de 2021.

Banca examinadora:

Prof. Dr. ALISSON SIMONETTI MILANI - Orientador - UNIPAMPA

Me. Eng. MARCELO DE JESUS DIAS OLIVEIRA - UNIPAMPA

Prof. Dr. JAELSON BUDNY - UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 00:57, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MARCELO DE JESUS DIAS DE OLIVEIRA, ENGENHEIRO-AREA**, em 08/10/2021, às 10:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ALISSON SIMONETTI MILANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/10/2021, às 12:53, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0634510** e o código CRC **E62C3C8F**.

Dedico esse trabalho à Dominique de 17 anos. Ela ficaria orgulhosa em ver onde chegou.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Alisson Milani, por toda a paciência que teve comigo, sem ele com certeza esse trabalho não teria saído. Agradeço também ao Marcelo Oliveira e à Raquel Machado, por terem me guiado nos laboratórios que se tornaram minha segunda casa durante algum tempo.

Agradeço aos meus pais por terem me dado os alicerces nos quais construo minha vida e me permitem sonhar mais alto, essa conquista é tão deles quanto minha, por terem sonhado junto comigo, e a toda minha família, por, mesmo entre pequenos gestos, sempre estarem ao meu alcance quando precisei.

Aos meus amigos Rafael Assis, Guilherme Goulart, Flavio Solis e tantos outros que vieram e foram durante meus anos na UNIPAMPA, meus companheiros de turma, meu mais profundo obrigada por serem minha família enquanto estive em Alegrete, vocês foram meus pilares de sustentação quando precisei, foram meus companheiros na luta e no sofrimento por todos esses anos juntos, vou levá-los pra sempre no meu coração.

Às minhas amigas Joyce Assis, Ingrid Vidigal e Ana Paula Machado, e também ao Alex Assis, que mesmo com menos tempo de convivência provaram que certas coisas são espontâneas, a amizade uma delas, vocês tornaram minhas viradas de noite para projetos muito mais divertidas, me adotaram entre vocês como se eu sempre tivesse estado ali, sofreram, ficaram aflitas e comemoraram as conquistas junto comigo, espero levar vocês junto comigo para sempre.

Meu obrigada especial para minha amiga Juliana Silva, que aguentou todos os meus chiques e ataques de ansiedade, e que mesmo longe sempre pareceu estar o mais perto de mim possível.

E por último mas não menos importante, agradeço a mim, por não desistir quando era o que mais tinha vontade, por passar por cima de todas as dificuldades que surgiram no caminho, por enxugar todas as lágrimas que derramei nos corredores da UNIPAMPA e meter o peito disposta a tentar de novo. Muito obrigada por ter escolhido ser engenheira, com certeza vai valer a pena.

“Aprendi através da experiência amarga a suprema lição: controlar minha ira e torná-la como o calor que é convertido em energia. Nossa ira controlada pode ser convertida numa força capaz de mover o mundo.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Devido a construção civil ainda ser uma área defasada no quesito tecnológico, aos poucos surgem novos meios construtivos que buscam suprir essa deficiência. A alvenaria estrutural, apesar de ser um método construtivo racionalizado, ainda sofre com algumas limitações, entre elas a dificuldade em ser analisada como uma estrutura monolítica, dificultando as análises de tensões como um todo. A correlação de imagem digital aparece como solução para esse problema, oferecendo uma análise por imagem de forma não invasiva, permitindo o estudo da estrutura como um todo.

Este trabalho foi realizado com a finalidade de avaliar o uso do método DIC pelo software GOM Correlate em ensaios de compressão em prismas de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos de paredes maciças, assentados com argamassas industrializadas de 2, 6 e 12 MPa, e também avaliar a influência da resistência da argamassa no método de ruptura do prisma. Com os dados obtidos nas filmagens e processamento pelo software, foi possível verificar que a resistência da argamassa afeta a forma de ruptura do prisma, tornando a ruptura mais frágil quando é utilizada uma argamassa forte, e menos frágil quando utilizada uma argamassa fraca, apresentando também esmagamento da junta nesses casos, e que o método DIC é válido para o uso em ensaio, sendo equiparável ao uso de LVDTs na leitura de tensões e deformações, e retirando a necessidade de contato com o corpo de prova.

Palavras-chave: correlação de imagem digital, alvenaria estrutural, ensaio de compressão em prismas, blocos cerâmicos de paredes maciças.

ABSTRACT

Due to the fact that civil construction is still an outdated area in terms of technology, new constructive means are gradually emerging that seek to make up this deficiency. Structural masonry, despite being a rationalized constructive method, still suffers from some limitations, including the difficulty in being analyzed as a monolithic structure, making it difficult to analyze tensions as a whole. Digital image correlation appears as a solution to this problem, offering an image analysis in a non-invasive way, allowing the study of the structure as a whole.

This work was carried out in order to evaluate the use of the DIC method by the GOM Correlate software in compression tests on structural masonry prisms with ceramic blocks with solid walls, laid with industrialized mortars of 2, 6 and 12 MPa, and also to evaluate the influence of mortar strength on the prism failure method. With the data obtained from the footage and processing by the software, it was possible to verify that the resistance of the mortar affects the way the prism breaks, making the break more fragile when a strong mortar is used, and less fragile when a weak mortar is used, also showing joint crushing in these cases, and that the DIC method is valid for use in testing, being comparable to the use of LVDTs in the reading of stresses and strains, and removing the need for contact with the specimen.

Keywords: digital image correlation, structural masonry, compression test on prisms, ceramic blocks with solid walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Edifício residencial Recanto Barão, localizado em Alegrete.....	16
Figura 2 - Ruptura de prismas.	19
Figura 3 - Exemplo de deslocamento entre frames.	21
Figura 4 - Configuração usual na aplicação da correlação de imagem digital.	21
Figura 5 - Exemplo de mapa digital em um objeto.....	22
Figura 6 - Bloco cerâmico com paredes maciças.	23
Figura 7 - Fluxograma de procedimentos.	24
Figura 8 - Pontos de medição dos blocos.....	25
Figura 9 - Determinação da absorção de água inicial.....	27
Figura 10 - Representação do ensaio de compressão de prisma.....	30
Figura 11 - Posicionamento das câmeras.....	31
Figura 12 - Iluminação da câmera fotográfica.....	31
Figura 13 - Ensaio de resistência à tração na flexão nas argamassas	40
Figura 14 - Ensaio de compressão nas argamassas	40
Figura 15 - Posicionamento dos <i>strain gauges</i>	42
Figura 16 - Tinta spray utilizada.....	43
Figura 17 - Descolamento da argamassa no prisma 2A.....	44
Figura 18 - Tensão x Deformação da média dos LVDTs dos prismas de 2 MPa	45
Figura 19 - Prisma 2B.....	46
Figura 20 - Prisma 2B rompido	47
Figura 21 - Descolamento da argamassa do prisma 2B.....	48
Figura 22 - Tensão x Deformação Prisma 2B (LVDTs)	48
Figura 23 - Tensão x Deformação da média dos LVDTs dos prismas de 6 MPa	50
Figura 24 - Prisma 6F	50
Figura 25 - Prisma 6F rompido	51
Figura 26 - Tensão x Deformação Prisma 6F (LVDTs).....	52
Figura 27 - Tensão x Deformação da média dos LVDTs dos prismas com 12 MPa.....	54
Figura 28 - Prisma 12F	54

Figura 29 - Prisma 12F rompido	55
Figura 30 - Tensão x Deformação Prisma 12F (LVDTs).....	56
Figura 31 - Aplicação do método DIC no prisma 2E.....	57
Figura 32 - Tensão x Deformação no prisma 2B (DIC).....	57
Figura 33 - Tensão x Deformação do prisma 2B (comparação)	58
Figura 34 - Etapas do ensaio no prisma 2B.....	59
Figura 35 - Tensão x Deformação no prisma 6F (DIC).....	61
Figura 36 - Tensão x Deformação no prisma 6F (comparação)	61
Figura 37 - Etapas do ensaio no prisma 6F.....	62
Figura 38 - Tensão x Deformação no prisma 12F (DIC).....	64
Figura 39 - Tensão x Deformação do prisma 12F (comparação)	64
Figura 40 - Etapas do ensaio no prisma 12F.....	65
Figura 41 - Medida da argamassa no prisma 2B.....	67
Figura 42 - Comparação da deformação da argamassa de 2 MPa	67
Figura 43 - Valores médios prisma 2B.....	68
Figura 44 - Medida da argamassa no prisma 6F.....	69
Figura 45 - Comparação da deformação da argamassa de 6 MPa	70
Figura 46 - Valores médios prisma 6F.....	71
Figura 47 - Medida da argamassa no prisma 12F.....	72
Figura 48 - Comparação da deformação da argamassa de 12 MPa	72
Figura 49 - Valores médios prisma 12F.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões dos blocos (parte 1)	34
Tabela 2 - Dimensões dos blocos (parte 2)	35
Tabela 3 - Áreas líquidas	36
Tabela 4 - Índices de absorção de água	37
Tabela 5 - Resistência dos blocos à compressão.....	38
Tabela 6 - Índices de consistência das argamassas	39
Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão nas argamassas.....	41
Tabela 9 - Resultados do ensaio de resistência à compressão nas argamassas	41
Tabela 10 - Módulo de deformação das argamassas	42
Tabela 11 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 2 MPa ...	44
Tabela 12 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 6 MPa ...	49
Tabela 13 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 12 MPa .	53
Tabela 14 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 2B	60
Tabela 15 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 6F	63
Tabela 16 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 12F	66
Tabela 17 - Relação entre argamassa e prisma 2B.....	68
Tabela 18 - Relação entre argamassa e prisma 6F	70
Tabela 19 - Relação entre argamassa e prisma 12F	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos gerais	14
1.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificativa	15
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Modo de ruptura da alvenaria estrutural	17
2.2 Correlação de imagem digital	20
3 METODOLOGIA.....	23
3.1 Caracterização dos blocos	24
3.1.1 Características geométricas	25
3.1.2 Características Físicas.....	26
3.1.3 Características mecânicas.....	28
3.2 Caracterização das argamassas	28
3.2.1 Características físicas.....	28
3.2.1.1 <i>Índice de consistência</i>	28
3.2.2 Características mecânicas.....	29
3.2.2.1 <i>Resistência à tração na flexão e à compressão</i>	29
3.2.2.2 <i>Módulo de deformação da argamassa</i>	29
3.3 Ensaio nos prismas	30
3.4 Análise visual	30
3.5 Análise de dados	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 Caracterização dos blocos	33
4.1.1 Características geométricas	33
4.1.2 Características físicas.....	36
4.1.3 Características mecânicas.....	37
4.2 Caracterização das argamassas	38

4.2.1 Características físicas.....	39
4.2.2 Características mecânicas.....	39
4.2.2.1 Resistência à tração na flexão e à compressão	39
4.2.2.2 Módulo de deformação da argamassa.....	42
4.3 Ensaaios nos prismas	43
4.3.1 Prismas com argamassa de 2 MPa	43
4.3.2 Prismas com argamassa de 6 MPa	49
4.3.3 Prismas com argamassa de 12 MPa	52
4.4 Aplicação do GOM Correlate	56
4.4.1 Prismas com argamassa de 2 MPa	57
4.4.2 Prismas com argamassa de 6 MPa	60
4.4.3 Prismas com argamassa de 12 MPa	63
4.5 Análise da junta de argamassa	66
4.5.1 Prismas com argamassa de 2 MPa	66
4.5.2 Prismas com argamassa de 6 MPa	69
4.5.3 Prismas com argamassa de 12 MPa	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	74
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Uma das formas mais primitivas de construção, a alvenaria estrutural vem sendo usada ao decorrer dos séculos na execução de obras, inclusive de vários monumentos. Por ser utilizada em grande parte de seu histórico de forma empírica, era comum o exagero no dimensionamento de sua estrutura (MELO; CARVALHO, 2018).

Conforme o passar do tempo, foi-se refinando a metodologia empregada em sua execução, alcançando os dias de hoje com o conhecimento acumulado de diversos ensaios realizados por pesquisadores, tornando a técnica popular na execução de obras devido à sua eficiência, unindo características como economia, compatibilização de projetos e execução detalhista.

As normativas referentes aos projetos de alvenaria estrutural no Brasil são definidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na NBR 16868-1 (2020a) que trata de projetos com blocos cerâmicos e de concreto.

Porém, apesar dos avanços obtidos, ainda há certa carência de dados em relação ao comportamento dos materiais envolvidos, tornando a técnica limitada, dificultando o seu uso pleno. Uma vez que a alvenaria é composta por materiais diferentes, torna-se complicado analisar os esforços aplicados na estrutura (MOHAMAD, 1998).

Diante deste contexto, o surgimento de novas técnicas que podem ser aplicadas para análise de esforços influencia a evolução da alvenaria estrutural, refinando o sistema conforme melhores estudos são permitidos pela tecnologia.

1.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem por objetivo o estudo do desempenho de prismas compostos por blocos cerâmicos de alvenaria estrutural com paredes maciças, com a utilização da correlação de imagem digital aplicado pelo software GOM Correlate.

1.2 Objetivos específicos

- Examinar a divergência nos modos de ruptura dos elementos moldados com variação na resistência da argamassa;

- Verificar o uso do DIC através de LVTDs (Tradutores de Deslocamento Variável Linear);
- Delimitar o tipo de ruptura e a resistência última dos prismas para cada combinação entre argamassa e bloco.

1.3 Justificativa

A alvenaria estrutural ainda não ser totalmente compreendida devido à sua heterogeneidade, o que dificulta o uso de simulações com modelos numéricos, o método DIC pode ser utilizado para auxiliar o aprofundamento dos conhecimentos sobre esse sistema construtivo, já que é um método sem contato direto que realiza análise de imagens, com dimensionamento de deslocamentos e tensões.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

No ambiente construtivo moderno, onde se preza por custos reduzidos e eficiência, a alvenaria estrutural se destaca por ser uma alternativa econômica, mais rápida e coordenada quando comparada ao uso de outros métodos como o concreto armado, isso se deve ao planejamento rigoroso necessário para a sua aplicação, reduzindo problemas de incompatibilidade e imprevistos na execução (MANZIONE, 2004).

Mohamad (2017) indica que custos envolvendo materiais e desperdícios em construções comuns representam de 5% a 10% do custo da obra, e que desperdícios agregados (erro de prumo, nivelamento de laje) podem chegar até a 30%.

Por ser necessário certo controle sobre o processo de elaboração do projeto, pode-se afirmar que, quando comparado ao sistema tradicional, a alvenaria estrutural apresenta-se como um sistema racionalizado, aumentando a produtividade no canteiro, e reduzindo o desperdício de materiais (SALVATI, 2011).

A Alvenaria estrutural é um sistema caracterizado pela ausência de elementos estruturais tais como pilares e vigas, sendo baseado na atuação de alvenaria autoportante, na qual a distribuição dos esforços é realizada diretamente pelas paredes (SILVA; CARVALHO, 2018).

Manzione (2004) define a alvenaria estrutural como um sistema de construção racionalizado que cumpre simultaneamente os papéis de estrutura e vedação. Tem por objetivo a aplicação da modularização em todo o projeto, o que é importante para a economia de tempo e diminuição de etapas durante a execução. A Figura 1 apresenta um exemplo de edificação em alvenaria estrutural.

Figura 1 - Edifício residencial Recanto Barão, localizado em Alegrete



Fonte: <http://sotrin.com.br/empreendimento/residencial-recanto-barao>.

Em comparação com o sistema de concreto armado, a alvenaria estrutural necessita de um número notavelmente menor de etapas, uma vez que procedimentos como concretagens e rasgamentos de paredes são mínimos, acarretando na redução da mão de obra especializada e na melhoria do equilíbrio de horas úteis dos trabalhadores (MELO; CARVALHO, 2018).

A alvenaria estrutural é basicamente composta por quatro itens: bloco, argamassa, graute e armadura.

Principal componente resistente na estrutura, podendo ser encontrado em unidades de concreto, cerâmicas e sílico-calcáreas, os blocos são elementos prismáticos vazados com dimensões de fabricação e propriedades normatizadas. É classificado em famílias modulares ou não-modulares, definidas de acordo com o projeto, sendo comumente encontrado em módulos de 15 cm e de 20 cm (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Melo e Carvalho (2018) definem a argamassa, material formado usualmente por cimento, areia, cal e água, como o elemento de solidarização dos blocos, distribuindo os esforços neles aplicados de forma uniforme, devendo obedecer aos parâmetros designados na NBR 16868 (2020a) para blocos cerâmicos e de concreto.

O graute consiste basicamente em um concreto fluído, possuindo agregados de menor granulometria, permitindo assim que o preenchimento dos vazios dos blocos seja realizado de forma mais fácil. Tem por função o aumento da rigidez dos pontos onde é aplicado, e aderir a armadura ao bloco, no caso da alvenaria armada (MOHAMAD; MACHADO; JANTSCH, 2017).

