UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA – CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

ENG.º CIVIL BRUNO HENRIQUE PINTO

EXECUÇÃO DE BLOCOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO FLUIDO

Ilha Solteira

2018

PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - DEC

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS DA ALVENARIA ESTRUTURAL - NEPAE

ENG.º CIVIL BRUNO HENRIQUE PINTO

EXECUÇÃO DE BLOCOS PARA ALVENARIA ESTRUTURAL UTILIZANDO CONCRETO FLUIDO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de conhecimento: Estruturas.

Orientadora: Profª. Drª. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque.

Coorientador: Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho.

Ilha Solteira

2018

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P659e

Pinto, Bruno Henrique.
Execução de blocos para alvenaria estrutural utilizando concreto fluido / Bruno Henrique Pinto. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
166 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2018

Orientador: Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque
Coorientador: Jefferson Sidney Camacho
Inclui bibliografia

1. Alvenaria estrutural. 2. Concreto fluido. 3. Blocos de concreto. 4. Procedimento de fabricação. 5. Reologia do concreto fresco. 6. Fluidez.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Execução de blocos para alvenaria estrutural utilizando concreto fluido

AUTOR: BRUNO HENRIQUE PINTO
ORIENTADORA: MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE
COORIENTADOR: JEFFERSON SIDNEY CAMACHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA DA CONSOLAÇÃO FONSECA DE ALBUQUERQUE
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. RENATO BERTOLINO JUNIOR
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ALEXSANDRO DOS SANTOS FELIPE
Departamento de Estruturas e Materiais / Instituto Federal Goiano

Ilha Solteira, 05 de junho de 2018

Dedico este trabalho aos meus pais, Hidelair e Maria Rosa, por presentear-me com a possibilidade de ser seu filho, ensinando-me valores que tem me guiado pela vida de forma digna, humilde e inteligente.

AGRADECIMENTOS

Toda caminhada requer de nós esforço, o mínimo que seja, quando não, requer sacrifícios e, esta por sinal não foi diferente. O que me consola é saber que quando damos uma etapa como concluída, com é o caso desta, não diferente de muitas que findei até aqui, esta não foi reflexo somente de meus esforços e/ou sacrifícios, mas trata-se de uma relação diretamente proporcional das ações provenientes de um conjunto de pessoas, este o qual compreendem colegas, amigos e familiares. A estes quero aqui externar minha gratidão e reconhecimento.

Começo por agradecer ao Criador que a tudo fundamentou e tornou possível.

À CAPES pela ajuda fornecida através da bolsa de estudos.

À minha orientadora Professora Dra. Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque, obrigado por aceitar realizar tal empreitada.

Em sequência, e que foi primordial para o andamento deste trabalho, devido seu vasto conhecimento dentro da Engenharia Civil, no que tange a Alvenaria Estrutural especificamente, reconheço e agradeço a participação de meu coorientador Professor Dr. Jefferson Sidney Camacho, meu sincero obrigado pela disponibilidade e ensinamentos que contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Aos componentes da banca de qualificação e defesa do mestrado, são eles: Prof. Dr. Renato Bertolino Júnior, Prof. Dr. Alexsandro dos Santos Felipe e Prof. Dr. Marco Antônio de Morais Alcântara.

À TECNOBENS LTDA e, aos Engenheiros Civis Rodrigo Piernas Andolfato e Thiago Trentin pela confiança e parceria.

Ao Humberto Soller da GRACE BRASIL LTDA pelas doações realizadas para o andamento deste trabalho.

À COPEL ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. que possibilitou informações preciosas, em especial ao Caio C. P. Ferraz Júnior (Caíto).

Aos colegas que contribuíram diretamente com a evolução deste trabalho, são eles: Vinicius Moura, Felipe Lago e Mateus Nishigima.

Aos técnicos de laboratório Ozias Porto, Natália Antoniali, Gilson Correa e Flávio Porato por toda ajuda, ensinamento e tempo.

À Universidade Estadual de São Paulo (UNESP-FEIS) por perseverar e trilhar caminhos que faz com que seja possível investir na nação, apostando na formação de engenheiros, acreditando e fazendo com que a instituição seja uma referência a nível nacional.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil (DEC) – que, em muito contribuíram para o meu crescimento profissional.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Civil (DEC) – Luís Henrique de Rezende Crozariol, Guilherme Avino Ohland e Marcelo Santana.

Aos amigos e colegas de república – Leonardo Carvalho, Allan Dias, Pedro Martinez e Alex Bittencourt.

Aos meus pais, enormemente, pela educação, conhecimento e valores transmitidos a mim, que sem titubearem investiram tempo, dinheiro e amor na minha formação como profissional e, o mais importante de tudo, na minha formação como ser humano.

Aos meus irmãos, pela amizade, pelo apoio e por tudo que as palavras não conseguem traduzir.

Reconheço e agradeço a minha namorada, que com carinho e atenção soube estar sempre ao meu lado quando precisei, com paciência e sabedoria soube compreender às minhas ausências, mais que obrigado.

A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores diligentes aos quais sem nominar tem e terão até o fim de minha vida, o meu eterno e mais profundo reconhecimento. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação profissional e de minha formação como ser humano, o meu mais singelo obrigado. Pois, é por essas e por outras que a vida vale a pena ser vivida.

Bruno Henrique Pinto

Nosso medo

“Nosso medo mais profundo não é o de sermos inadequados. Nosso medo mais profundo é que somos poderosos além de qualquer medida. É a nossa luz, não as nossas trevas, o que mais nos apavora. Nós nos perguntamos: Quem sou eu para ser Brilhante, Maravilhoso, Talentoso e Fabuloso? Na realidade, quem é você para não ser? Você é filho do Universo. Se fazer pequeno não ajuda o mundo. Não há iluminação em se encolher, para que os outros não se sintam inseguros quando estão perto de você. Nascemos para manifestar a glória do Universo que está dentro de nós. Não está apenas em um de nós: está em todos nós. E conforme deixamos nossa própria luz brilhar, inconscientemente damos às outras pessoas permissão para fazer o mesmo. E conforme nos libertamos do nosso medo, nossa presença, automaticamente, libera os outros”.

Nelson Mandela.

RESUMO

As complicações ocasionadas pelas irregularidades presentes na face de assentamento dos blocos de alvenaria estrutural, provenientes de procedimentos correntes de fabricação, possibilita um campo de estudo para otimização na melhoria dessas irregularidades. Para tanto, este trabalho tem por finalidade propor uma alternativa de fabricação dos blocos de alvenaria estrutural através do uso e aplicação de concreto fluido com os traços 1:3, 1:5 e 1:7, cujas resistências à compressão deles e dos prismas, atendam às exigências das normas NBR 15961-1 e NBR 15961-2. Assim, além de moldados e confeccionados os blocos e os prismas, neste trabalho são apresentados ensaios de ambos, bem como os ensaios das argamassas de assentamento mista e polimérica. Em alguns destes ensaios utilizaram-se LVDTs e *Strain-Gages*, com objetivo de verificar os seus deslocamentos e suas deformações, e consequentemente as tensões atuantes, nos blocos e nos prismas.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Concreto fluido. Blocos de concreto. Procedimento de fabricação. Reologia do concreto fresco. Fluidez. Adensabilidade.