Nos casos em que os esforços solicitantes de tração são maiores do que a alvenaria não armada resiste, há a adição de armaduras na forma de barras ou treliças, aplicadas juntamente com o graute, geralmente em aberturas e pontos de amarração de fiadas (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Para fins de execução de ensaios, a NBR 16868-1 (2020a) define o uso de prismas, compostos por blocos estruturais assentados com argamassa, podendo ser grauteados ou não.

2.1 Modo de ruptura da alvenaria estrutural

Segundo Mohamad (2015), a ruptura da alvenaria dá-se por dois métodos: indução de tensão de tração ou esmagamento da junta de assentamento, ocorrendo

ainda os dois casos simultaneamente. O autor ainda ressalta a importância de se saber o modo de ruptura e as resistências últimas de cada elemento para a determinação da resistência da alvenaria.

Shrive (1985) comenta que quando submetida à compressão, a alvenaria tende a romper de forma frágil em um eixo paralelo à aplicação da força. O autor afirma que esse rompimento se deve ao fato de o coeficiente de Poisson da argamassa ser superior ao dos blocos quando sob compressão.

Uma vez que a argamassa é o elemento ligante entre os blocos, solidarizando-os, essa interação deve ser levada em conta na análise estrutural da alvenaria, assim possibilitando o estudo do conjunto como um todo, visto que a aderência entre os materiais afeta como as tensões e deformações vão ocorrer (LÜBECK, 2016).

Hanai (2009) concluiu em seu trabalho que a perda de água da argamassa de assentamento durante a cura aumenta a resistência à compressão do material, devido à alteração no fator água/cimento quando ocorre a sucção da água pelo bloco.

Lubeck (2016) descreve o fenômeno de confinamento como a restrição na movimentação da argamassa quando a parede sofre compressão axial. Sendo limitada devido à aderência entre a junta e os blocos, a argamassa sofre alteração em suas propriedades, tornando-se mais resistente.

Mohamad (1998) definiu que a altura das juntas de argamassa tem efeito no valor da resistência à compressão dos prismas, conforme a espessura diminui, a eficiência do prisma aumenta.

A forma que a junta de argamassa é aplicada afeta nas deformações que podem ocorrer no prisma, uma vez que prismas com argamassa apenas nas paredes externas apresentam ruptura em tensões menores que prismas com argamassa em toda a área bruta do bloco, independentemente do tipo de bloco e argamassa utilizado (ZAHRA; THAMBOO; ASAD, 2021).

Barbosa (2004) determina que a geometria, a resistência e a espessura da junta de argamassa, a resistência individual dos blocos e o capeamento são alguns dos fatores que podem interferir na resistência à compressão da alvenaria.

Lubeck (2016) obteve em sua pesquisa que a argamassa é realmente importante na medição do modo de ruptura dos prismas, observando que quando houve uso de argamassa mais fraca (menor f_{ck}) houve maior tendência ao esmagamento da junta. O autor também definiu em sua pesquisa a diferença na ruptura entre os blocos cerâmicos de paredes maciças e paredes vazadas: enquanto

as vazadas tiveram uma ruptura frágil, sem aviso, as de paredes maciças formaram fissuras antes de romper. A Figura 2 apresenta as rupturas para cada caso.

Figura 2 - Ruptura de prismas.



Fonte: Lubeck (2016)

Onde: a) maciço com argamassa fraca, b) maciço com argamassa forte, c) vazado com argamassa fraca e d) vazado com argamassa forte.

Zahra, Thamboo e Asad (2021) observaram também que a deformação nos prismas reduz ligeiramente conforme a resistência da argamassa aumenta, já que quando a argamassa é fraca ocorre esmagamento na junta de assentamento, fazendo com que a tensão nos blocos aumente e, conseqüentemente, levando a uma maior deformação.

Santos (2014) concluiu em sua pesquisa que argamassas com baixa resistência afetam a resistência do prisma, mas quando a resistência da argamassa ultrapassa a relação de 70% entre o f_c do bloco e do prisma, já não gera grande influência, chegando ao valor máximo de 85%.

O uso de simulações com modelos numéricos que utilizam o método dos elementos finitos vem sendo bem utilizada em pesquisas, porém pelo fato da alvenaria

ser um material heterogêneo, torna-se complicado o uso desse tipo de recurso, visto que os softwares atuais não são tão precisos nesses casos (LÜBECK, 2016).

A análise da alvenaria por meio de modelos numéricos é complexa devido a fatores como as propriedades dos materiais e as dimensões e disposições dos blocos e da argamassa (MARTIN-ALARCON, 2016).

A correlação de imagem digital torna-se uma boa alternativa para esta limitação, pois por se tratar de uma análise visual, não depende da simulação do comportamento dos materiais como outros métodos.

2.2 Correlação de imagem digital

Deák e Kowalik (2018) definem a correlação digital de imagem (DIC) como um método de dimensionamento de deslocamentos e tensões em duas e três dimensões. O software GOM correlate, que aplica este método, permite que sejam realizadas medições tanto no estado elástico quanto no estado plástico, não necessitando, ainda, de acessórios como strain gauges, pois é aplicado com o uso de câmera e software em conjunto, não havendo contato direto.

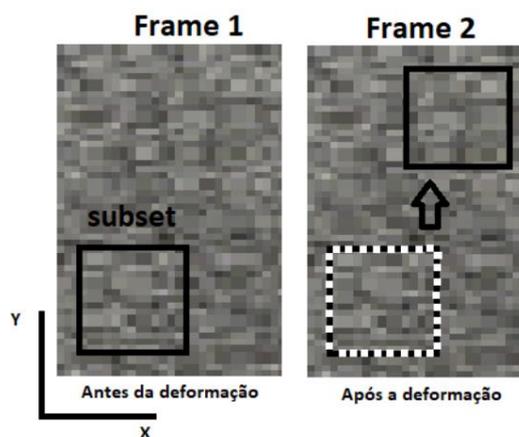
Segundo Martin-Alarcon (2016), a metodologia DIC é similar à fotogrametria, pois ambos os procedimentos fazem uso de fotos de alta definição para medir distâncias entre pontos específicos. A autora ainda observa que o uso do DIC apresenta resultados mais completos que o uso de apenas LVDTs, e que a aplicação conjunta das duas técnicas pode oferecer uma análise mais profunda dos parâmetros mecânicos obtidos.

É aplicado um padrão no objeto a ser analisado, e este padrão é usado como referência na superfície para as análises a serem realizadas pelo software. O programa funciona pela comparação entre duas imagens, obtidas antes e depois da aplicação da carga, medindo os deslocamentos ocorridos (MARTINS et al., 2011).

Ferreira (2012) resume o método da correlação de imagem digital em três etapas: preparação do corpo de prova, registro de imagens, e processamento das imagens registradas. O autor também explica que nesse método, é utilizado um sistema de avaliação do grau de similaridade. Com o padrão aplicado na imagem de referência, o programa rastreia na imagem deformada um conjunto de pixels similar ao selecionado na imagem original.

Essa varredura é realizada pelo software por meio de um algoritmo que procura semelhanças entre a região de interesse e as imagens nos frames seguintes, rastreando o deslocamento ocorrido (SILVA, 2019). A Figura 3 apresenta a busca de um padrão no frame subsequente.

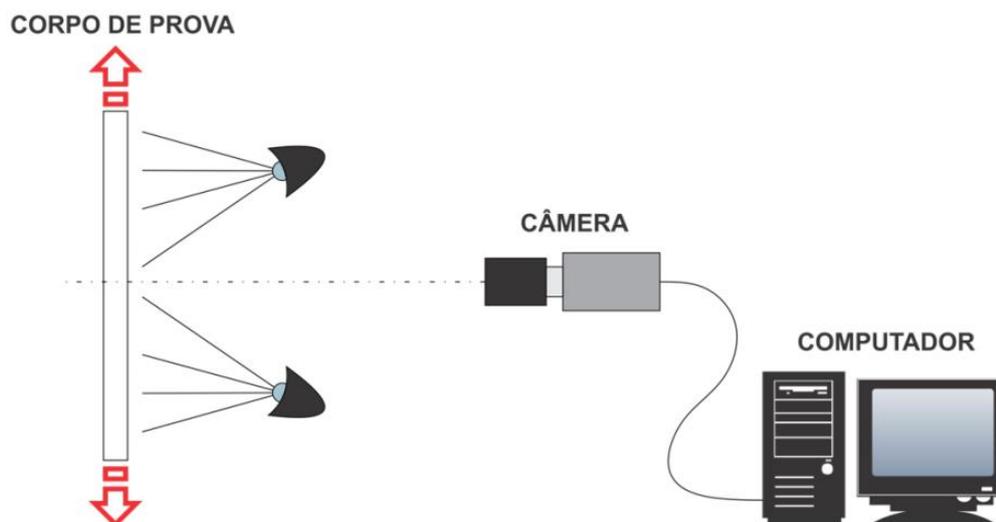
Figura 3 - Exemplo de deslocamento entre frames.



Fonte: Silva (2019).

O esquema para a aplicação do método consiste na aquisição de imagens do objeto a ser analisado, conforme pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Configuração usual na aplicação da correlação de imagem digital.



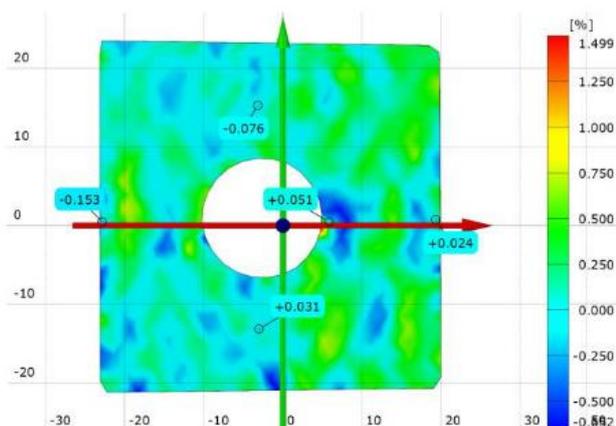
Fonte: Ferreira (2012).

Silva (2019) declara que alguns parâmetros são determinantes na utilização do DIC, tais como as dimensões da superfície analisada e da área de interesse, pois

quanto maior a superfície, mais refinados os resultados obtidos serão, porém se for muito maior que a área de interesse, pode ser difícil de encontrar uma correspondência. Outros parâmetros que são importantes são as configurações da câmera e da iluminação, que definem a qualidade das imagens a serem analisadas pelo software e a frequência com que as fotografias são obtidas pelo equipamento.

Para cada análise, deve ser inserida uma escala, a fim de especificar a real distância entre dois pontos selecionados, tornando o mapa digital relacionado a suas reais dimensões (DEÁK; KOWALIK, 2018). A Figura 5 apresenta um exemplo da aplicação do software em um corpo de prova.

Figura 5 - Exemplo de mapa digital em um objeto



Fonte: Deák e Kowalik (2018).

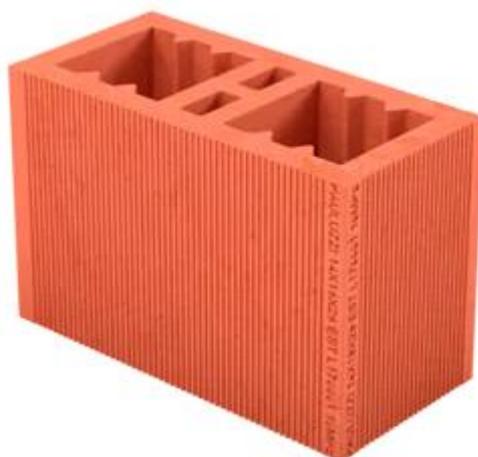
O mapa digital criado é analisado de acordo com suas formas e cores, identificando informações dos esforços ocorrentes e expondo-os de maneira visível (SILVA, 2019).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado com a execução de ensaios experimentais, a fim de obter dados sobre as propriedades físicas e mecânicas dos materiais estudados, assim como a resistência à compressão com a utilização da correlação de imagem digital, averiguando, ainda, o uso deste método de análise.

Foram utilizados blocos estruturais de parede maciça (10 MPa) como representado na Figura 6 e três resistências diferentes de argamassas industrializadas (2, 6 e 12 Mpa), com a realização dos ensaios 28 dias após as moldagens.

Figura 6 - Bloco cerâmico com paredes maciças.

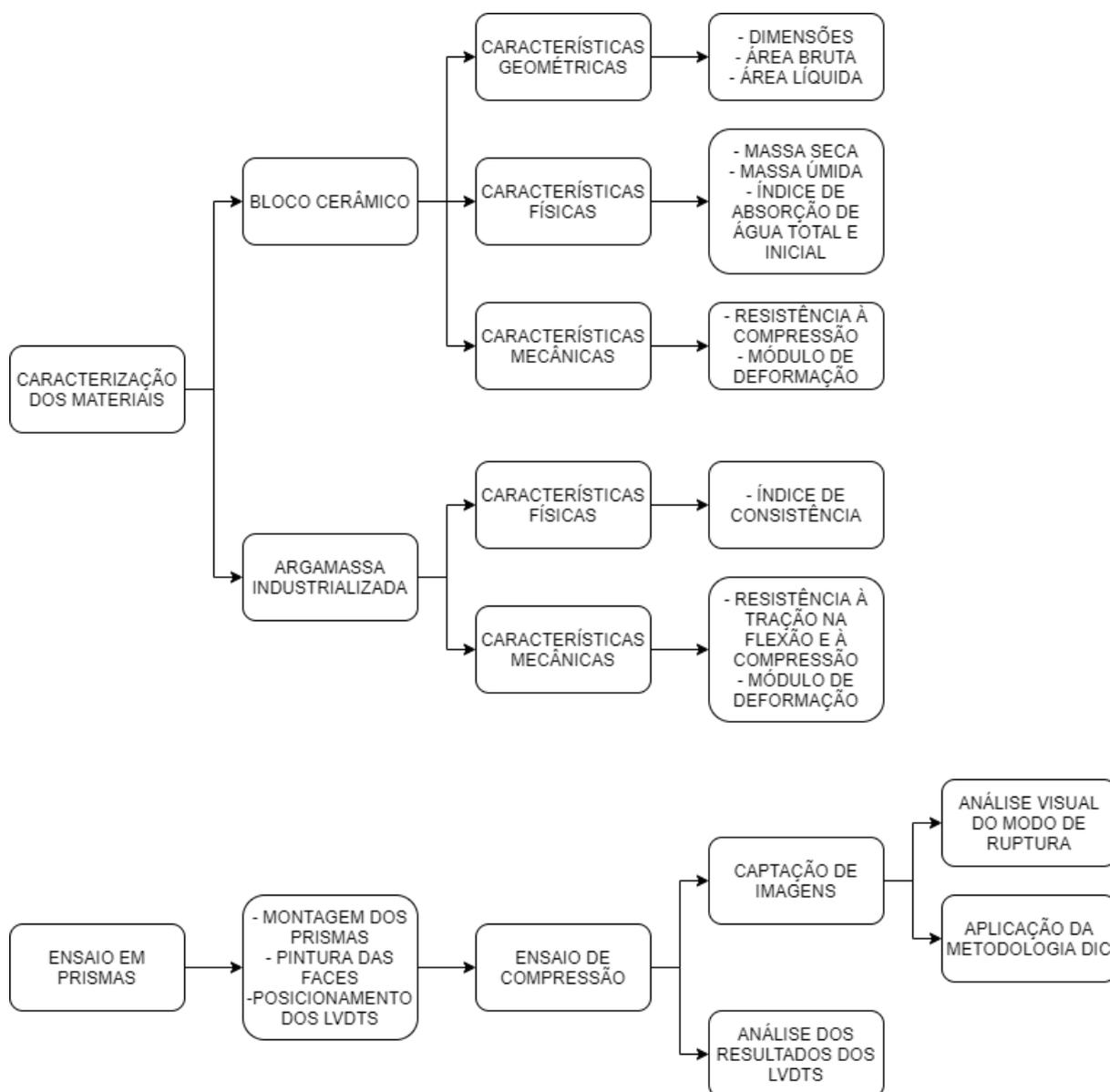


Fonte: Cerâmicas Pauluzzi (<https://pauluzzi.com.br/blocos-ceramicos-estruturais/bloco-14cm-10-mpa>).

A moldagem dos prismas e corpos de provas, as caracterizações dos materiais e os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete - RS. Em conjunto com os ensaios de compressão nos prismas, foram aplicados LVDTs e a metodologia DIC.

O trabalho é composto por três partes: a caracterização dos materiais, os ensaios nos prismas e a análise dos dados, como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma de procedimentos.



Fonte: Elaboração própria

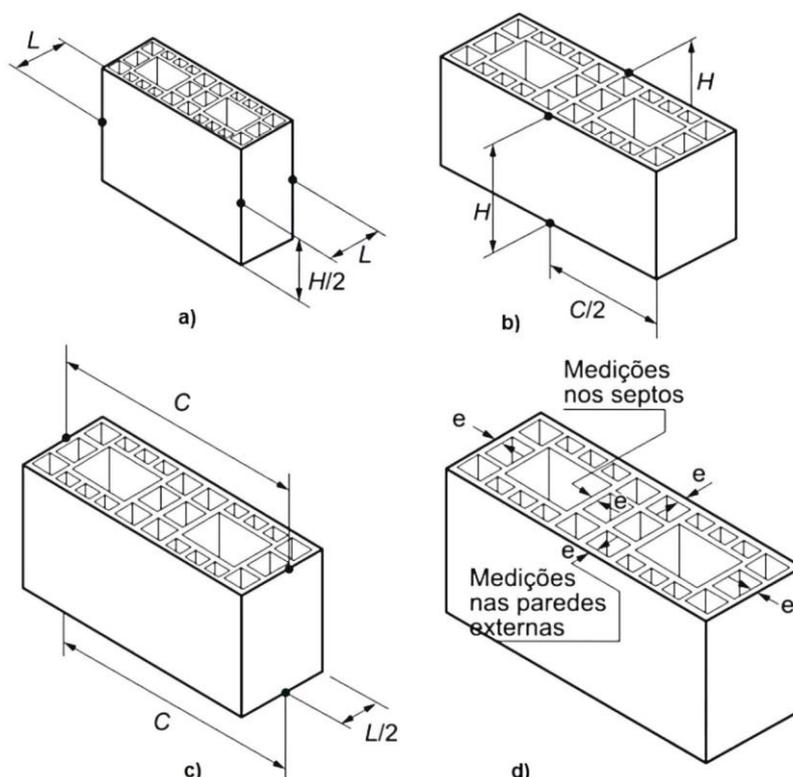
3.1 Caracterização dos blocos

A NBR 15270-1 define os seguintes parâmetros para caracterização de blocos cerâmicos de alvenaria:

3.1.1 Características geométricas

Os blocos não devem apresentar quebras, irregularidades ou deformações que afetem seu uso, após essa inspeção visual, foram realizadas as medições das faces e septos de cada bloco, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Pontos de medição dos blocos.



Fonte: Adaptado de NBR 15270-2 (2017)

É aceitável uma variação de até ± 3 mm entre as dimensões individuais das faces e dos septos. Foi também garantido que o desvio máximo em relação ao esquadro e na planeza das faces destinadas ao revestimento não ultrapassasse 3 mm.

Com as dimensões obtidas, pôde-se calcular a área bruta, dada pela largura (L) multiplicada pelo comprimento (C).

A área líquida foi determinada pela imersão total do bloco em água à temperatura ambiente (23 ± 5 °C) por 24 horas, para então pesá-los, obtendo a massa aparente m_a . A seguir secou-se superficialmente o bloco com pano úmido, e pesou-o novamente a fim de se obter a massa saturada m_u . A seguir o peso submerso m_a foi

determinado imergindo os blocos em água, e a partir desses dados, pôde-se aplicar a equação (1).

$$A_{líq} = \frac{m_u - m_a}{H \times \gamma} \quad (1)$$

Onde:

$A_{líq}$ - Área líquida do bloco estrutural, em cm².

m_u - Massa do bloco saturado, em gramas.

m_a - Massa do bloco imerso, em gramas.

H- Altura do bloco, em cm.

γ - Massa específica da água.

3.1.2 Características Físicas

Para determinação das características físicas, a NBR 15270-2 (2017) define os ensaios para obtenção da massa seca m_s , da massa úmida m_u e do índice de absorção de água AA .

Para a obtenção da massa seca, foram retirados o pó e outras partículas do corpo de prova, para então colocá-lo em estufa a 105 ± 5 °C, e pesá-los imediatamente após a retirada da estufa, a cada período de 1 hora, até que duas pesagens difiram em no máximo 0,25%.

A massa úmida foi obtida através da imersão total dos corpos de prova em água à temperatura ambiente durante 24 horas, após o término do tempo, foi removido o excesso de água com um pano úmido, e os corpos de prova foram pesados em até 15 minutos após a remoção da imersão.

O índice de absorção de água foi determinado pela equação (2).

$$AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

AA - Índice de absorção de água, em %.

m_u - Massa do bloco saturado, em gramas.

m_s - Massa do bloco seco, em gramas.

Pôde-se, ainda, determinar o índice de absorção inicial, como especificado no anexo D da NBR 15270-2 (2017a). A amostra foi ser seca em estufa por 24 horas, e então resfriada naturalmente até atingir a temperatura ambiente. A Figura 9 apresenta o aparato usado para realização do ensaio.

Figura 9 - Determinação da absorção de água inicial



Fonte: Elaboração própria.

Após o resfriamento do corpo de prova, houve procedimento do ensaio, onde foi ajustada a lâmina de água para que não ultrapassasse o limite de $3 \pm 0,2$ mm acima dos apoios, para então posicionar a amostra no equipamento por 60 segundos, retirando-o e secando-o com pano úmido rapidamente, não ultrapassando 10 segundos na execução, e então o material foi pesado em até 30 segundos após a retirada do mesmo do dispositivo de ensaio.

O índice de absorção de água inicial foi determinado pela equação (3).

$$AAI = 194 \times \frac{\Delta p}{A_{liq}} \quad (3)$$

Onde:

AAI - Índice de absorção de água inicial, em $(g/194^2)/min$.

Δp – Variação da massa obtida no ensaio, em gramas.

A_{liq} - Área líquida da face ensaiada, em cm^2 .

3.1.3 Características mecânicas

A norma 15270-2 (2017a) define o procedimento para a determinação da resistência à compressão de blocos cerâmicos. Depois de preparar os corpos de prova de acordo com a norma (medições e capeamento), os mesmos foram deixados imersos por um período de 6 horas.

Após a saturação dos blocos, foram colocados na prensa de modo que a carga pudesse ser aplicada na direção que o bloco deve suportar durante seu emprego, e então pôde-se proceder com o ensaio, aplicando tensão em uma progressão de $0,05 \pm 0,01$ Mpa/s.

Nesse ensaio ainda foi determinado o módulo de deformação, com a aplicação de LVDTs com curso de 10 mm (sensibilidade de 0,001 mm) na região central dos blocos, a fim de verificar a excentricidade que possa existir ao posicionar o corpo de prova.

3.2 Caracterização das argamassas

Foram utilizadas argamassas industrializadas com três resistências diferentes para o assentamento dos prismas, sendo elas de 2 MPa, 6 MPa e 12 MPa.

3.2.1 Características físicas

As argamassas foram preparadas de acordo com a NBR 13276 (2016), e então foram utilizadas para o ensaio de índice de consistência.

3.2.1.1 Índice de consistência

O ensaio foi seguido conforme a NBR 13276 (2016), tendo sido preparado o molde troncônico e adicionado a argamassa para efetuar os batimentos na mesa para índice de consistência após os golpes com soquete. Em seguida, foram retiradas medidas do espalhamento da argamassa e anotados os seus valores.

3.2.2 Características mecânicas

3.2.2.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

A NBR 13279 (2005) define os parâmetros necessários para a realização do ensaio de determinação da resistência à tração e à compressão da argamassa. Foram moldados 6 corpos de prova prismáticos (4 x 4 x 16 cm) para cada tipo de argamassa selecionada.

Após os 28 dias de cura dos corpos de prova, pôde-se realizar os ensaios, posicionando-os no equipamento de acordo com o orientado pela norma. As resistências foram então obtidas por meio das equações.

$$R_f = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (4)$$

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (5)$$

Onde:

R_f - Resistência à tração na flexão, em Mpa.

F_f – Carga aplicada no centro do prisma, em N.

L - Distância entre suportes, em mm.

R_c - Resistência à compressão, em Mpa.

F_c – Carga máxima aplicada, em N.

3.2.2.2 Módulo de deformação da argamassa

Foram utilizados 3 corpos de prova para cada tipo de argamassa, em cilindros com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Após a preparação e cura dos CPs aos 28 dias, foram instalados dois *strain gauges* em cada CP, um na horizontal e outro na vertical, e então pôde-se realizar o ensaio, seguindo conforme recomendado na NBR 8522 (2017b).

3.3 Ensaio nos prismas

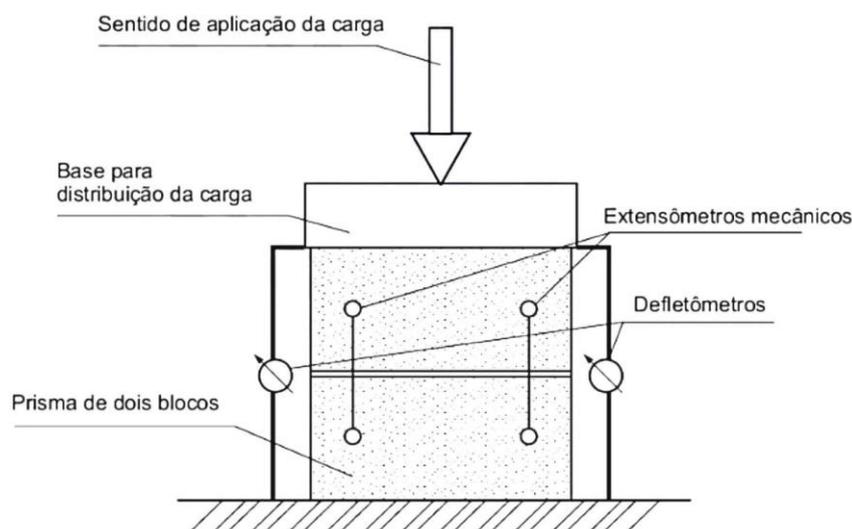
A NBR 16868-3 (2020b) define a metodologia de ensaio para compressão de prismas, definindo os parâmetros a serem seguidos para preparação e execução do ensaio.

A norma ainda determina que os prismas devem ser compostos por dois blocos sobrepostos e uma junta de assentamento, com extremidades capeadas por toda a sua área líquida com argamassa, resultando em uma altura de 39 cm.

Os prismas foram nomeados de acordo com sua composição bloco/argamassa para facilitar a análise dos dados obtidos. Foram analisados os valores da carga de ruptura, resistência última e o modo de ruptura dos prismas.

A fim de obter-se dados dos deslocamentos relativos ocorrentes e dos módulos de elasticidade, foram utilizados dois LVDTs com curso de 10 mm (sensibilidade de 0,001 mm) em uma das faces do prisma. A Figura 10 apresenta o esquema para a execução do ensaio.

Figura 10 - Representação do ensaio de compressão de prisma.



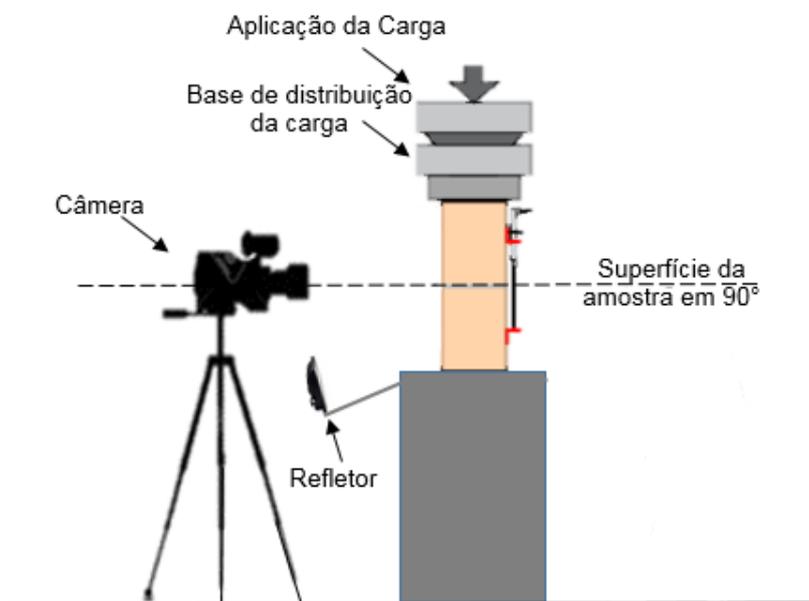
Fonte: ABNT (2020b).

3.4 Análise visual

Durante o ensaio nos prismas e de caracterização das argamassas, utilizou-se uma câmera fotográfica a fim de possibilitar a análise visual dos ensaios. A Figura 11 apresenta o posicionamento da câmera, instalada na face oposta aos LVDTs, para

que fosse possível verificar de forma mais detalhada o comportamento da ruptura em cada caso.

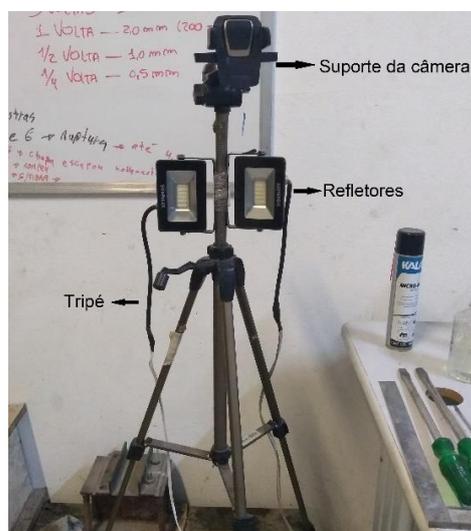
Figura 11 - Posicionamento das câmeras



Fonte: Adaptado de Brandloff (2018)

Acoplado ao equipamento haviam dois refletores LED iluminando o ensaio para melhorar a qualidade de pixel das gravações. A Figura 12 ilustra o posicionamento da iluminação.

Figura 12 - Iluminação da câmera fotográfica



Fonte: Elaboração própria.

Com as filmagens dos ensaios, foram extraídas imagens para serem importadas para o software GOM Correlate, definindo a primeira imagem de cada ensaio como a imagem de referência a ser considerada. A seguir foi criada a região de análise dos corpos de prova, para então ser gerado um mapa de deformações ocorridas durante o ensaio.

Após aplicar o modelo no software, foi definida a escala do desenho e os demais parâmetros a serem aplicados. Enfim, com os dados inseridos, pôde-se obter relatórios das deformações, gerando tabelas, gráficos e imagens. Os dados obtidos com o software foram, então, exportados para o excel, onde foram organizados e analisados.

3.5 Análise de dados

As informações obtidas pelos ensaios de caracterização e de prismas foram examinadas a fim de se comparar a relação da resistência da argamassa e do bloco com o tipo de ruptura que ocorreu.

Os dados do software GOM Correlate foram utilizados para a determinação do limite de ruptura, para que assim fosse possível uma análise mais profunda sobre as deformações e tensões ocorrentes nos ensaios.

Além dos valores obtidos pelo software, foram comparados os valores provenientes dos LVDTs, para a comprovação da eficácia do método DIC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão debatidos os resultados dos procedimentos apresentados no capítulo anterior, iniciando com a caracterização nos blocos e argamassas, para então partir para a análise dos ensaios de compressão nos prismas e o uso do DIC.

4.1 Caracterização dos blocos

Os blocos foram caracterizados conforme procedimentos citados no item 3.1.

4.1.1 Características geométricas

Após realizada uma inspeção visual, foi constatado que os blocos não possuíam irregularidades que afetassem seu uso, permitindo, assim, que fossem realizadas as medições de suas dimensões.

A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os dados encontrados das medidas dos blocos.

Tabela 1 - Dimensões dos blocos (parte 1)

Bloco	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Área bruta (cm²)
B1	138,00	192,00	289,00	398,82
B2	139,00	192,00	290,00	403,10
B3	139,00	191,00	291,00	404,49
B4	137,00	194,00	289,00	395,93
B5	138,50	194,50	289,00	400,27
B6	136,50	189,50	288,00	393,12
B7	137,00	193,00	289,00	395,93
B8	136,00	190,50	290,00	394,40
B9	139,00	191,00	290,00	403,10
B10	138,00	191,00	290,50	400,89
B11	139,00	194,00	289,00	401,71
B12	140,00	196,50	290,50	406,70
B13	137,50	195,00	289,00	397,38
Média	138,04	192,62	289,54	399,68
Desvio Padrão	1,181	2,063	0,853	4,152
Coef. Variação	0,86%	1,07%	0,29%	1,04%
Tolerância	140 ± 3 mm	190 ± 3 mm	290 ± 3 mm	-

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 2 - Dimensões dos blocos (parte 2)

Bloco	Septos externos (mm)	Septos internos (mm)	Desvio de esquadro (mm)	Planeza das faces (mm)
B1	21,38	12,50	2,50	0,50
B2	21,50	13,50	3,00	0,40
B3	21,13	12,25	1,50	0,10
B4	20,88	12,75	2,00	1,00
B5	21,13	13,75	5,00	0,50
B6	20,88	12,50	1,00	1,00
B7	20,50	13,50	2,50	1,50
B8	20,88	12,75	1,00	2,00
B9	22,50	12,00	1,00	0,50
B10	21,38	12,75	0,10	1,50
B11	20,88	12,25	2,00	0,10
B12	21,75	14,00	3,00	1,00
B13	20,63	12,00	2,50	1,00
Média	21,18	12,81	2,08	0,85
Desvio Padrão	0,532	0,670	1,242	0,574
Coef. Variação	2,51%	5,23%	59,59%	67,21%
Tolerância	20 ± 3 mm	8 ± 3 mm <	± 3 mm	± 3 mm

Fonte: Elaboração própria.