ABSTRACT

Complications arising from imperfections on the bonded surface of structural masonry blocks, from current manufacturing procedures, makes it a field of study for optimization in the improvement of these irregularities. To this end, this paper aims to propose an alternative to the manufacture of structural masonry block through the use and application of fluid concrete with mixture 1:3, 1:5 and 1:7, whose resistance to compression them and prisms, meet the requirements established by the Brazilian technical standards NBR 15961-1 and NBR 15961-2. Thus, this work describes tests performed on blocks and prisms. The prisms were tested with mixed and polymeric block-laying mortars. In some of these tests using LVDTs and Strain Gages to check their displacements and their deformations, and consequently tensions, in the blocks and prisms.

Keywords: Structural masonry. Concrete fluid. Concrete blocks. Production procedure. Rheology of fresh concrete. Fluidity. Density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. A Antiga Alvenaria Estrutural 22

Figura 2. A Moderna Alvenaria Estrutural 22

Figura 3. Detalhe da alvenaria de vedação e da alvenaria estrutural 22

Figura 4. Relação entre a resistência à compressão e a relação água/cimento do concreto 23

Figura 5. Bloco estrutural com face superior irregular 25

Figura 6. Uso e excesso de aplicação de argamassa de assentamento 26

Figura 7. Processo mecanizado de produção de blocos de concreto estrutural – a) Baias de armazenamento de agregados; b) Silo para materiais; c) Descarregamento e transporte dos materiais na esteira do silo para o misturador; d) Misturador; e) f) Transporte/esteira; g) h) i) Compactação dos blocos; j) k) l) Armazenamento e cura dos blocos 30

Figura 8 - Modelo de Bingham 34

Figura 9. Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas 40

Figura 10. Famílias de blocos 29 e 39 42

Figura 11. Estrutura do bloco de concreto aumentada em 15 vezes 42

Figura 12. Aplicação do composto polimérico 46

Figura 13. Construção de prisma de alvenaria 47

Figura 14. Esquema para o ensaio de determinação da resistência do prisma (fp). 48

Figura 15. Esquema dos modos de falha 49

Figura 16. Estado de tensão na alvenaria 53

Figura 17. Classificação dos materiais - Areia média 58

Figura 18. Curva granulométrica - Areia média 59

Figura 19. Classificação dos materiais - Brita 0 60

Figura 20. Curva granulométrica - Brita 0 60

Figura 21. Máquina Universal de Ensaio - modelo DL 20000 - EMIC 64

Figura 22. Funcionamento da Máquina Universal de Ensaio (Compressão) 64

Figura 23. Sistema de aquisição montado 65

Figura 24. Detalhes dos: a) *Strain-Gages* e b) módulo de leitura 65

Figura 25. Detalhes dos: a) LVDT, b) célula de carga, c) Interface do Software DASYLab11 66

Figura 26. Amplitude de tensões nas bobinas secundárias em função do núcleo móvel .. 67

Figura 27. Organograma do fluxo das ações para encontrar o teor de argamassa ideal 70

Figura 28. Adições de materiais componentes da argamassa 71

Figura 29. Concreto com teor de argamassa de 59% 71

Figura 30. Concreto com teor de argamassa de 61% 71

Figura 31. Concreto com teor de argamassa de 63% 72

Figura 32. Concreto com teor de argamassa de 65% 72

Figura 33. Adição gradativa de superplastificante 73

Figura 34. Processo de produção do concreto para moldagem dos blocos 75

Figura 35. Preparo das formas para moldagem dos blocos – Lubrificação 76

Figura 36. Preparo das formas para moldagem dos blocos – Encaixe dos tubos 76

Figura 37. Transporte do concreto até as formas e lançamento 77

Figura 38. Processo de produção das argamassas mistas para assentamento de blocos para prismas 78

Figura 39. Amostras de argamassa mista - corpos prismáticos 4 x 4 x 16 cm³ 79

Figura 40. Prismas assentados com argamassa mista e polimérica 80

Figura 41. Fabricação dos prismas – a) argamassa mista, b) nível, c) e d) argamassa polimérica 81

Figura 42. Regularização das superfícies de contato do bloco 83

Figura 43. Ensaios de argamassa segundo a NBR 13279 – a) Compressão, b) Flexão 84

Figura 44. Marcações para fixação dos LVDTs e extensômetros (*Strain-Gages*) 85

Figura 45. Regularização da superfície do bloco – Preenchimento dos poros com massa acrílica 86

Figura 46. Regularização da superfície do bloco – lixamento da massa acrílica 86

Figura 47. Colocação dos extensômetros (Strain-Gages) 87

Figura 48. Transporte e armazenamento dos prismas com extensômetro (*Strain-Gages*) 87

Figura 49. Relação do consumo de cimento pela relação de agregados secos/cimento (m) para os traços 1:3, 1:5, e 1:7 90

Figura 50. Aumento do Consumo de cimento (%) para os traços 1:3; 1:5; e, 1:7 90

Figura 51. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias sem AAP 91

Figura 52. Aumento da resistência média à compressão dos blocos de 7 para 28 dias para os traços 1:3, 1:5 e 1:7 sem AAP 92

Figura 53. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias relacionando o teor de água/cimento da mistura 93

Figura 54. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias com AAP 93

Figura 55. Aumento da resistência média à compressão dos blocos de 7 para 28 dias para os traços 1:3, 1:5 e 1:7 com AAP 94

Figura 56. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias relacionando o teor de água/cimento da mistura 95

Figura 57. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:3 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP) 96

Figura 58. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:3 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP) 96

Figura 59. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:5 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP) 97

Figura 60. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:5 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP) 97

Figura 61. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:7 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP) 98

Figura 62. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:7 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP) 98

Figura 63. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:3, 1:5 e 1:7 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP) 99

Figura 64. Face de assentamento dos blocos – a) bloco com concreto fluido à esquerda e bloco industrial de concreto à direita - b) bloco industrial de concreto - c) bloco com concreto fluido 101

Figura 65. Resistência média à compressão das argamassas AM1 e AM2 para 28 dias 102

Figura 66. Formas de rupturas dos prismas – a) cone e divisão - b) separação da face - c) inicio de ruptura semiconica - d) cisalhamento - e) semicônica - f) indefinida (explosão) 106

Figura 67. Propagação das fissuras nos prismas (I-início e F-fim) – 1) AM1 - 2) Polimérica 106

Figura 68. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – Strain-Gages 01 110

Figura 69. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – Strain-Gages 02 110

Figura 70. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – LVDT 01 111

Figura 71. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – LVDT 02 112

Figura 72. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – Strain-Gages 01 113

Figura 73. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – Strain-Gages 01 114

Figura 74. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – LVDT 01 115

Figura 75. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – LVDT 02 116

Figura 76. Interação bloco-argamassa-bloco e bloco-bloco 117

Figura 77. Simulação da configuração de "*Scaling*" 135

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural.....40

Tabela 2. Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração de blocos 41

Tabela 3. Comportamento das argamassas segundo a adição variável de cal.....44

Tabela 4. Principais pesos específicos da alvenaria.....51

Tabela 5. Características do Cimento Portland - CP V ARI.....61

Tabela 6. Traços 1:3, 1:5 e 1:7 do concreto sem aditivo acelerador de pega 73

Tabela 7. Traços 1:3, 1:5 e 1:7 do concreto com aditivo acelerador de pega.....74

Tabela 8. Traços das argamassas mistas convencionais para assentamento de blocos....79

Tabela 9. Consumo de cimento para os traços 1:3, 1:5 e 1:7.....89

Tabela 10. Resistência à compressão axial dos blocos com 7 e 28 dias.....99

Tabela 11. Tempo de desmoldagem com AAP.....101

Tabela 12. Fase 1 – Prismas de blocos sem incorporação de AAP.....103

Tabela 13. Fase 2 – Prismas de blocos com incorporação de AAP 103

Tabela 14. Resistência estimada dos prismas (fck, est).....107

Tabela 15. Resistência estimada da alvenaria através dos prismas (fk).....108

Tabela 16. Resistência média dos blocos aos 28 dias (fb).....108

Tabela 17. Eficiência relacionando alvenaria e blocos ($\eta = fk/fb$) 109

Tabela 18. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:3 118

Tabela 19. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:5 119

Tabela 20. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:7 119

Tabela 21. Comparação dos custos de produção de alvenaria com argamassas mistas e argamassa polimérica.....120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Questionário de visita técnica em fábrica de blocos de concreto 55

Quadro 2. Características técnicas do superplastificante 62

Quadro 3. Características técnicas do acelerador de pega 62

Quadro 4. Lotes de fabricação – blocos 83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS LISTA DE SIMBOLOS

AAP	Aditivo acelerador de pega
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
AS	Aditivo superplastificante
ASR	Alkali–silica reaction
C.P.	corpo de prova.
CAD	Concreto de alto desempenho
CCV	Concreto convencional vibrado.
CV	Coeficiente de variação.
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – SP
LVDT	Linear variable differential transformer – Transformador Diferencial Variável Linear
M.F	módulo de finura.
NBR	Norma Brasileira.
NEPAE	Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural.
SD	Desvio padrão.
SPC	Sobre o peso de cimento
SVVIE	Sistemas verticais de vedação internos e externos

LISTA DE SIMBOLOS

μ_p	Viscosidade plástica.
τ_0	Tensão cortante limite (ou inicial).
f_{bk}	Resistência característica (MPa).
f_{bm}	Resistência de cálculo (MPa).
mm	milímetros
γ	massa específica do concreto “seco” (kg/dm³).
a/c	água/ cimento.
a/ms	água/ materiais secos.
η	Eficiência
μm	Micrometro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21

1.1 Alvenaria Estrutural 21

1.2 Concreto Fluído 23

1.3 Caracterização e Objetivos 24

1.4 Justificativa 25

1.5 Estrutura do trabalho 26

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29

2.1 Sistema de produção industrial de blocos de concreto estrutural 29

2.2 Características e particularidades do concreto fluido 31

***2.2.1 Trabalhabilidade* 31**

***2.2.2 Fluidez* 31**

***2.2.3 Plasticidade* 32**

***2.2.4 Consistência* 32**

***2.2.5 Coesão* 32**

***2.2.6 Segregação* 33**

***2.2.7 Exsudação* 33**

2.3 Característica de autoadensabilidade do concreto fluído 33

2.4 Materiais que compõe o concreto fluido 34

***2.4.1 Agregados* 35**

***2.4.2 Aglomerantes* 37**

2.4.3 Cimento 37

***2.4.4 Aditivos* 38**

2.5 Alvenaria Estrutural 39

2.5.1 Bloco Estrutural **41**

2.5.2 Argamassa de assentamento **43**

2.5.3 Argamassa mista convencional **44**

2.5.4 Argamassa polimérica **45**

2.5.5 Prisma **47**

2.5.6 Padrões de ruptura dos prismas **49**

2.5.7 Ações **49**

2.5.8 Ações verticais **50**

2.5.9 Resistência à compressão **51**

3 MATERIAIS E MÉTODOS **55**

3.1 Sistema de produção industrial de blocos de concreto estrutural **55**

3.2 Materiais **58**

3.1.1 Areia **58**

3.1.2 Brita **59**

3.1.3 Cimento **60**

3.1.4 Aditivos **61**

3.1.5 Cal hidratada **63**

3.1.6 Argamassa polimérica **63**

3.2 Equipamentos **63**

3.2.1 Máquina universal de ensaio **63**

3.2.2 Sistema de aquisição de dados **64**

3.2.3 Outros equipamentos utilizados **67**

3.3 Metodologia **68**

3.3.1 Definição dos traços **68**

3.3.2 Elaboração das formas para moldagem dos blocos **74**

3.3.3 Processo de manufatura dos blocos **75**

3.3.4 Argamassas de assentamento 77

3.3.5 Confecção dos prismas 79

3.3.6 Terminologia 82

3.3.7 Ensaios 82

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 89

4.1 Consumo de cimento 89

4.2 Ensaios de compressão 91

4.2.1 Ensaios de blocos 91

4.2.2 Ensaios de argamassas 102

4.2.3 Ensaios de prismas 102

4.3 Custo de produção 118

5 CONCLUSÕES FINAIS 121

6 SUGESTÕES 124

REFERÊNCIAS 125

APÊNDICES 128

APÊNDICE A - Caracterização do agregado miúdo - Areia média 128

APÊNDICE B - Caracterização do agregado miúdo – Brita 0 129

APÊNDICE C - Determinação do teor de argamassa 130

APÊNDICE D - Forma para blocos – Projeto 131

APÊNDICE E - Funcionamento do tubo de PVC na manufatura dos blocos 132

APÊNDICE F. Marcações e posicionamentos (instalações) dos LVDTs e Extensômetros (Strain-Gages) 134

APÊNDICE G. Configuração e alimentação do sistema de aquisição de dados 135

APÊNDICE H. Cálculo do consumo de cimento para os traços 1:3; 1:5 e 1:7 137

APÊNDICE I. fek, est da alvenaria obtida através dos elementos prismas 138

APÊNDICE J. Fase 01 Prismas – LVDTs e Strain-Gages..... 144

APÊNDICE K. Fase 02 Prismas – LVDTs e Strain-Gages 153

ANEXOS 162

ANEXO A - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo 162

ANEXO B - Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo 163

ANEXO C - Item 8.2 da ABNT NBR 15961-2:2011 – Resistência característica 164

ANEXO D - Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:0,5:4,5, para diferentes níveis de tensões laterais 166

ANEXO E - Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:1:6, para diferentes níveis de tensões laterais 167

1 INTRODUÇÃO

1.1 Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural compreende um sistema construtivo onde, basicamente, as próprias paredes, constituídas pelos seus elementos e, estes por sua vez, constituídos por seus componentes, são autoportantes; isto é, as próprias paredes são as estruturas dispostas a resistirem aos esforços solicitantes, possivelmente atuantes sobre a mesma. Do ponto de vista estrutural, a alvenaria estrutural, caracteriza-se principalmente pela transmissão de ações, basicamente, por meio da tensão de compressão (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 1). A alvenaria trata-se de um material tradicionalmente usado há séculos pela humanidade. No entanto, o emprego desse material no ambiente construtivo, até o século passado, era dado de forma totalmente embasada no empirismo, onde pouco se usava do real potencial resistivo desse material; sendo que para isso, o sistema construtivo na época, resumia-se em simples assentamento de pedra sobre pedra ou amontoamento de blocos/tijolos dispostos de forma ordenada, salvo quando, para a devida disposição, faziam-se o uso de argamassas obtidas através da exploração e processamento de pedra calcária, como exemplos podem ser citados: as Pirâmides de Gizé (Guizé); a Grande Muralha da China; o Coliseu Romano, ditos como obras inerentes à antiga alvenaria estrutural praticada, como apresentada na Figura 1.

Foi a partir da transição dos séculos 20 e 21, que a alvenaria ganhou um olhar técnico-cientifico mais atento, tornando-se possível a exploração mais eficiente do material alvenaria. Simultaneamente, podendo-se projetar estruturas com maior segurança, a títulos de exemplo, tem-se: o edifício Monadnock (1889-1891); o edifício construído na Basiléia por Paul Haller (1950); o hotel Excalibur (1998); e, o edifício Central Park da Lapa (1972), respectivamente, obras da considerada alvenaria estrutural moderna, como mostra a Figura 2.