Os dados adquiridos obedeceram às tolerâncias definidas pela NBR 15270-1, com um desvio padrão dentro do aceitável.

Os dados das áreas líquidas determinadas se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 - Áreas líquidas

Bloco	Massa aparente (g)	Massa saturada (g)	Área líquida (cm²)	Aliq/Ab
B1	4050,9	7753,3	192,83	0,484
B2	4143,0	7869,4	194,08	0,481
B3	4011,2	7721,9	194,28	0,480
B4	3961,4	7607,0	187,92	0,475
B5	4049,8	7735,0	189,47	0,473
B6	4002,3	7664,1	193,23	0,492
B7	4014,7	7670,6	189,42	0,478
B8	4008,7	7679,3	192,68	0,489
B9	4091,6	7839,5	196,23	0,487
B10	4090,5	7795,3	193,97	0,484
B11	4054,0	7750,3	190,53	0,474
B12	4157,5	7944,0	192,70	0,474
B13	4124,4	7880,5	192,62	0,485
Média			192,3	0,481
Desv. Padrão			2,336	0,006
Coef. Variação			1,21%	1,25%

Fonte: Elaboração própria.

O bloco que apresentou menor valor de área líquida foi o B5, com 189,47 cm², enquanto o que apresentou maior valor foi o B9, com 196,23 cm². A média da relação entre a área líquida e a área bruta foi de 0,481, o que respeita o valor determinado pelo fabricante, que é 0,48.

4.1.2 Características físicas

Seguindo as recomendações apresentadas pela NBR 15270-2, foram encontrados os valores para os índices de absorção de água (AA) e de absorção inicial de água (AAI), apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Índices de absorção de água

Bloco	Massa seca (g)	Índice de absorção de água (%)	Índice de absorção inicial ((g/194²)/min)	Massa específica (g/cm³)
B1	7050,00	9,98%	0,199	0,92
B2	7032,70	11,90%	0,130	0,91
B3	7015,20	10,07%	0,130	0,91
B4	6937,10	9,66%	0,252	0,90
B5	7059,30	9,57%	0,136	0,91
B6	7025,90	9,08%	0,200	0,94
B7	7051,10	8,79%	0,261	0,92
B8	7019,50	9,40%	0,213	0,97
B9	7167,80	9,37%	0,240	0,93
B10	7097,50	9,83%	0,216	0,93
B11	7078,50	9,49%	0,185	0,91
B12	7246,90	9,62%	0,110	0,91
B13	7192,40	9,57%	0,263	0,93
Média	7074,92	9,72%	0,20	0,92
Desvio Padrão	83,56	0,01	0,05	0,02
Coef. Variação	1,18%	7,61%	27,45%	1,99%

Fonte: Elaboração própria.

Todos os valores encontrados de AA respeitam o limite entre 8 e 21%, tendo como média 9,72%.

4.1.3 Características mecânicas

Para a determinação das características mecânicas, foi realizado o ensaio de compressão, a fim de se obter a resistência à compressão característica (fbk). A Tabela 5 apresenta os valores de resistência obtidos com o ensaio.

Tabela 5 - Resistência dos blocos à compressão

Bloco	Carga (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	
		Área bruta	Área líquida
B1	546,35	13,70	28,33
B2	474,28	11,77	24,44
B3	675,56	16,70	34,77
B4	588,04	14,85	31,29
B5	556,68	13,91	29,38
B6	570,08	14,50	29,50
B7	561,04	14,17	29,62
B8	599,98	15,76	31,14
B9	593,53	14,72	30,25
B10	685,67	17,10	35,35
B11	571,96	14,24	30,02
B12	623,64	15,33	32,36
B13	700,83	17,64	36,38
Média	595,97	14,95	30,99
Desv. Padrão	62,92	1,58	3,20
Coef. Variação	10,56%	10,55%	10,31%
fbk (MPa)		12,61	

Fonte: Elaboração própria.

Como observado na Tabela 5, todos os valores individuais de resistência encontram-se acima do valor determinado pelo fabricante, 10 MPa, sendo o bloco B2 o de menor resistência, com 11,77 MPa, e resultando em um fbk de 12,61 MPa.

4.2 Caracterização das argamassas

Para a caracterização das argamassas, foram utilizadas três resistências diferentes: 2 MPa, 6 MPa e 12 MPa.

4.2.1 Características físicas

A caracterização física das argamassas foi dada pela determinação do índice de consistência. Foi utilizada a norma NBR 13276 (2016), resultando nos dados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Índices de consistência das argamassas

Resistência (MPa)	2	6	12
Água (mL)	550	410	450
Massa seca (g)	2500	2500	2500
Consistência (mm)	255,1	255,05	255
Água/Arg Seca (%)	22,0%	16,4%	18,0%

Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Características mecânicas

Para a determinação das características mecânicas das argamassas, foi necessário realizar dois ensaios, o de resistência à tração na flexão e à compressão, e o de módulo de deformação da argamassa.

4.2.2.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

Para este ensaio foram moldados os corpos de prova conforme descrito no item 3.2.2.1, para então realizar primeiramente o ensaio à flexão, como ilustrado na Figura 13, e em seguida aplicar as metades resultantes ao ensaio de compressão, como ilustrado na Figura 14. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos com os ensaios de tração na flexão e a Tabela 8 apresenta os valores do ensaio de compressão.

Figura 13 - Ensaio de resistência à tração na flexão nas argamassas



Fonte: Elaboração própria.

Figura 14 - Ensaio de compressão nas argamassas



Fonte: Elaboração própria.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão nas argamassas

Argamassa	CP	Tensão de ruptura (MPa)	Média	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
2 MPa	CP 1	0,81	0,78	0,025	3,21%
	CP 2	0,78			
	CP 3	0,76			
6 MPa	CP 1	1,91	1,90	0,012	0,61%
	CP 2	1,91			
	CP 3	1,89			
12 MPa	CP 1	3,55	3,61	0,057	1,57%
	CP 2	3,63			
	CP 3	3,66			

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de resistência à compressão nas argamassas

Argamassa	CP	Tensão de ruptura (MPa)	Média	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
2 MPa	CP 1	1,91	1,94	0,030	1,55%
	CP 2	1,97			
	CP 3	1,945			
6 MPa	CP 1	9,085	9,11	0,031	0,34%
	CP 2	9,105			
	CP 3	9,145			
12 MPa	CP 1	20,965	20,73	0,228	1,10%
	CP 2	20,72			
	CP 3	20,51			

Fonte: Elaboração própria.

Todas as argamassas corresponderam com folga aos dados determinados pelo fabricante, com exceção das argamassas de 2 MPa, que obtiveram um valor ligeiramente menor.

4.2.2.2 Módulo de deformação da argamassa

Foram moldados os corpos de prova conforme especificado no item 3.2.2.2, para então colar em suas superfícies dois *strain gauges*, um no sentido vertical e outro no sentido horizontal, conforme Figura 15.

Figura 15 - Posicionamento dos *strain gauges*



Fonte: Elaboração própria.

Após realizados os preparativos, os CPs foram, então, colocados na prensa para a realização do ensaio, que resultaram nos dados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Módulo de deformação das argamassas

Argamassa	CP	Módulo de elasticidade (GPa)	Média	Desvio padrão	Coef. de variação (%)
2 MPa	CP 1	3,72	3,32	1,409	42,40%
	CP 2	1,76			
	CP 3	4,50			
6 MPa	CP 1	12,08	13,80	3,876	28,09%
	CP 2	11,08			
	CP 3	18,24			
12 MPa	CP 1	11,04	11,39	3,682	32,33%
	CP 2	7,89			
	CP 3	15,23			

Fonte: Elaboração própria.

4.3 Ensaios nos prismas

Para a preparação dos ensaios nos prismas, os blocos foram previamente separados, medidos e limpos, para então serem assentados e capeados. Foram executados 6 prismas para cada resistência de argamassa, totalizando em 18 prismas. Todos os prismas tiveram suas extremidades capeadas com argamassa CP-5 ARI, de traço 1:1.

Após os 28 dias de cura, os prismas tiveram uma de suas faces cobertas por tinta spray branca fosca, para então serem aplicados respingos em tinta spray preta fosca, a fim de se obter a superfície de leitura adequada para as análises através do DIC. A Figura 16 apresenta as tintas utilizadas.

Figura 16 - Tinta spray utilizada



Fonte: https://www.serraacessorios.com.br/wp-content/uploads/2019/06/tinta_spray-600x766.jpg. Acesso em 27/08/2021.

Com a obtenção dos dados da prensa, dos LVDTs e das análises efetuadas com o software GOM Correlate, foi possível então analisar as tensões e os modos de ruptura dos prismas.

4.3.1 Prismas com argamassa de 2 MPa

Os prismas assentados com argamassas com resistência de 2 MPa demonstraram ruptura pouco frágil, devido à baixa resistência da argamassa, possibilitando que houvessem “avisos” sobre sua ruptura, como estalos e

desplacamentos, descolando totalmente o bloco superior do inferior, como pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Descolamento da argamassa no prisma 2A



Fonte: Elaboração própria.

Durante o ensaio, os prismas seguiram sendo carregados após o esmagamento da junta de argamassa até que houvesse a ruptura total, porém, os dados apresentados foram considerados até o esmagamento da junta. A Tabela 10 apresenta os dados obtidos no ensaio.

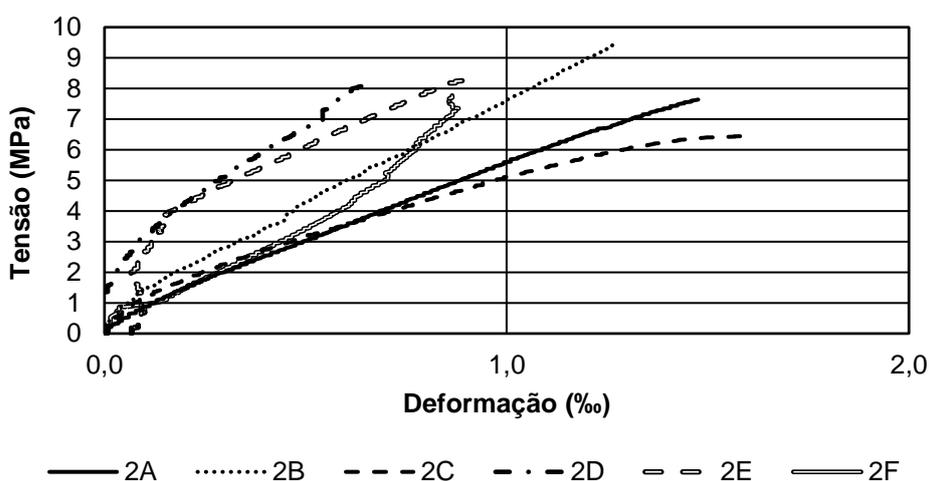
Tabela 10 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 2 MPa

Prisma	Carga de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Deformação de ruptura (‰)
2A	170,64	4,20	5923,5	3,73
2B	148,41	3,66	8146,5	4,19
2C	108,82	2,68	6213,1	5,44
2D	327,01	8,05	37667,5	3,25
2E	122,94	3,03	14883,4	6,62
2F	107,65	2,65	7085,6	2,15
Média	164,25	4,05	13319,9	4,23
Desvio Padrão	83,39	2,05	12378,18	1,59
Coef. Variação	50,8%		92,9%	37,7%

Fonte: Elaboração própria.

Observou-se que os valores obtidos nas tensões de ruptura dos prismas se encontram acima dos valores encontrados nos ensaios das argamassas, com uma observação a respeito do prisma 2D, que teve um valor fora do padrão pois ocorreram algumas falhas durante sua medição, se retirado esse valor, obtém-se uma média de 3,24 MPa, com desvio padrão de 0,67. Esses valores podem ter sido elevados devido ao fator água/argamassa que é reduzido após o assentamento, já que os blocos sugam a água presente na argamassa, aumentando sua resistência, além do confinamento da argamassa também ser responsável pelo seu acréscimo na resistência. A Figura 18 apresenta os diagramas Tensão x Deformação para os prismas de 2 MPa.

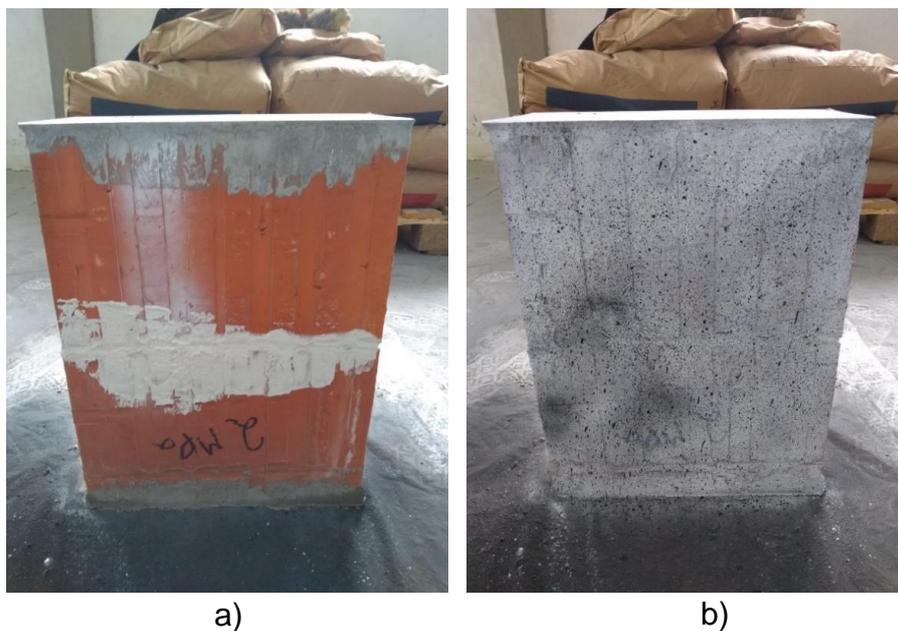
Figura 18 - Tensão x Deformação da média dos LVDTs dos prismas de 2 MPa



Fonte: Elaboração própria.

Para fins de estudo, foi destacado um único prisma para ter seus dados debatidos, tal prisma foi selecionado de acordo com sua conformidade entre os métodos analisados, a fim de se obter os melhores parâmetros. O prisma escolhido foi o 2B, apresentado na Figura 19, onde ele é apresentado em seu estado a) inicial e b) finalizado.

Figura 19 - Prisma 2B



Fonte: Elaboração própria.

O prisma 2B teve um descolamento total da argamassa, com deslocamento do bloco na parte frontal, ruptura total da face lateral esquerda e fissuração da face lateral esquerda, como pode ser observado na Figura 20, que apresenta as faces a) frontal, b) posterior, c) lateral esquerda e d) lateral direita.

Figura 20 - Prisma 2B rompido



a)



b)



c)



d)

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 21 apresenta ainda a forma que a argamassa descolou após o esmagamento.

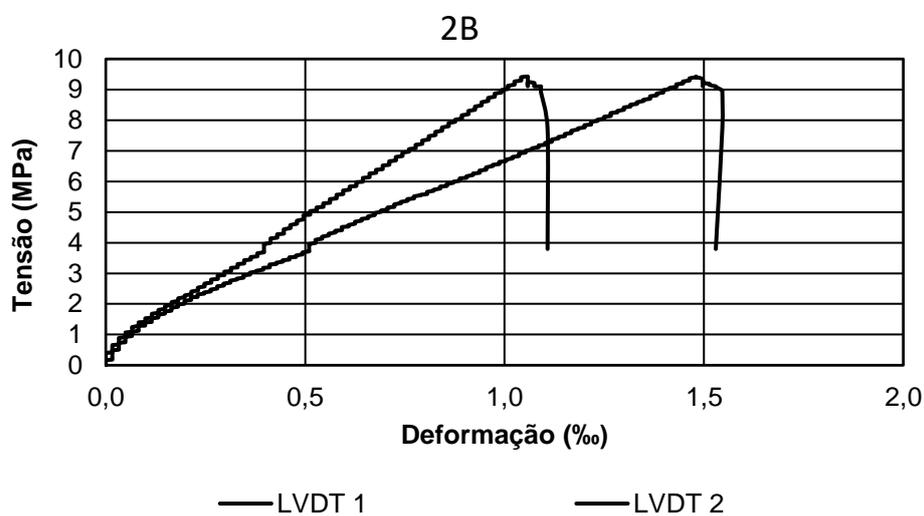
Figura 21 - Descolamento da argamassa do prisma 2B



Fonte: Elaboração própria.

O diagrama de Tensão x Deformação do prisma 2B se encontra na Figura 22 a seguir, obtido de acordo com a leitura dos dois LVDTs instalados para o ensaio.

Figura 22 - Tensão x Deformação Prisma 2B (LVDTs)



Fonte: Elaboração própria.