A Figura 3 apresenta em detalhes características da alvenaria de vedação e da alvenaria estrutural.

Figura 1. A Antiga Alvenaria Estrutural



a) Pirâmides de Gizé

Fonte: Liberato (2016)



b) Grande Muralha da China

Fonte: Navarro (2016)



c) Coliseu Romano

Fonte: Zielske (2013)

Figura 2. A Moderna Alvenaria Estrutural



a) Edifício Monadnock

Fonte: Monadnock (2017)



b) Edifício Excalibur

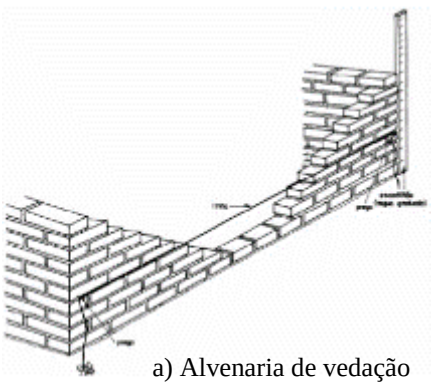
Fonte: Prontomix (2013)



c) Edifício Central Park

Fonte: Apstecnologia (2017)

Figura 3. Detalhe da alvenaria de vedação e da alvenaria estrutural



a) Alvenaria de vedação

Fonte: Encrypted (2017)



b) Alvenaria estrutural

Fonte: Encrypted (2017)

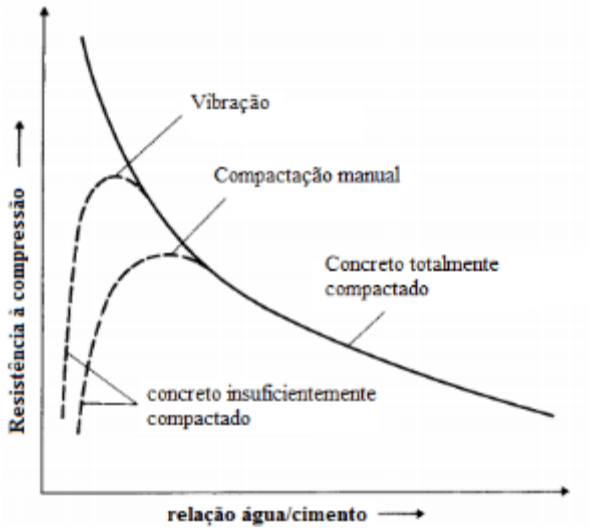
1.2 Concreto Fluído

O concreto é tido como o material de maior emprego no mundo; para tanto, é de suma importância compreendê-lo dentro do contexto de sua aplicação e correlacionar os resultados esperados do mesmo com suas características. Para isso, faz-se necessário entender o comportamento à compressão do material propriamente dito. Mehta e Monteiro (2008) descreveram o concreto como sendo:

> Um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregado. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água. (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 10)

O concreto fluido vem a ser um concreto mais líquido, isto é, mais plástico, onde consequentemente tem uma maior capacidade fluidificante. A plasticidade pode ser conferida pelo aumento da relação água/cimento (a/c) da mistura ou da adição de superplastificantes. O aumento desta relação leva a uma perda diretamente proporcional da resistência do concreto; o uso de superplastificantes visa aumentar a fluidez da mistura sem implicar numa perda da resistência do concreto, ora conferida apenas pelo aumento do (a/c), como mostrado na Figura 4. A plasticidade do concreto depende da consistência da mistura, do grau de coesão e do formato dos agregados (BAUER, 2013; ARAÚJO et al., 2001).

Figura 4. Relação entre a resistência à compressão e a relação água/cimento do concreto



Fonte: Adaptado de Neville e Brooks (2010)

1.3 Caracterização e Objetivos

O processo convencional de fabricação de blocos de concreto de alvenaria estrutural trata de variáveis que influenciam significativamente o resultado final destes blocos, podendo os mesmos adquirir falhas superficiais (sobressaltos), grande quantidade de vazios, consequentes do processo de vibroprensagem. Ainda, o investimento inicial necessário para aquisição do conjunto de máquinas próprias à confecção dos blocos é alto, o que pode inviabilizar a fabricação desses blocos.

O trabalho pretende propor e analisar, através de uma metodologia alternativa, a possibilidade de implementar no processo fabril de blocos estruturais, a priori, o emprego do concreto fluido. Para isso, se faz necessário o estudo e comparação junto a normas no que diz respeito a determinação da resistência à compressão dos blocos e dos prismas confeccionados dessa forma alternativa.

1.3.1 Objetivos Gerais e Específicos

- Produzir os blocos utilizando concreto fluido, mantendo uma percentagem fixa de superplastificante, alterando o teor água/cimento conforme os traços e, numa segunda etapa, realizar a adição de acelerador de pega para três traços pré-definidos (1:3, 1:5 e 1:7);
- Ensaiar e analisar a resistência característica à compressão dos blocos, correlacionando e comparando com as normas específicas.
- Confeccionar, ensaiar e analisar prismas constituídos com blocos de concreto fluido, utilizando especificamente dois tipos de argamassa, sendo elas: argamassas mistas tradicionais confeccionadas com dois traços e argamassa polimérica. Estas análises compreendem da resistência característica à compressão dos prismas; das deformações devidas às tensões de compressão nos blocos, obtidas por extensômetros (*Strain-Gages*); dos deslocamentos captadas às tensões de compressão num comprimento (Δ_L), obtidos pelo o emprego de um LVDT (Linear variable differential transformer);
- Correlação e comparação com a normatização específica, no que tange a relação do comportamento do prisma como elemento estrutural e integrante do conjunto estrutural, no caso, a alvenaria;

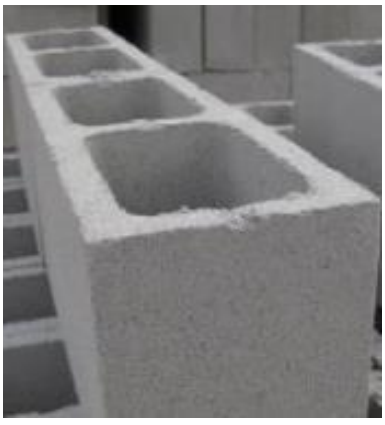
- Com a aplicação de aditivo acelerador de pega à mistura, analisar, as implicações no processo, principalmente no que diz respeito à influência: nas resistências características à compressão, no tempo de cura e na desmoldagem dos blocos de concreto junto as formas.

1.4 Justificativa

O atual método de produção de blocos estruturais dá-se através da utilização de maquinários específicos, tais como: vibroprensa, misturadores e esteiras. Estes equipamentos ditam o processo produtivo, que por sua vez, não apresenta uma eficiência em sua totalidade, visto que, os blocos estruturais não apresentam um alto desempenho quando se levam em conta, por exemplo, a trabalhabilidade, a economia, a uniformidade dos lotes.

Quando se trata da análise da trabalhabilidade dos blocos estruturais obtidos através dos métodos convencionais, sua aplicação em canteiro de obra como o aprumo das paredes por conta do profissional que as executam, torna-se de difícil operação, uma vez que as faces superiores desses blocos são irregulares, como mostrado na Figura **5**. Portanto, a não regularização das superfícies descritas, levam a uma ocorrência típica para solução de problemas desta natureza, que são muitas das vezes sanados com o preenchimento exagerado de argamassa de assentamento, visando compensar o desaprumo gerado pelas irregularidades presentes na superfície do bloco estrutural, como mostra a Figura 6.