Pode ser observado que as curvas dos LVDTs diferem ligeiramente entre si, isso se deve ao posicionamento adotado para eles, sendo o primeiro à esquerda e o segundo à direita. Como houveram casos em que um dos lados do prisma teve tensões diferentes do outro, algumas vezes essas duas curvas distanciaram-se

bastante. Pelo mesmo motivo, como será mostrado posteriormente, os dados obtidos pelos LVDTs e pelo GOM também variaram bastante entre si, uma vez que foram medidos em faces distintas, com o GOM para a face frontal e os LVDTs para a posterior.

4.3.2 Prismas com argamassa de 6 MPa

Os prismas com argamassa de resistência de 6 MPa apresentaram uma ruptura mais frágil em relação aos de 2 Mpa, mas também apresentaram esmagamento da argamassa já que a resistência da junta era menor que a do bloco, se tornando o ponto frágil. Mesmo depois do esmagamento da junta, o prisma seguiu sendo carregado até sua ruptura total, porém os dados apresentados se tratam da ruptura da argamassa, visto que após isso o prisma parou de trabalhar como unidade e passou a depender diretamente da resistência dos blocos. A Tabela 11 apresenta os dados obtidos no ensaio.

Tabela 11 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 6 MPa

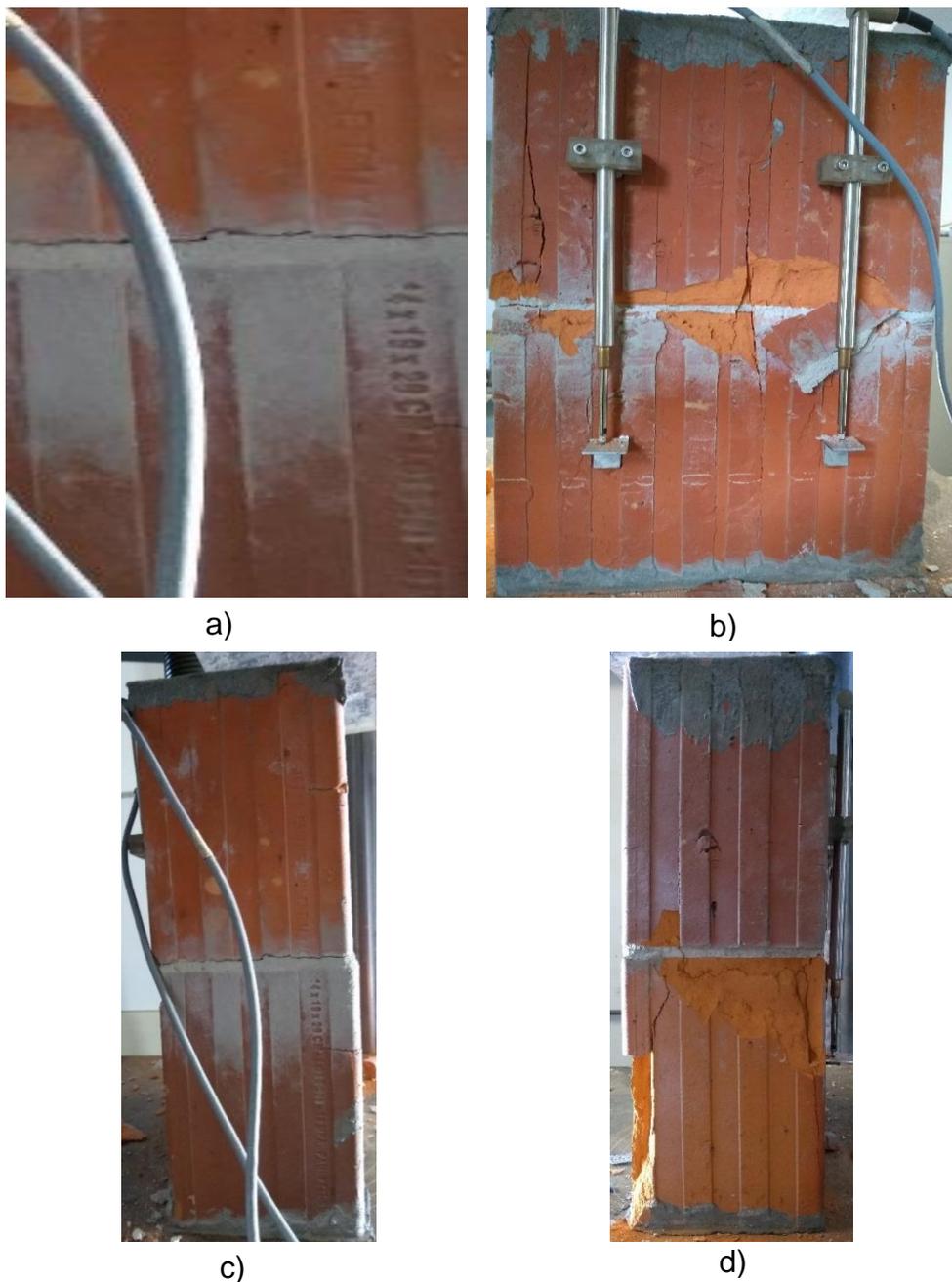
Prisma	Carga de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Deformação de ruptura (‰)
6A	179,15	4,41	7788,2	3,80
6B	228,22	5,62	7711,4	1,79
6C	304,38	7,50	11218,8	2,57
6D	336,22	8,28	19427,9	4,94
6E	220,56	5,43	12275,2	3,00
6F	264,54	6,52	8344,4	2,13
Média	255,51	6,29	11127,66	3,04
Desvio Padrão	57,93	1,43	4489,73	1,17
Coef. Variação	22,7%		40,3%	38,3%

Fonte: Elaboração própria.

Os valores das tensões de ruptura dos prismas apresentaram-se ligeiramente menores que os dados obtidos com os ensaios na argamassa, mesmo sendo esperado melhor desempenho devido ao seu confinamento, em especial o prisma 6A, que apresentou desempenho bem abaixo do esperado, provavelmente devido a

O prisma 6F apresentou fissuras verticais na parte direita da face frontal e na face posterior, em conjunto com deslocamento do bloco perto da junta na face posterior e na face lateral direita, além do esmagamento da argamassa. A Figura 25 apresenta as faces a) frontal, b) posterior, c) lateral esquerda e d) lateral direita do prisma rompido.

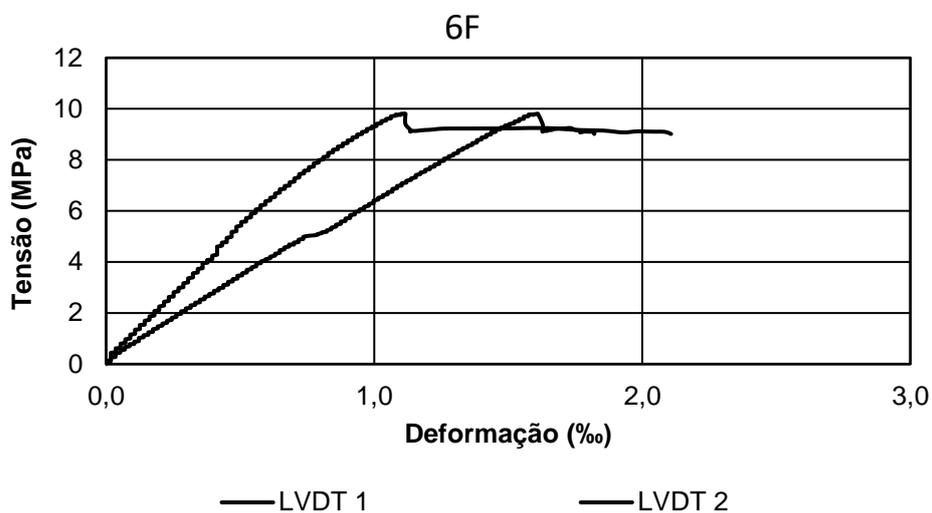
Figura 25 - Prisma 6F rompido



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 26 apresenta o diagrama de Tensão x Deformação do prisma 6F, de acordo com a leitura dos LVDTs instalados na face posterior.

Figura 26 - Tensão x Deformação Prisma 6F (LVDTs)



Fonte: Elaboração própria.

A pequena diferença entre as curvas no gráfico se refere ao fato de que a face lateral direita sofreu mais tensões do que a esquerda, acarretando nos valores diferentes entre os LVDTs.

4.3.3 Prismas com argamassa de 12 MPa

Os prismas com argamassa de 12 MPa foram os que apresentaram a ruptura mais frágil de todas, isso porque não houve esmagamento da junta de argamassa, conseqüentemente não houveram as trincas que os outros prismas tiveram, resultando em rupturas bruscas e repentinas. Os dados do ensaio podem ser vistos na Tabela 12.

Tabela 12 - Tensão e deformação dos prismas com argamassa de 12 MPa

Prisma	Carga de ruptura (kN)	Tensão de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	Deformação de ruptura (‰)
12A	426,68	10,51	4671,1	2,29
12B	299,37	7,37	3678,6	1,43
12C	444,82	10,96	12860,3	1,19
12D	419,09	10,32	7763,2	1,30
12E	387,47	9,54	11635,1	0,23
12F	488,62	12,03	5566,0	1,45
Média	411,01	10,12	7695,7	1,31
Desvio Padrão	64,02	1,58	3795,2	0,66
Coef. Variável	16%		49%	50%

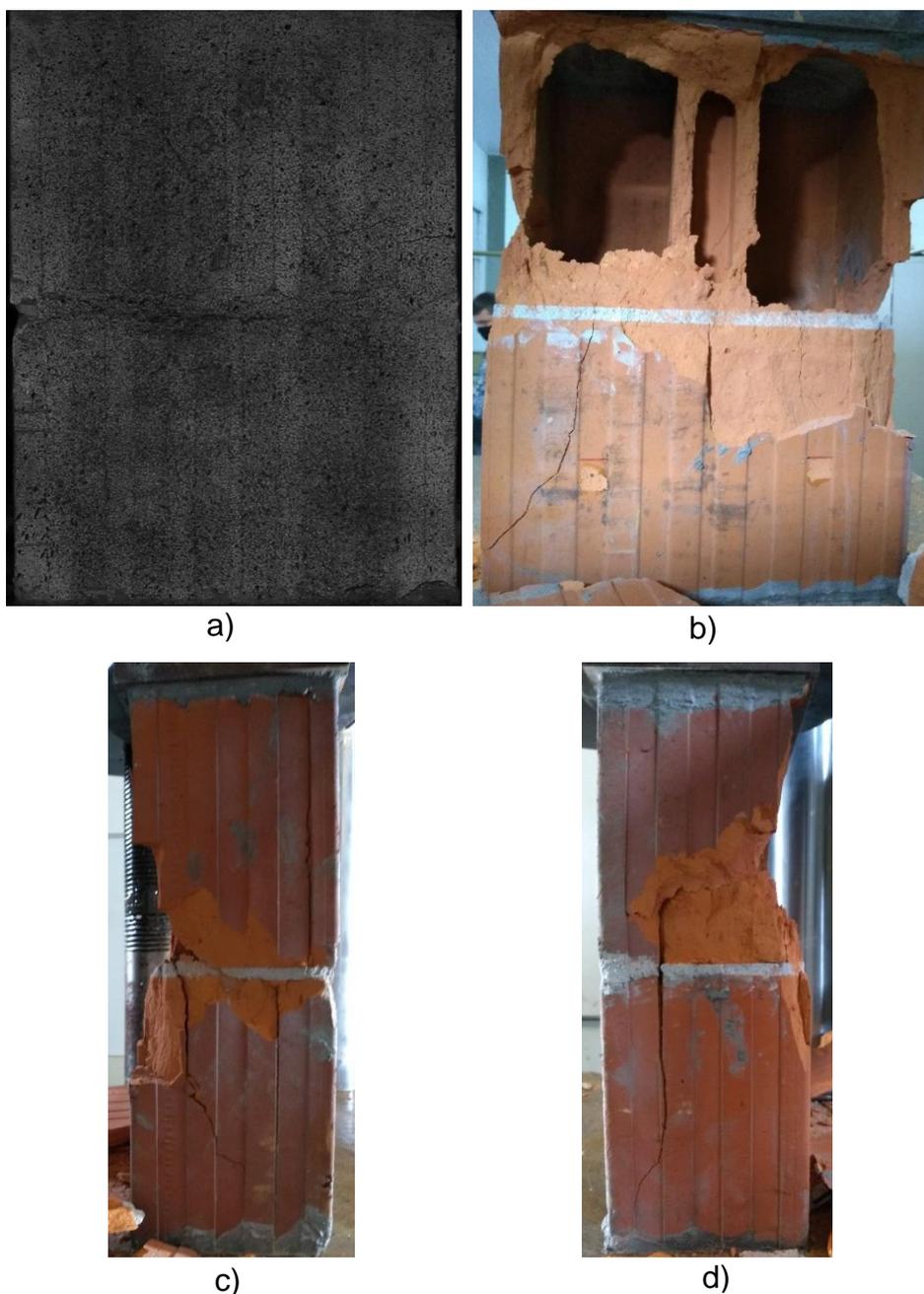
Fonte: Elaboração própria.

Os valores obtidos foram coerentes com o esperado, uma vez que tendo a argamassa mais forte que o bloco, este se torna o ponto fraco do sistema, portanto era esperado que as resistências ficassem em torno dos 10 MPa, a menos que fosse induzida tração nos blocos.

Todos os prismas alcançaram os valores esperados, já que a resistência do prisma é 70% da resistência do bloco utilizado. Houve, porém, um problema no ensaio do prisma 12B sendo necessário interrompê-lo, já que houve um deslocamento na face posterior que desafixou os LVDTs, impossibilitando a leitura. A Figura 27 apresenta o diagrama de Tensão x Deformação dos prismas medidos pelo LVDT.

desplacamentos e fissuras em ambas as laterais, perto da junta de argamassa, e abertura de fissura horizontal na parte direita da face frontal, porém não houve esmagamento da junta de argamassa como aconteceu com os prismas de 2 e 6 MPa, isso porque a resistência da argamassa era superior à resistência do prisma como um todo. A Figura 29 apresenta as faces a) frontal; b) posterior; c) lateral esquerda e d) lateral direita.

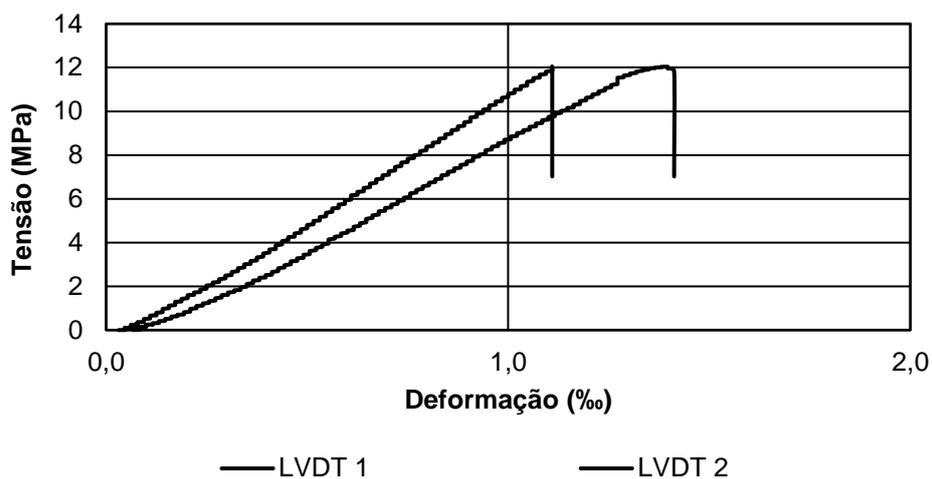
Figura 29 - Prisma 12F rompido



Fonte: Elaboração própria.

O diagrama de Tensão x Deformação com a leitura dos LVDTs pode ser visto na Figura 30.

Figura 30 - Tensão x Deformação Prisma 12F (LVDTs)



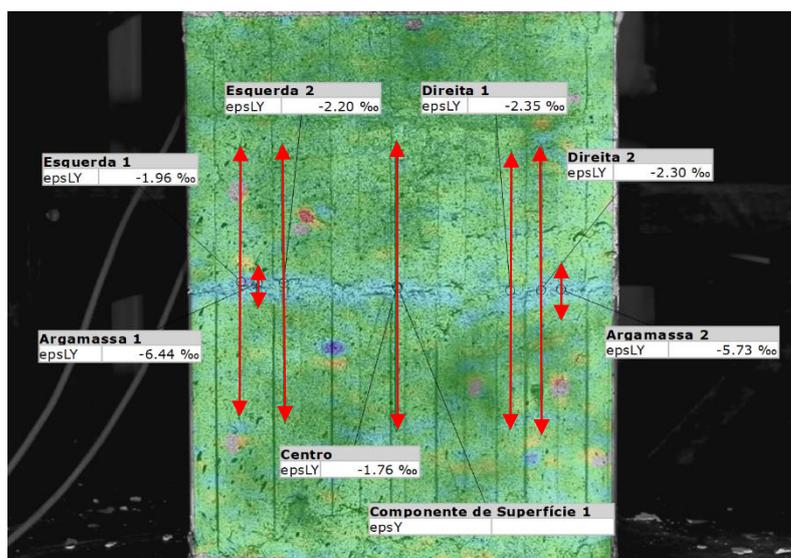
Fonte: Elaboração própria.

Pode-se ver que o comportamento dos dois LVDTs possui um padrão similar, sendo um lado levemente mais deformado que o outro.

4.4 Aplicação do GOM Correlate

Com as filmagens realizadas durante o ensaio, conforme descrito no item 3.4, foi realizada a importação dos arquivos de vídeo para o software GOM Correlate, e definida a escala de análise, como visto na Figura 31.

Figura 31 - Aplicação do método DIC no prisma 2E



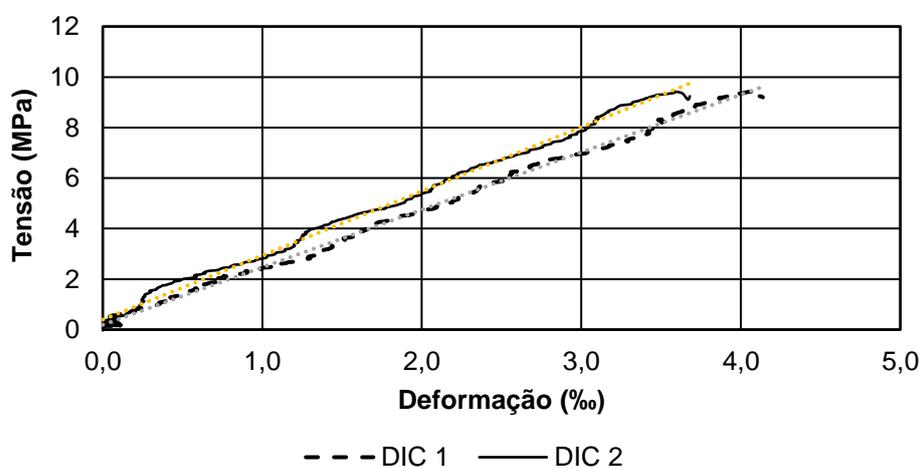
Fonte: Elaboração própria.

Foram definidos dois comprimentos de leitura para cada seção (esquerda, direita, centro e argamassa), a fim de obter os melhores dados para o estudo.

4.4.1 Prismas com argamassa de 2 MPa

Como citado anteriormente, o prisma a ser analisado é o 2B. A Figura 32 apresenta os gráficos provenientes do GOM, demonstrando a leitura de tensões.

Figura 32 - Tensão x Deformação no prisma 2B (DIC)

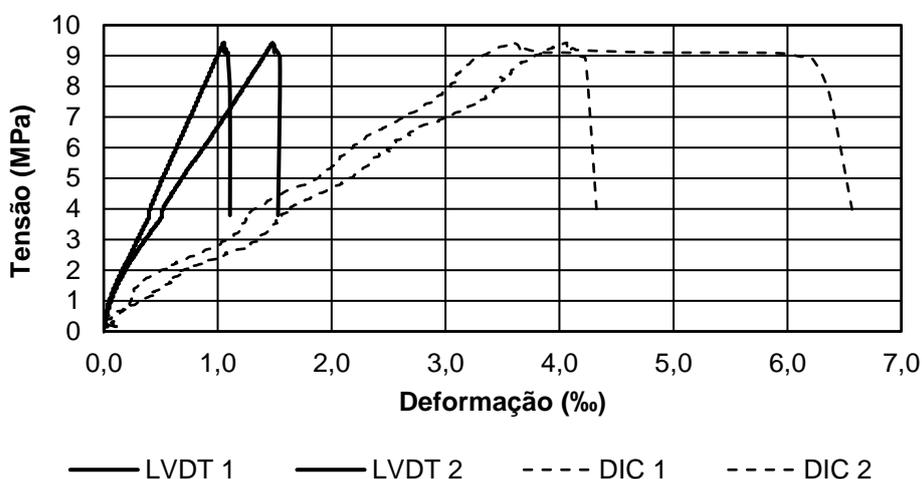


Fonte: Elaboração própria.

Com esses dados, é possível notar que os dois pontos são similares, indicando que as tensões nos dois lados do prisma ocorreram de forma parecida. Porém, quando comparados com os dados dos LVDTs, percebe-se uma diferença na deformação ocorrida nas duas faces opostas do prisma.

A Figura 33 apresenta a comparação dos dados obtidos pelos LVDTs com os obtidos pelo GOM, demonstrando como houve diferença entre as faces frontal e posterior.

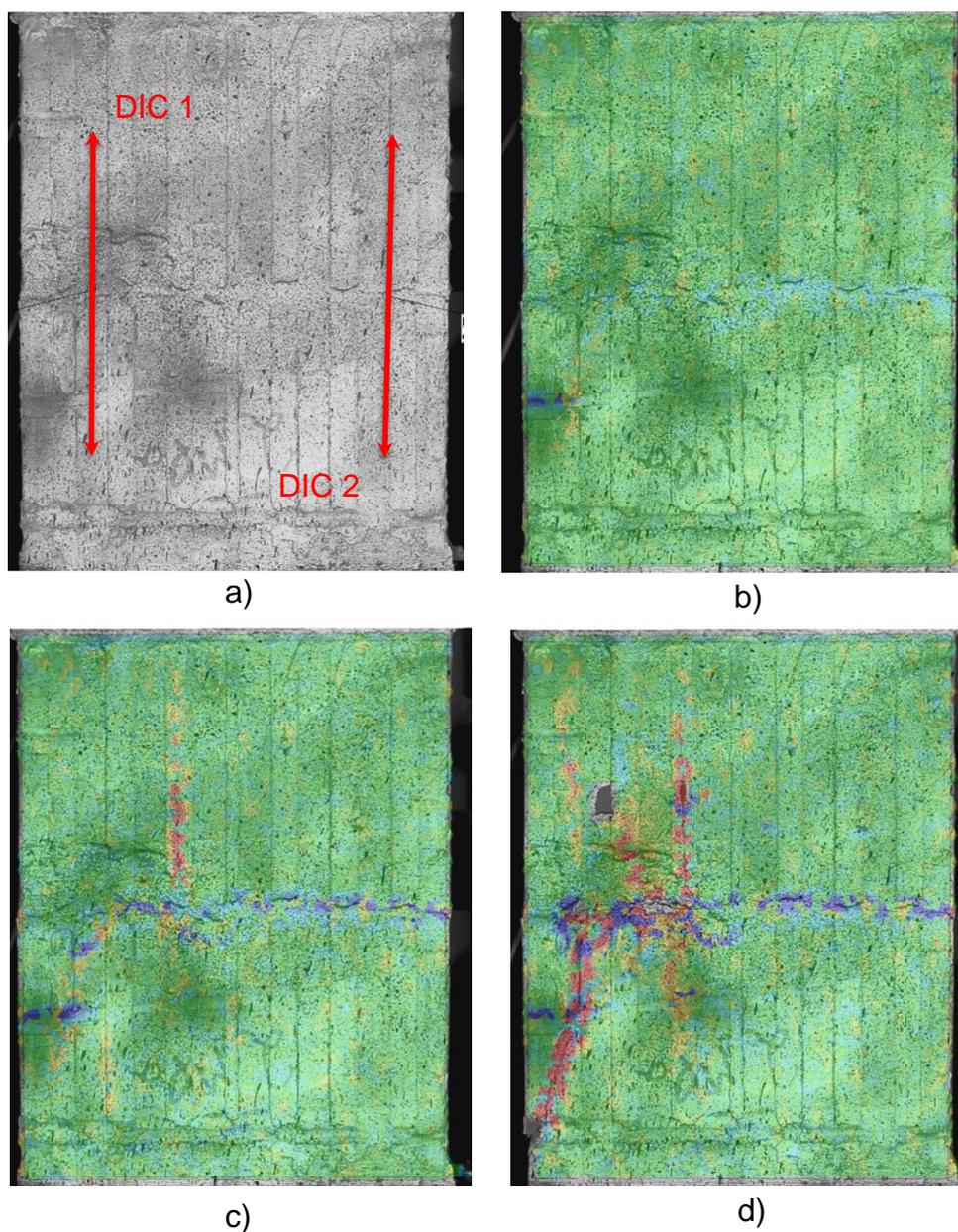
Figura 33 - Tensão x Deformação do prisma 2B (comparação)



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 34 demonstra as etapas do ensaio com o aumento de tensão, onde primeiramente surgem tensões na junta de argamassa, até que ocorre o esmagamento da mesma, levando o prisma a resistir diretamente pelos blocos, criando fissuras verticais no lado esquerdo, terminando com o rompimento do prisma.

Figura 34 - Etapas do ensaio no prisma 2B



Fonte: Elaboração própria.

Onde:

a) Marcações das leituras da deformação no software GOM Correlate; b) Esmagamento da argamassa (38,78% da tensão de ruptura); c) Surgimento de fissuras (85,07% da tensão de ruptura); d) Rompimento do prisma (100% da tensão de ruptura).

Pode-se notar com a Tabela 13 que as relações entre os valores obtidos pelo DIC e pelos LVDTs variam significativamente, chegando a uma diferença de 315%

entre o DIC e o LVDT no lado esquerdo do prisma 2B e de 330% no lado direito. Esse valor pode ser devido ao mal posicionamento do prisma na prensa, tendo um lado ficado mais submetido à carga que o outro.

Tabela 13 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 2B

Lado	Esquerdo	Direito	Média
	‰	‰	‰
LVDT	0,49	0,38	0,44
DIC	1,55	1,25	1,40
DIC/LVDT	3,15	3,30	-

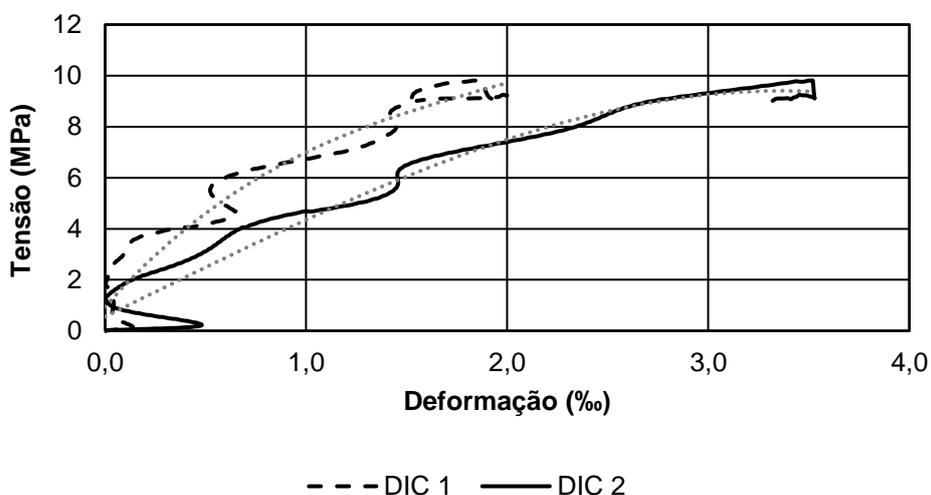
Fonte: Elaboração própria.

Essa diferença pode ser devido ao uso de apenas um método em cada face, fazendo com que cada método leia tensões diferentes, pois apesar de estarem em posições equivalentes (direita ou esquerda do prisma), eles se encontram em faces opostas.

4.4.2 Prismas com argamassa de 6 MPa

O prisma 6F, escolhido anteriormente para o estudo, tem seu diagrama de Tensão x Deformação proveniente das leituras do software GOM Correlate apresentadas na Figura 35.

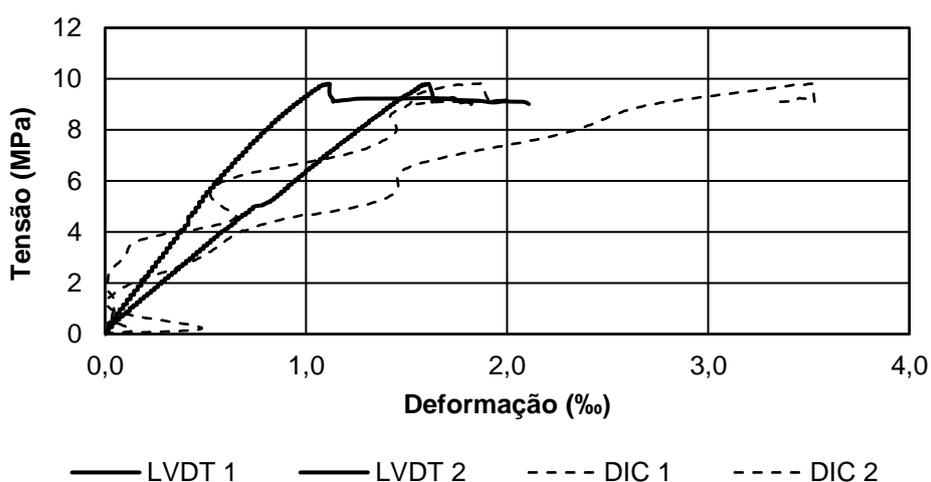
Figura 35 - Tensão x Deformação no prisma 6F (DIC)



Fonte: Elaboração própria.

Da mesma forma que ocorreu com os dados dos LVDTs, os valores adquiridos pelo DIC também diferenciaram entre os lados analisados, resultando nos valores do lado direito um pouco acima dos valores do lado esquerdo. A Figura 36 apresenta a comparação dos valores obtidos pelos LVDTs e pelo DIC.

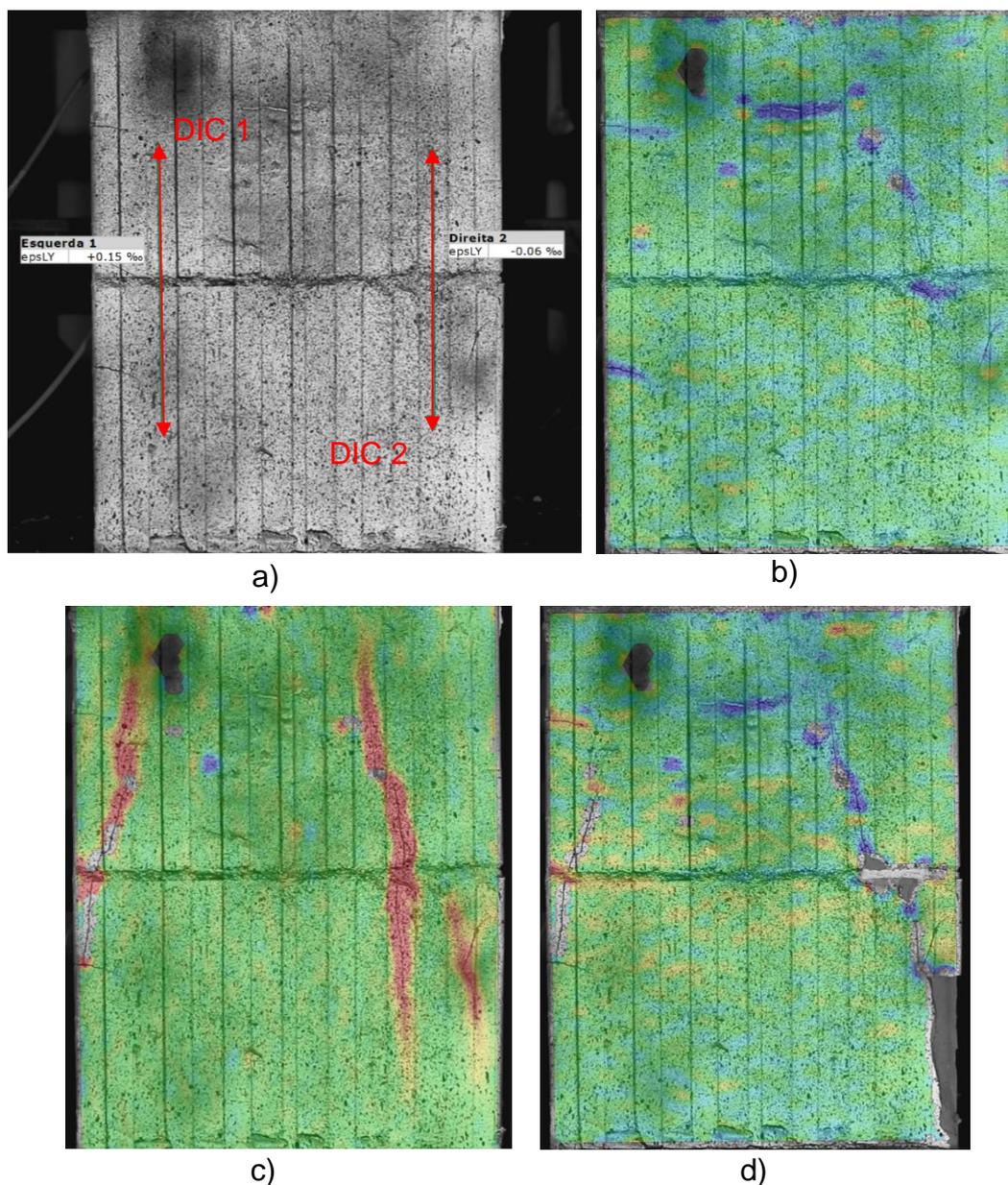
Figura 36 - Tensão x Deformação no prisma 6F (comparação)



Fonte: Elaboração própria.