Figura 5. Bloco estrutural com face superior irregular



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 6. Uso e excesso de aplicação de argamassa de assentamento



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Se por um lado sana-se um problema, no caso o desaprumo, em contrapartida cria-se outro, especificamente, a elevação do custo da execução da obra ou serviço. Ainda, o problema do desaprumo provenientes das irregularidades das superfícies de cada bloco, dificulta a utilização do material conhecido como argamassa polimérica, uma vez que no processo de assentamento dos blocos, cria-se juntas geralmente superiores a um centímetro de espessura, o que torna inviável a aplicação da argamassa polimérica, já que a mesma é comumente aplicada em espessuras inferiores a um centímetro. Ainda, a impossibilidade do uso e aplicação da argamassa polimérica suscita a perda de produtividade, fato este de considerável importância numa obra ou serviço.

Em se tratando da uniformidade dos lotes, é facilmente visível a percepção das disparidades entre lotes de blocos estruturais de concreto, pois os blocos integrantes de um determinado lote sofrem variações quando comparados aos de outros lotes, uma vez que os blocos dependem de uma diversidade de fatores que os afetam diretamente, parte destes inerentes ao processo de fabricação no que diz respeito ao maquinário, aos profissionais técnicos operadores, a frequência de vibração, a força de compactação; e, a outra oriunda do processo de fabricação no que tange a concepção dos materiais a serem empregados na constituição dos blocos estruturais.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido entre duas grandes áreas, as quais se buscaram combinar. Sendo assim, o trabalho, propositadamente incorpora conceitos e métodos que visam a possibilidade de uma análise estrutural preliminarmente. Em segundo plano, usa aplicar a tecnologia dos materiais no campo da mecânica estrutural. Buscou-se uma abordagem diferente no que diz respeito à fabricação de blocos de alvenaria estrutural, usando para isto a aplicação de concreto com alta fluidez, denominado concreto fluido. Logo, este trabalho integra ensaios necessários para caracterização do concreto fluido e ensaios respectivos de alvenaria estrutural, seguindo para este fim normas e referências bibliográficas inerentes a cada assunto.

O trabalho em questão foi dividido em duas fases. A primeira fase traz toda a relação do concreto fluido, no que diz respeito à separação e caracterização dos materiais, sua fabricação e ensaios para o estado fresco e estado endurecido do concreto, sem a diminuição do tempo necessário para a desmoldagem dos blocos; assim como ensaios pertinentes ao que tange a alvenaria estrutural, alvo deste trabalho. A segunda fase analisada buscou praticamente os mesmos aspectos que os descritos na primeira fase, porém visando a possibilidade da diminuição do tempo para a desmoldagem dos blocos com auxílio do aditivo acelerador de pega para o concreto. Para tanto, foi realizada uma análise das implicações desta adição na mistura, no processo de fabricação e desmoldagem dos blocos. O trabalho está dividido nos seguintes capítulos:

Capítulo 1. Neste capitulo estão contidos uma introdução aos conceitos de alvenaria estrutural e ao concreto fluido, como também estão presentes neste capitulo os objetivos e justificativa da pesquisa.

Capítulo 2. Foi realizada neste capitulo uma revisão da literatura onde se procurou levantar mais informações sobre a alvenaria estrutural de blocos de concreto, assim como informações sobre o concreto fluido.

Capítulo 3. Neste capitulo, foi trabalhado de forma concisa o entendimento dos processos de produção atual de blocos de concreto, os materiais e equipamentos utilizados para a pesquisa e, a metodologia abordada.

Capítulo 4. No capítulo, são abordados e discutidos os resultados dos blocos de concreto fluido, bem como os resultados de argamassas mistas e resultados de prismas. Ainda, no corpo deste capítulo foram realizadas comparações entre os resultados dos blocos com e sem AAP e, realizado uma análise econômica do custo de produção dos blocos.

Capítulo 5. Este capitulo traz as conclusões obtidas através dos ensaios realizados na pesquisa.

Capítulo 6. Neste capitulo estão contidas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 7. No capítulo, estão contidas as referências utilizadas e que serviram de embasamento para a pesquisa.

Capítulo 8. Este capitulo traz os apêndices resultados da pesquisa.

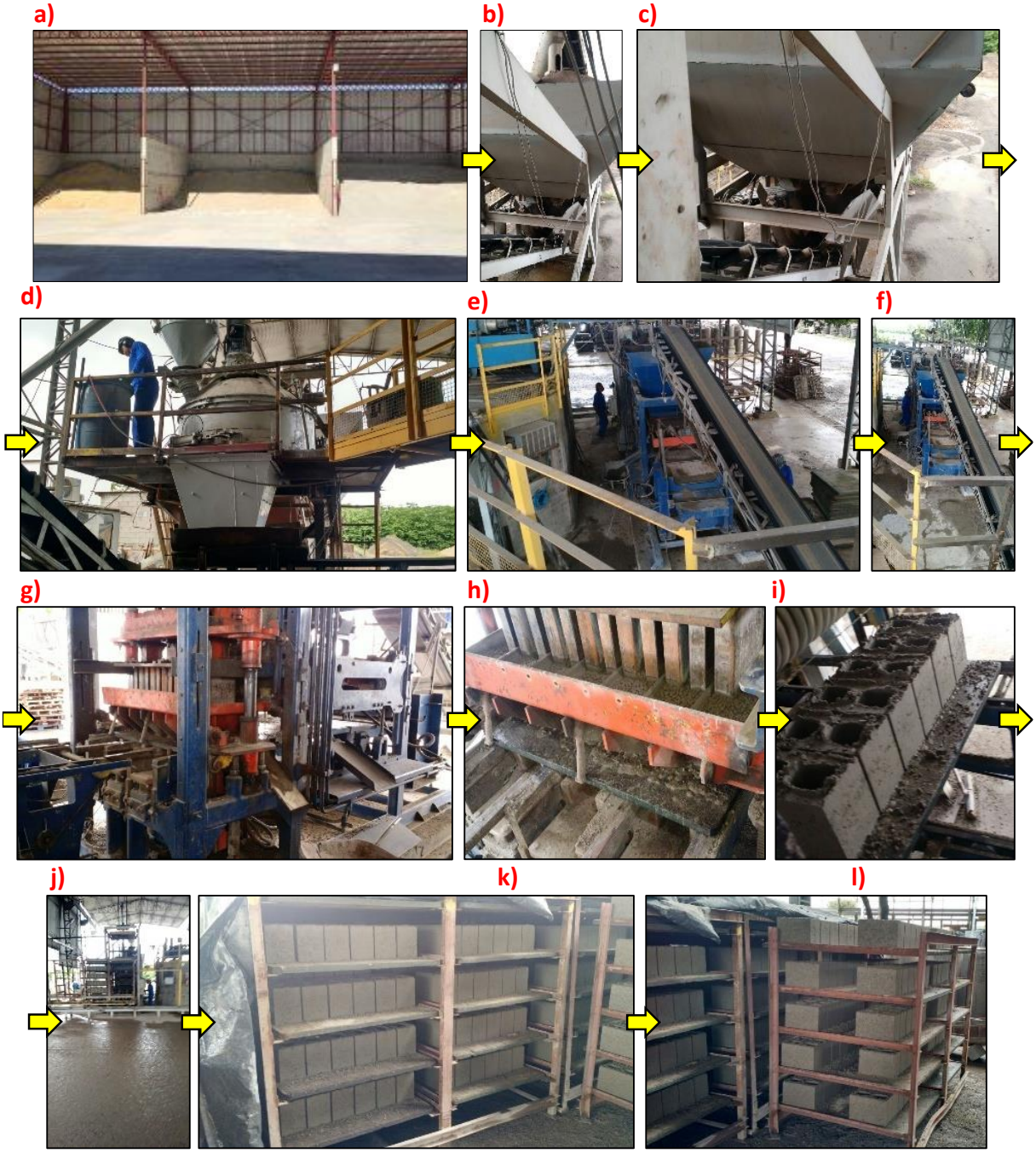
Capítulo 9. Este capitulo traz os anexos utilizados na pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de produção industrial de blocos de concreto estrutural