Nesse caso, apesar de ter sido uma pequena diferença entre os valores de LVDT e DIC, é possível perceber que as curvas possuem comportamento parecido, já que a ruptura do prisma foi de forma semelhante na parte frontal e posterior. A Figura 37 apresenta as etapas do ensaio realizadas.

Figura 37 - Etapas do ensaio no prisma 6F



Fonte: Elaboração própria.

Onde:

a) Marcações das leituras da deformação no software GOM Correlate; b) Esmagamento da argamassa (63,43% da tensão de ruptura); c) Surgimento de

fissuras (96,68% da tensão de ruptura); d) Rompimento do prisma (100% da tensão de ruptura).

A Tabela 14 apresenta os valores obtidos no prisma 6F, discriminados pelo lado do prisma em que foi feita a leitura.

Tabela 14 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 6F

Lado	Esquerdo	Direito	Média
	‰	‰	‰
LVDT	1,02	0,61	0,81
DIC	0,85	1,51	1,18
DIC/LVDT	0,84	2,46	-

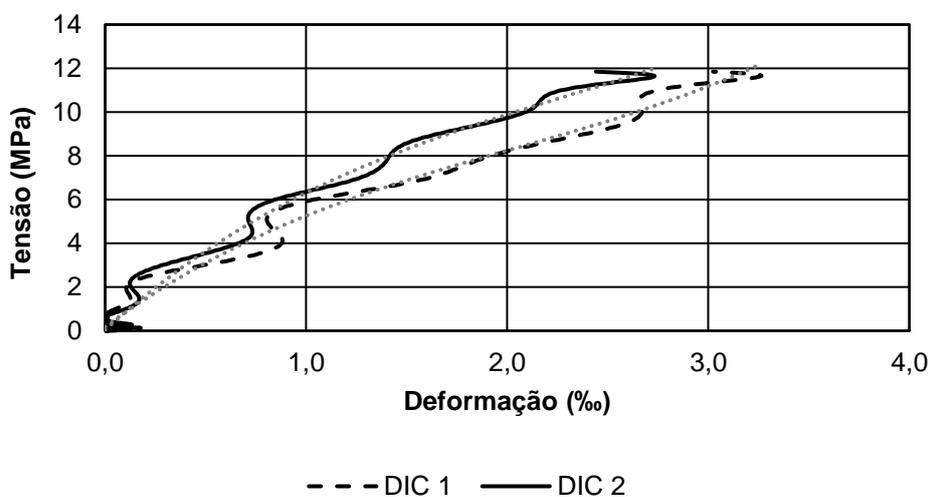
Fonte: Elaboração própria.

É possível perceber que o lado esquerdo apresentou valores equiparáveis, mesmo se tratando de faces opostas, enquanto que o lado direito resultou em uma diferença de 246% entre o DIC e o LVDT, demonstrando que a face frontal da parte direita estava sob maior tensão que a parte posterior.

4.4.3 Prismas com argamassa de 12 MPa

O diagrama de Tensão x Deformação do prisma 12F obtido pelo DIC pode ser observado na Figura 38.

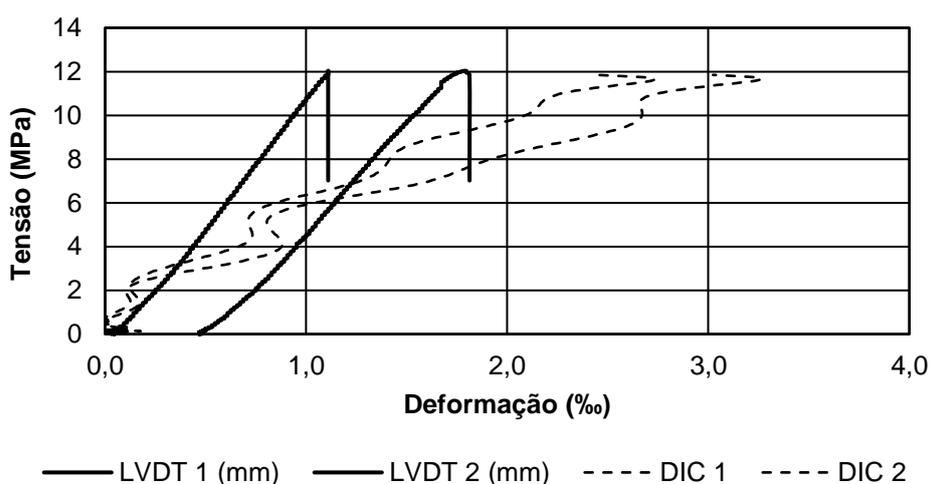
Figura 38 - Tensão x Deformação no prisma 12F (DIC)



Fonte: Elaboração própria.

Ambos os pontos selecionados para leitura apresentaram comportamento similar, o que é coerente, pois não é visível grandes alterações na face frontal do prisma, onde foi realizada a captação de imagens. A Figura 39 apresenta a comparação dos dados obtidos pelos LVDTs e pelo DIC.

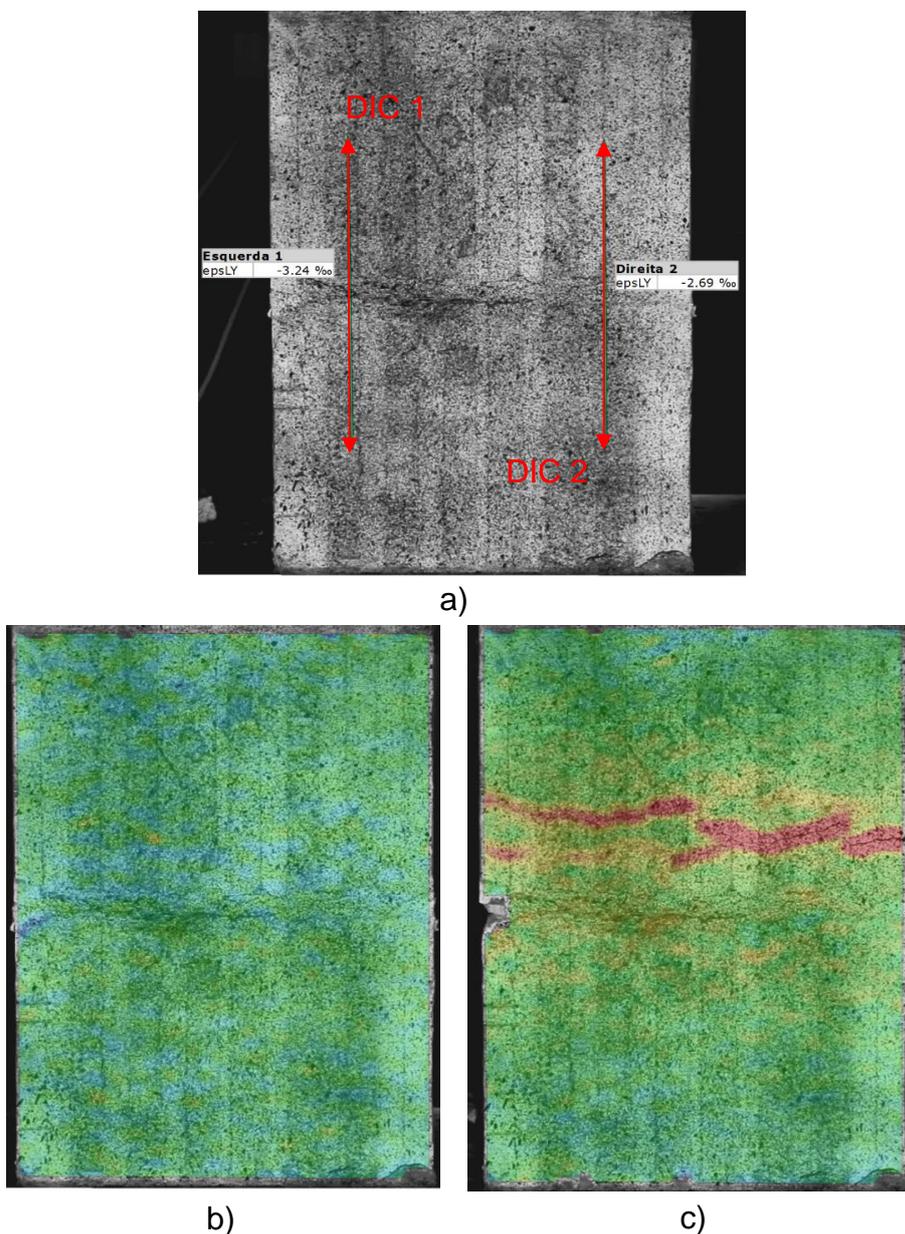
Figura 39 - Tensão x Deformação do prisma 12F (comparação)



Fonte: Elaboração própria.

Apesar da diferença nas curvas dos LVDTs, pode-se notar que os dados obtidos pelo DIC apresentam uma deformação maior pois a parte frontal do prisma não rompeu. A Figura 40 apresenta as etapas do ensaio.

Figura 40 - Etapas do ensaio no prisma 12F



Fonte: Elaboração própria.

Onde: a) Marcações das leituras da deformação no software GOM Correlate;
b) Tensões no prisma antes da ruptura (97,49% da tensão de ruptura); c) Rompimento do prisma (100% da tensão de ruptura).

A Tabela 15 apresenta as leituras das deformações no prisma 12F.

Tabela 15 - Relação entre DIC e LVDTs no prisma 12F

Lado	Esquerdo	Direito	Média
	‰	‰	‰
LVDT	1,69	1,08	1,38
DIC	3,25	2,73	2,99
DIC/LVDT	1,93	2,53	-

Fonte: Elaboração própria.

Com os dados acima, é possível ver que os valores obtidos pelo DIC são maiores que os encontrados pelos LVDTs, isso é graças ao rompimento na face posterior impossibilitar os LVDTs de ler mais. Pode-se também notar que há uma relação entre os lados, já que os valores para o lado esquerdo se encontraram superiores ao do lado direito, tanto para o DIC quanto para o LVDT.

4.5 Análise da junta de argamassa

Devido ao fato de não ter sido usado LVDTs nas duas faces dos prismas, foi possível observar o comportamento da argamassa durante o ensaio melhor com o uso do software GOM Correlate.

Foi selecionado um ponto em cada prisma para analisar como a variação das argamassas influenciou a ruptura do prisma. Os prismas assentados com argamassas de 2 MPa e 6 MPa apresentaram esmagamento e descolamento em suas juntas, em conjunto com fissurações mais pronunciadas nos blocos, enquanto os prismas de 12 MPa romperam de forma mais frágil, sem avisos e de forma monolítica, sem apresentar descolamento.

4.5.1 Prismas com argamassa de 2 MPa

A Figura 41 apresenta o ponto de leitura no prisma pelo software GOM Correlate.

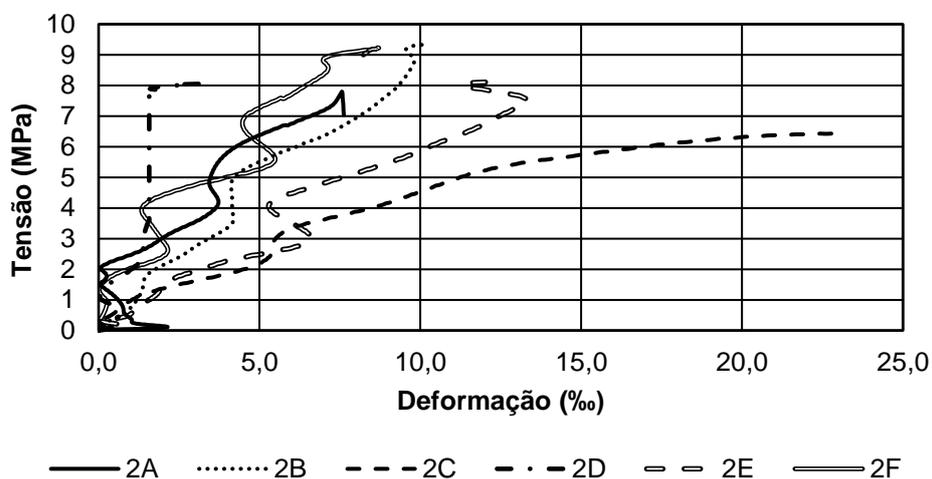
Figura 41 - Medida da argamassa no prisma 2B



Fonte: Elaboração própria.

Pode ser observado na Figura 42 como os prismas 2A, 2B e 2F tiveram um comportamento similar, enquanto os prismas 2C e 2E obtiveram deformações maiores que o resto, e o prisma 2D não foi possível analisar corretamente devido a problemas na leitura.

Figura 42 - Comparação da deformação da argamassa de 2 MPa



Fonte: Elaboração própria.

O prisma 2B foi escolhido para ter seu comportamento estudado mais detalhadamente, a fim de demonstrar a relação entre DIC/LVDT. A Tabela 16 apresenta os valores da deformação na junta de acordo com o aumento da tensão, em comparação aos valores médios obtidos no prisma pelo DIC e pelos LVDTs.

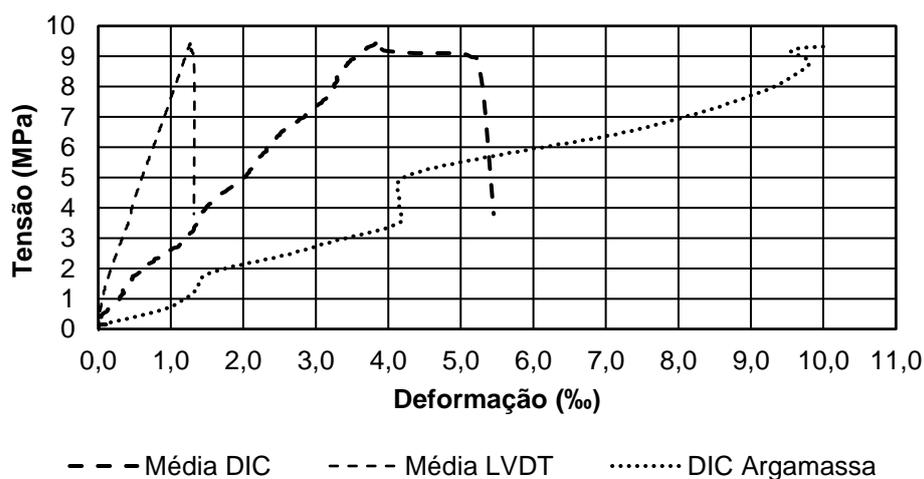
Tabela 16 - Relação entre argamassa e prisma 2B

Prisma	Tensão (MPa)	DIC arg. ϵ_a (‰)	DIC médio prisma $\epsilon_{p,DIC}$ (‰)	LVDT Prisma $\epsilon_{p,LVDT}$ (‰)	DIC arg./DIC médio $\epsilon_a/\epsilon_{p,DIC}$	DIC arg./LVDT $\epsilon_a/\epsilon_{p,LVDT}$
2B	1,50	1,385	0,400	0,107	3,47	12,92
	2,00	1,725	0,589	0,173	2,93	9,97
	2,50	2,640	0,925	0,247	2,85	10,67
	3,00	3,399	1,217	0,330	2,79	10,31
	3,50	4,126	1,353	0,412	3,05	10,01
	3,66	4,191	1,404	0,437	2,98	9,59

Fonte: Elaboração própria.

Como os LVDTs foram aplicados na face posterior apenas, a comparação do DIC da argamassa com o DIC médio do prisma se torna a opção mais visível. Pode-se ver que os valores da relação da deformação na argamassa e no prisma pelo DIC fica em torno de 3 vezes, enquanto que a relação da deformação na argamassa e no prisma pelo LVDT fica por volta de 10 vezes. Tendo isso em consideração, a Figura 43 apresenta o gráfico Tensão x Deformação entre os valores obtidos pelo DIC médio, o DIC da argamassa e o LVDT médio.

Figura 43 - Valores médios prisma 2B



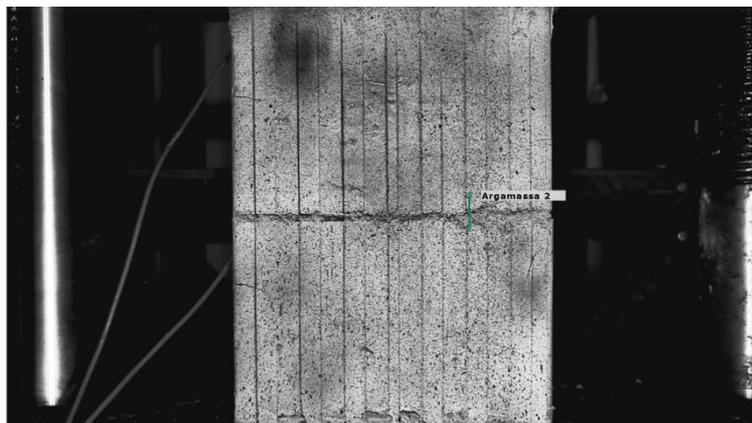
Fonte: Elaboração própria.