A alvenaria estrutural depende de componentes, dentre estes, situa-se os blocos, no caso deste trabalho, mais especificamente os blocos de concreto. Estes blocos são fabricados por um sistema mecanizado conhecido como vibroprensagem (**Figura 7**), trata-se de um sistema não muito complexo baseado em silos, esteiras, misturadores, fôrmas, prensa, sistema de vibração e sistema elevatório de retirada dos blocos. No entanto, além de requerer um capital inicial considerável, o mesmo traz alguns aspectos que podem ser analisados de modo a propor melhorias. Primeiramente, o sistema depende de inúmeras variáveis que devem ser controladas, tais como: frequência de vibração, força de compactação, diâmetro máximo do agregado, disposição do agregado na mistura, umidade ótima a ser considerada, acabamento superficial, e, manutenções do maquinário (em função dos ciclos de produção das fôrmas ou alguma outra eventualidade acarretada ao maquinário). Frente ao exposto, esta pesquisa buscou trazer uma visão alternativa na fabricação de blocos estruturais de concreto, empregando para isto o concreto fluido, com objetivo de analisar a resistência axial à compressão dos blocos e de prismas de dois blocos, as deformações dos prismas empregando três tipos de argamassa.

Figura 7. Processo mecanizado de produção de blocos de concreto estrutural – a) Baias de armazenamento de agregados; b) Silo para materiais; c) Descarregamento e transporte dos materiais na esteira do silo para o misturador; d) Misturador; e) f) Transporte/esteira; g) h) i) Compactação dos blocos; j) k) l) Armazenamento e cura dos blocos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

2.2 Características e particularidades do concreto fluido

O concreto fluido, apesar da maioria de suas características serem basicamente as mesmas do concreto comum convencional (CCV), o mesmo possui algumas particularidades as quais merecem serem destacadas e pormenorizadas com o objetivo de esclarecê-las. Dentre estas, podem ser citadas as relativas à: trabalhabilidade; fluidez; plasticidade; consistência; coesão; segregação; e, exsudação do concreto fluido.

2.2.1 Trabalhabilidade

Bauer (2013) afirmou que a trabalhabilidade é uma medida de desempenho mais subjetiva que física, que correlaciona características como consistência da mistura e o diâmetro máximo do agregado de acordo com a finalidade a qual se busca atingir, levando-se em consideração o tipo de obra em que se visa aplicar o concreto. Entre os parâmetros que podem influenciar na questão da trabalhabilidade estão a consistência, coesão, relação água cimento (a/c) e aplicação, a exemplo. Ainda, a trabalhabilidade do concreto, pode ser definida como a propriedade que requer o mínimo esforço de modo que seja possível manipular uma quantidade de concreto fresco com perda mínima de sua homogeneidade (ASTM C125, 2016).

2.2.2 Fluidez

O ACI (American Concrete Institute) afirma que fluidez está diretamente ligada ao conceito de trabalhabilidade e, é tida como a habilidade atribuída a determinado material de fluir (escoar), sem que no processo a mistura apresente alguma patologia, a exemplo: segregação. A capacidade fluidificante de determinada mistura é de igual forma afetada por condicionantes como: a predisposição dos grãos na mistura, conhecido como empacotamento granular; relação água/cimento adotada; relação de material fino presenta na mistura; aditivos a serem considerados, a exemplo.

2.2.3 Plasticidade

Como já é conhecida, a constituição do concreto em seu estado fresco se dá pela junção da pasta de cimento com os agregados graúdos e miúdos, sendo presente ainda vazios (espaços cheios de ar); neste cenário, os agregados se encontram envoltos pelos vazios e pela pasta de cimento. Dentro deste cenário a plasticidade torna-se um fator crucial para a mistura, no que tange sua trabalhabilidade, principalmente. A plasticidade é resultado das rupturas das ligações intermoleculares, as quais as deformações consecutivas são permanentes, não desaparecendo após o descarregamento sobre o material, sendo a plasticidade então relacionada as deformações permanentes sucedidas num determinado material, onde não há mais a existência de proporcionalidade ocorrida no regime elástico, não sendo mais válida a lei de Hooke (ISAIA *et al*, 2010). A plasticidade é também uma característica a qual o concreto possui de mudar a sua forma quando submetido a uma tensão atuante. O que determina uma mistura plástica é preponderantemente a sua capacidade de fluir sem que haja efeitos deletérios na mistura. Comumente, a relação água/cimento (a/c), o uso de aditivos e adições são de suma importância para a garantia da plasticidade na mistura.

2.2.4 Consistência

O ACI definiu que a consistência é a simples ação da mobilidade ou capacidade relativa com a qual a argamassa ou o concreto tende a escoar. O ASTM C125 (2016) denomina consistência como sendo a resistência de um material não newtoniano tender a deformação. Bauer (2013) afirmou que a consistência é dependente de duas outras propriedades, são elas: compacidade e mobilidade. A compacidade está relacionada à demanda de trabalho interno exigido para compactação completa do concreto fresco. Enquanto, a mobilidade depende do ângulo de atrito interno, da viscosidade e da coesão, sendo a propriedade inversamente proporcional a resistência interna à deformação, BAUER (2013).

2.2.5 Coesão

Coesão trata-se da resistência ao cisalhamento de determinado material granular, quando o mesmo não se encontra submetido a ação de compressão (BAUER, 2013). Mehta e Monteiro (2008) afirmaram ainda que a coesão se trata de uma medida da facilidade de adensamento e acabamento, onde, normalmente é avaliada pela habilidade de desempenamento e resistência à exsudação e à segregação analisada visualmente. Ainda, os autores relataram que quando uma mistura é julgada ineficiente quanto sua coesão, é possível melhorá-la, adotando mecanismos como: aumentar a relação agregado miúdo/agregado graúdo, ou ainda, substituir o cimento ou areia por cinzas volantes de forma parcial, ou até mesmo aumentar a relação pasta de cimento/agregado (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2.6 Segregação

A definição de segregação é dada pela desagregação ou divisão dos componentes que constituem uma mistura de concreto ainda no estado fresco, ocasionando uma desuniforme distribuição desses componentes na mistura, comumente presente em concretos com características secas de sua mistura (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Ou ainda, segregação pode ser definida como a separação inintencional dos constituintes do concreto ou partículas de um agregado, causando uma carência da uniformidade na sua distribuição (ASTM C125, 2016).

2.2.7 Exsudação

Mehta e Monteiro (2008) discorreram a respeito da exsudação da seguinte forma: trata-se de um tipo de segregação da mistura, a qual ocorre em misturas de concretos muito fluidos, onde os materiais componentes da mistura são incapazes de reter toda a água de amassamento; exsudação pode ser explicada como sendo o acontecimento advindo de uma ação externa na qual implica o aparecimento de água na superfície do concreto posterior ao seu processo de lançamento e adensamento, no entanto, antes que aconteça a pega do concreto.

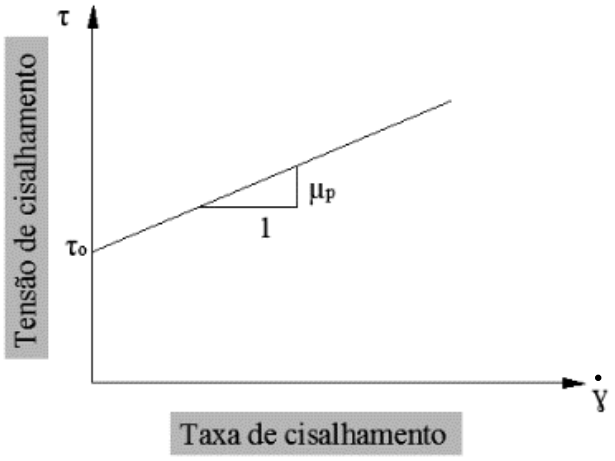
2.3 Característica de autoadensabilidade do concreto fluído

Ozawa (2000) através de características do modelo plástico Binghamiano relativo ao comportamento reológico do concreto fresco, demonstrou que, a característica de

autoadensabilidade do concreto é comandada pela sua capacidade de deformação e resistência à segregação. Esta representa estabilidade da mistura, sujeita a uma viscosidade plástica limitada (μ_p); aquela, ligada ao preenchimento (espalhamento) devido à ação de seu peso próprio, sujeita a uma tensão cortante limite (τ_0), a qual visa garantir uma fluidez inicial do concreto. A Figura 8 mostra uma relação da tensão de cisalhamento com a taxa de cisalhamento através do modelo de Bingham, que também é descrito na Equação (1)

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma} \qquad (1)$$

Figura 8 - Modelo de Bingham



Fonte: Gomes e Barros (2009)

2.4 Materiais que compõe o concreto fluido

Os materiais que compõem o concreto fluido seguem, praticamente, a mesma padronização do processo de fabricação do concreto convencional, considerando-se apenas algumas particularidades. Em comparação, o concreto convencional usa, em seu processo, água e cimento como aglomerantes, caracterizados como formadores de pasta. Esta resultante das interações químicas entre os dois componentes e os agregados possuem função de avolumar a mistura, com o objetivo de atenuar os custos do concreto. Estes estão sujeitos a uma maior disposição de atrito com a superfície a qual se encontra exposto e entre as próprias partículas granulares. Há, ainda, a possibilidade de ser inseridos na mistura um entre vários tipos de

aditivos; entretanto, é de conhecimento que o aditivo a ser utilizado dependerá da finalidade da aplicação do concreto. Em contrapartida, o concreto fluido é um concreto no qual é dotado de características como: auto-adensamento, provenientes do seu equacionamento granular, decorrente da grande quantidade de finos em sua mistura; alta relação água/cimento (a/c), o que proporciona uma maior fluidez ao mesmo; e, possíveis incorporações de aditivos e adições na sua composição. Contudo, a complexidade da manufatura do concreto fluido repousa em atender os seus anseios reológicos ainda no estado fresco, os quais se encontram dispostos entre limites críticos, como é o caso da segregação e exsudação.

2.4.1 Agregados

Agregados são materiais granulares de origem mineral ou não mineral, os quais, quando analisados segundo a sua utilização, podem ser aplicados em diversas finalidades, tais como: componentes em argamassas e concretos, drenos de lagoas de tratamento de esgoto (ETE), base para pavimentação, lastros para ferrovia, por exemplo.

A ABNT NBR 7211:2009 classifica os agregados de acordo com o tamanho de seus grãos, agrupando-os em agregados miúdos e agregados graúdos. Em conformidade com a norma:

Agregados miúdos:

> Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 2, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ANBT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT NBR 7211, 2009, p.3).

Agregados graúdos:

> Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 6, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ANBT NBR NM ISO 3310-1 (ABNT NBR 7211, 2009, p.3).

Dimensão máxima característica:

> Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. (ABNT NBR 7211:2009).

Módulo de finura

> Trata-se da soma das percentagens retidas acumuladas em massa de agregado nas peneiras da série normal dividida por 100 (ABNT NBR 7211:2009).

A classificação dos agregados miúdos e graúdos de acordo como o regulamentado pela NBR 7211 (ABNT,2009) está contido no ANEXOS

ANEXO A e no ANEXO B.

Weidmann (2008) relatou que há a classificação dos agregados conforme a sua origem, porém de forma não consensual, quando levados em conta esse tipo de classificação. Conforme sua origem os agregados podem ser classificados da seguinte forma:

- Areia natural

  Trata-se de material de origem natural, proveniente da exploração, geralmente, através da retirada do mesmo de leito de rio. Este material, a priori, não apresentando a fragmentação dos grãos devido ao processo de cominuição dos mesmos;

- Areia de britagem

  Material proveniente do processo de britagem de maciços rochosos, sendo esse material um resultado do processamento do pó-de-pedra a partir do peneiramento, lavagem e rebritagem; e,

- Pó de pedra

Material originário do processamento de maciços rochosos, por processo de britagem, que exposto ao peneiramento, seus grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm.

2.4.2 Aglomerantes

Conforme descrito pela ASTM C125 (2016), aglomerante hidráulico trata-se de um material inorgânico ou uma mistura de materiais inorgânicos que define e desenvolve força através de reação química com a água, ainda, é capaz de fazê-la sob a água. A NBR 11172 (ABNT, 1990) reforça, afirmando que aglomerante é o produto com componentes minerais, apresentado em forma pulverulenta que, em presença com água gera uma pasta com características aglutinantes; podendo, ainda, tratar-se de uma aglomerante hidráulico que, tem por característica o endurecimento da pasta produzida em contato com a água, onde tal processo se dá pela reação química do aglomerante com a água.

2.4.3 Cimento

Material ligante, quando em contato com a água resulta em interações químicas as quais o fornece característica aglomerante, implicando assim na capacidade de endurecimento, utilizados em misturas, tornando-as monolíticas quando da perda de água por processo de hidratação. HELENE (1993), afirmou a importância de alguns parâmetros inerentes ao cimento, tais como: finura; perda ao fogo e resíduo insolúvel; e, resistência à compressão para 3, 7, 28 e 91 dias.

a) Finura

É um fator que governa a velocidade da reação de hidratação, o aumento da finura melhora a resistência, particularmente a das primeiras idades, diminui a exsudação e outros tipos de segregação, aumenta a impermeabilidade, a trabalhabilidade e a coesão dos concretos. Em contrapartida, ocorre liberação de maior quantidade de calor e uma retração maior, sendo os concretos mais sensíveis ao fissuramento. É avaliada pela NBR 5732.

b) Perda ao fogo e resíduo insolúvel

Fornece indicações sobre até que ponto ocorreu a carbonatação e hidratação devido à exposição do cimento ao ar, ou seja, o envelhecimento do cimento. Permite também detectar a adição de sustâncias estranhas, inerte, que sejam insolúveis no ácido clorídrico. Avaliada pelas NBR NM 18 e NBR NM 15.

c) Resistência à compressão (3, 7, 28 e 91 dias)

Através desta verificação é possível conhecer previamente o comportamento mecânico do cimento. Verificada pela NBR 5739 (HELENE, 1993).

2.4.4 Aditivos

Aditivo, trata-se de material utilizado junto à composição do concreto, por meio de incorporações, onde, são essas incorporações realizadas no instante em que o concreto se encontra em pleno processo de homogeneização na betoneira; o emprego de aditivo na matriz do concreto tem por finalidade atingir uma melhoria em determinadas características do mesmo (BAUER 2013).