Mesmo realizando a comparação diretamente entre o DIC médio e o DIC da argamassa, é possível notar que os valores encontrados na junta de argamassa são superiores ao do prisma em geral. Pode ser visto também o momento em que a argamassa é esmagada, com o comportamento da curva entre 3 MPa e 4 MPa, a partir daí o prisma resiste pelos seus blocos, perdendo sua configuração monolítica.

4.5.2 Prismas com argamassa de 6 MPa

O ponto de leitura no software GOM Correlate é demonstrado na Figura 44.

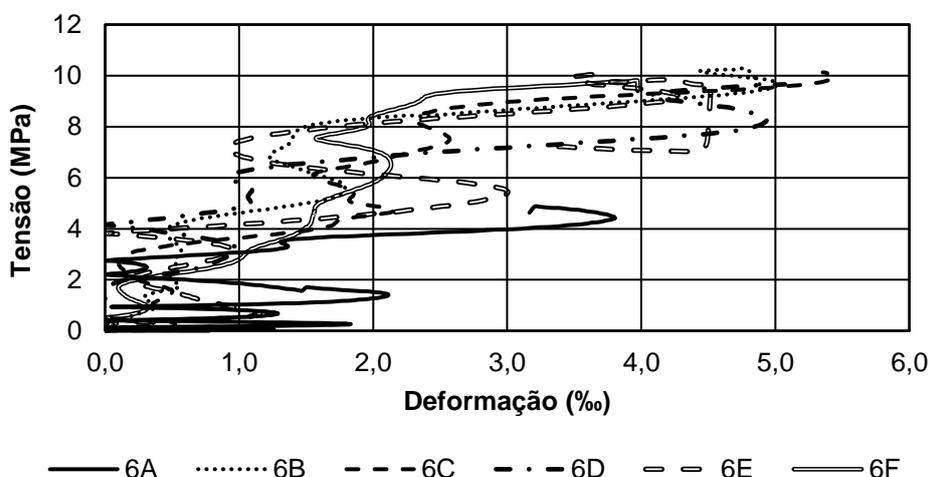
Figura 44 - Medida da argamassa no prisma 6F



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 45 apresenta os valores obtidos pelo DIC para as deformações das juntas de argamassa nos prismas.

Figura 45 - Comparação da deformação da argamassa de 6 MPa



Fonte: Elaboração própria.

Os prismas demonstraram comportamento similar, com exceção do prisma 6A, que por ter rompido antes que os demais devido a prováveis trincas pré-existentes na parte interna dos blocos, não apresentou a mesma deformação após o esmagamento da junta.

A Tabela 17 apresenta os dados do prisma 6F para a relação DIC/LVDT na junta.

Tabela 17 - Relação entre argamassa e prisma 6F

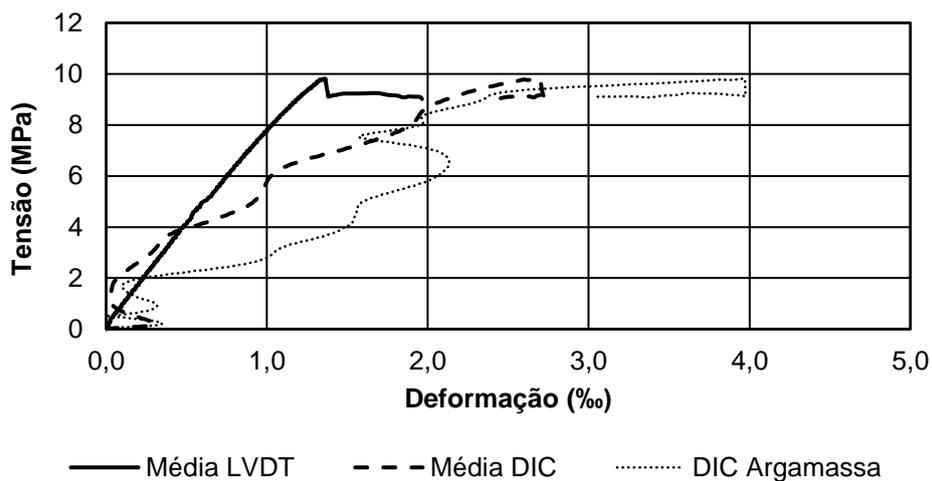
Prisma	Tensão (MPa)	DIC arg. ϵ_a (‰)	DIC médio prisma $\epsilon_{p,DIC}$ (‰)	LVDT Prisma $\epsilon_{p,LVDT}$ (‰)	DIC arg./DIC médio $\epsilon_a/\epsilon_{p,DIC}$	DIC arg./LVDT $\epsilon_a/\epsilon_{p,LVDT}$
6F	1,50	0,127	0,032	0,159	3,95	0,80
	2,50	0,790	0,166	0,292	4,75	2,70
	3,50	1,266	0,351	0,416	3,61	3,04
	4,50	1,550	0,759	0,540	2,04	2,87
	5,50	1,846	0,978	0,690	1,89	2,68
	6,52	2,133	1,180	0,814	1,81	2,62

Fonte: Elaboração própria.

Da mesma forma que aconteceu nos prismas de 2 MPa, houve certa diferença nos valores entre a curva da deformação da argamassa e do prisma, tanto pelo LVDT quanto pelo DIC. Porém, nesse caso, é possível notar que a diferença entre as

comparações pelo DIC e pelo LVDT foi menor devido ao comportamento semelhante nas duas faces. A Figura 46 apresenta o gráfico Tensão x Deformação dessas três leituras.

Figura 46 - Valores médios prisma 6F



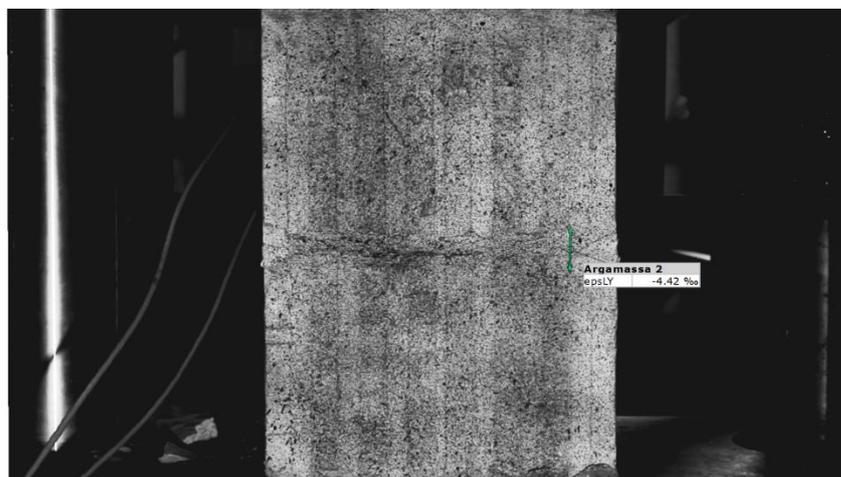
Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar o momento em que houve o esmagamento da junta, entre 6 MPa e 8 MPa, e também pode-se notar que a deformação na junta de argamassa foi maior que no prisma inteiro, tanto pelo LVDT quanto pelo DIC, devido aos mesmos fatores já mencionados no prisma de 2 MPa.

4.5.3 Prismas com argamassa de 12 MPa

O ponto de leitura da junta de argamassa do prisma 12F pode ser observado na Figura 47.

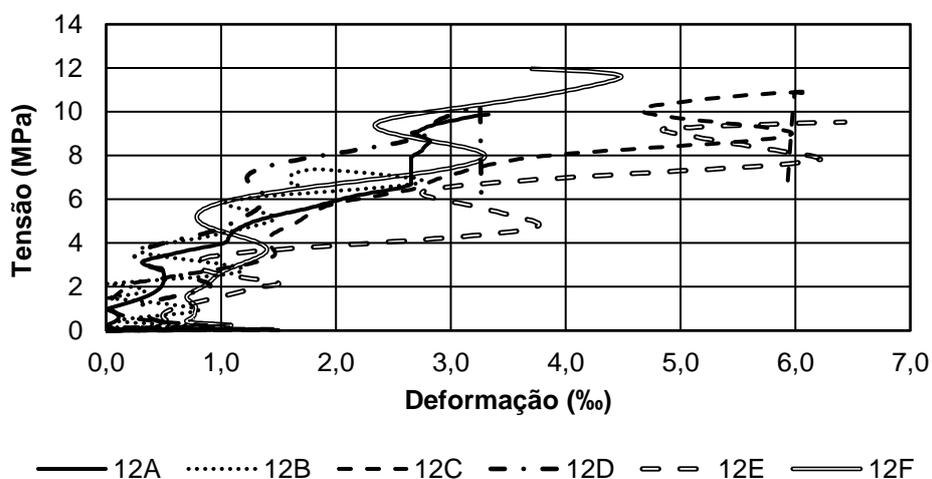
Figura 47 - Medida da argamassa no prisma 12F



Fonte: Elaboração própria.

Todas as argamassas se comportaram de maneira similar, com exceção do prisma 12E, que apresentou deformação superior em um intervalo menor. A Figura 48 apresenta a comparação da leitura na junta entre os prismas.

Figura 48 - Comparação da deformação da argamassa de 12 MPa



Fonte: Elaboração própria.

A relação entre os valores do DIC e dos LVDTs pode ser vista na Tabela 18.

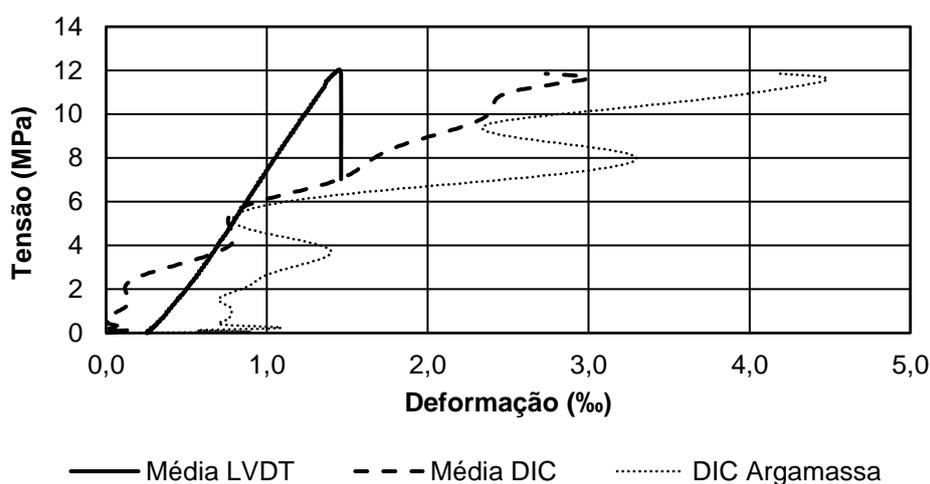
Tabela 18 - Relação entre argamassa e prisma 12F

Prisma	Tensão (MPa)	DIC arg. ϵ_a (‰)	DIC médio prisma $\epsilon_{p,DIC}$ (‰)	LVDT Prisma $\epsilon_{p,LVDT}$ (‰)	DIC arg./DIC médio $\epsilon_a/\epsilon_{p,DIC}$	DIC arg./LVDT $\epsilon_a/\epsilon_{p,LVDT}$
12F	2,00	0,834	0,118	0,500	7,07	1,67
	4,00	1,332	0,770	0,695	1,73	1,92
	6,00	1,086	0,926	0,875	1,17	1,24
	8,00	3,297	1,666	1,047	1,98	3,15
	10,00	2,807	2,378	1,234	1,18	2,27
	11,61	4,484	2,988	1,383	1,50	3,24

Fonte: Elaboração própria.

A relação entre a deformação na argamassa e no prisma encontra-se mais constante nos prismas de 12 MPa se comparados aos de 2 MPa e 6 MPa, independente se é pelo DIC ou pelo LVDT, ficando entre 1,1 e 3 vezes. A Figura 49 ilustra esses dados.

Figura 49 - Valores médios prisma 12F



Fonte: Elaboração própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo desse trabalho sendo a validação do método DIC como alternativa ao uso de LVDTs para a leitura de tensões e deformações ocorrentes em ensaios de compressão, foi possível concluir que:

O método DIC é eficiente, e pode substituir de forma satisfatória o uso de LVDTs;

A resistência da argamassa na junta afeta o modo de ruptura, argamassas fracas tendem a esmagar a junta e descolar, enquanto argamassas fortes tendem a fazer com que a ruptura se dê pela resistência do bloco;

A argamassa aumentou sua resistência depois de assentados os blocos, devido ao aumento do teor água/argamassa causado pela sucção da água pelo bloco, como também pelo fenômeno do confinamento atuante na junta.

A junta de argamassa apresentou maior deformação em relação ao prisma, independentemente de a argamassa ser forte ou fraca, e a deformação nos prismas de argamassa fraca foi consideravelmente maior que nos demais prismas;

A matriz utilizada para a leitura do DIC (respingos com tinta spray) foi efetiva, apresentando dados legíveis para o software.

A partir dessas considerações, são definidas sugestões para possíveis trabalhos futuros, que venham a aprofundar o tema.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Realizar estudos sobre o uso da correlação de imagem digital em outros materiais, tais como corpos de prova de madeira ou aço;

Variar o tipo de bloco e argamassa utilizado nos prismas e comparar os modos de ruptura;

Alterar a tinta e a matriz aplicada sobre o prisma, para definir os melhores métodos de aplicação e captura de imagens.

REFERÊNCIAS

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, 2005.

ABNT. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**Rio de Janeiro, 2016.

ABNT. **NBR 15270-2: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaio**Rio de Janeiro, 2017a.

ABNT. **NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão**Rio de Janeiro, 2017b.

ABNT. **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto**Associação Brasileira de Normas TécnicasRio de Janeiro, 2020a.

ABNT. **NBR 16868-3: Alvenaria estrutural - Parte 3: Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: [s.n.].

BARBOSA, C. D. S. **Resistência e deformabilidade de blocos vazados de concreto e suas correlações com as propriedades mecânicas do material constituinte.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2004.

BARBOSA, C. D. S.; HANAI, J. B. Comportamento de prismas de blocos vazados de concreto sob compressão axial e análise das propriedades mecânicas de seus materiais constituintes. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, v. 11, n. 50, p. 75–90, 2009.

BRANDOLFF, A. M. **Análise de ruptura de prismas de alvenaria estrutural através da correlação de imagem digital.** [s.l.] Universidade Federal do Pampa, 2018.

DEÁK, P.; KOWALIK, M. **Composite aircraft joint experimental testing with digital image correlation.** 13 Research and Education in Aircraft Design Conference. **Anais...**Warsaw: 2018

FERREIRA, M. D. C. **Análise inversa utilizando o método dos elementos de contorno e correlação de imagens digitais.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

LÜBECK, A. **Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural.** [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MANZIONE, L. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: O

Nome da Rosa, 2004.

MARTIN-ALARCON, D. C. **Optical monitoring & modelling of masonry behaviour under shear load**. [s.l.] University of Minho, 2016.

MARTINS, J. P. N. et al. **Caracterização do comportamento mecânico de elementos de madeira recorrendo à técnica de correlação digital de imagem**Coimbra, 2011.

MELO, A. D. DE; CARVALHO, L. C. Comparativo de custo entre o método construtivo de concreto armado e alvenaria de vedação em relação ao método de alvenaria estrutural com bloco cerâmico para residências de pequeno porte. p. 1–22, 2018.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MOHAMAD, G. et al. **Construções em alvenaria estrutural - materiais, projetos e desempenho**. [s.l.] Blucher, 2015.

MOHAMAD, G.; MACHADO, D. W. N.; JANTSCH, A. C. A. **Alvenaria Estrutural - Construindo o conhecimento**. 1. ed. São Paulo: [s.n.].

RAMALHO, M.; CORRÊA, M. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 1. ed. São Paulo: [s.n.].

SALVATI, Â. C. **Avaliação pós-ocupação de edifícios residenciais em alvenaria estrutural**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

SANTOS, W. J.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA, R. A. Avaliação da influência da resistência da argamassa de assentamento na resistência de prisma de alvenaria estrutural. **21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, n. 1, p. 2665–2672, 2014.

SHRIVE, N. G. **Compressive strenght and strenght testing of masonry**Calgary, 1985.

SILVA, A. Q. N. **Correlação de imagens digitais em ensaios de compressão diametral em rochas**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

SILVA, J. D.; CARVALHO, L. C. ALVENARIA ESTRUTURAL E DE VEDAÇÃO: Uma análise comparativa de custos de dois empreendimentos multifamiliar. p. 1–20, 2018.

ZAHRA, T.; THAMBOO, J.; ASAD, M. Compressive strength and deformation characteristics of concrete block masonry made with different mortars, blocks and mortar beddings types. **Journal of Building Engineering**, v. 38, n. January, p. 31,

2021.