Mehta e Monteiro (2008) afirmaram que os aditivos são materiais importantes na melhoria da trabalhabilidade esperada do concreto, como também, os mesmos podem operar como: atuadores do retardamento ou aceleramento do tempo de pega, controladores do desenvolvimento da resistência, intensificadores da resistência quando sujeito a ações de ataque por sulfatos, congelamento, fissuração térmica, corrosão a armadura e expansão álcali-agregado (ASR).

Com o desenvolvimento das pesquisas e, consequentemente, o avanço das tecnologias em melhorias do processo tecnológico do concreto, houve um aumento na cadeia de produção de aditivos destinados para tal fim. Logo, há uma variedade de aditivos disponíveis no mercado. No entanto, para este trabalho foi explorado apenas dois destes, entre tantos que existem, são eles: os aditivos superplastificantes (AS) e os aceleradores de pega (AAP).

Podendo ser chamados de aditivos redutores de água, os superplastificantes, são tensoativos os quais possui uma alta eficiência no que condiz a redução de água de amassamento, da ordem de três a quatro vezes, o que influencia e muito na resistência final do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os aditivos aceleradores de pega (AAP) têm por característica diminuir o tempo de transição do estado plástico para o estado endurecido, quando incorporado ao concreto ainda na fase de homogeneização, ocasionando uma evolução rápida das resistências iniciais do concreto (ABNT, 2011).

2.5 Alvenaria Estrutural

Alvenaria trata-se do elemento construtivo constituído pela justaposição organizada de pedras ou outros materiais de origem natural ou artificial, unidos de maneira estável, com o auxílio ou não de juntas de argamassa, dispostas horizontalmente, repetindo-se à medida que se avança no processo construtivo, estabelecendo assim um elemento vertical coeso (CAMACHO, 2011; TAUIL; NESSE, 2010).

A alvenaria estrutural é designada como sendo um conjunto estrutural com característica autoportante, de acordo com muitos pesquisadores, entre eles pode-se citar: Parsekian, Hamid e Drysdale (2014); Ramalho e Corrêa (2003); e Mohamad (1998). A alvenaria pode ainda ser distinta em alvenaria armada e não armada, sendo alvenaria armada aquela que recebe reforço de barras de aço e concreto (graute) na sua constituição, caracterizando concreto armado, visando resistir aos esforços de tração além dos esforços de compressão já resistidos pela própria alvenaria; e, alvenaria não armada não recebe o reforço das barras de aço e concreto (graute), mas tendem a resistir aos esforços apenas por suas paredes, elemento constituído por blocos e argamassa justamente amarrados. Assim, torna-se relevante enumerar algumas das vantagens, como também algumas das desvantagens do sistema alvenaria estrutural, de maneira que, pode-se observar na **Tabela 1**.

.

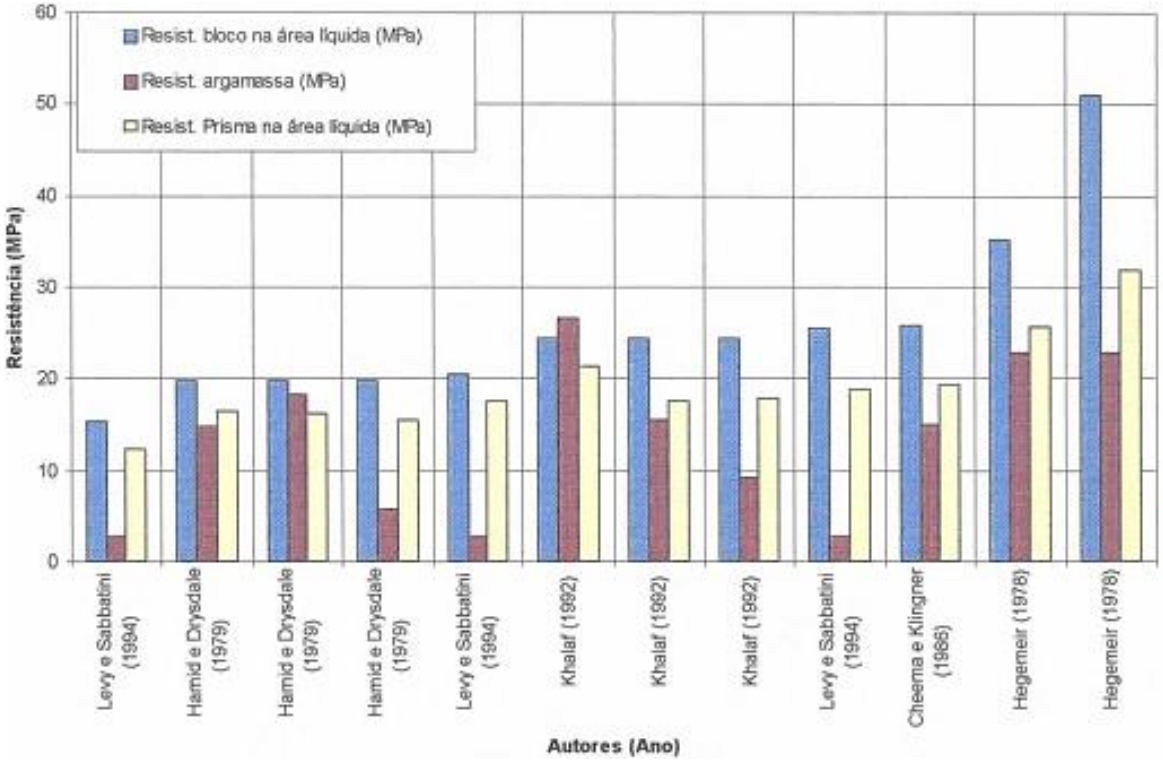
Tabela 1. Vantagens e desvantagens da alvenaria estrutural

Vantagens	Desvantagens
Redução no uso de fôrmas.	Pouca maleabilidade condizente ao modelo arquitetônico a ser adotado.
Economia com revestimentos.	Conflitos entre projetos arquitetônico, instalações elétricas e hidráulicas, estruturas, por exemplo.
Menos especialistas envolvidos no processo, tais como: armadores e carpinteiros, por exemplo.	A fase de pré-projeto deve ser muito bem pensada e discutida, principalmente, com os vários profissionais envolvidos, como: arquitetos, engenheiros, a exemplo.
Pouco desperdício com materiais.	Uma mão de obra capacitada e hábil.
Menor oneração com mão de obra	
Obra mais limpa.	
Maior velocidade no tempo de obra.	

Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

Mohamad (1998), em seu trabalho, traz um levantamento de estudos realizados por pesquisadores, os quais como o passar dos anos buscaram incessantemente prever através de ensaios e analiticamente o comportamento da alvenaria, partindo do pressuposto que se trata de um problema complexo, uma vez que a alvenaria é constituída por materiais heterogêneos, conforme indicado pelo mesmo autor. A Figura 9, apresenta o levantamento feito pelo autor.

Figura 9. Resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas



Fonte: Mohamad (1998)

2.5.1 Bloco Estrutural

Ramalho e Corrêa (2003) caracterizam componente e elemento, sendo componente uma parte que compõe os elementos propriamente ditos, podendo ser citados como componente: blocos ou unidades, argamassa, armadura e graute. Elementos, no que lhe diz respeito, são partes da estrutura resultante da ação conjunta de pelo menos dois componentes, a exemplo: pilares, vigas e paredes.

Entre os componentes constituintes da estrutura alvenaria, os blocos possuem o papel preponderante na determinação dos limites de resistência da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Os blocos podem ser de materiais, os comumente utilizados, como: concreto, cerâmica ou sílico-calcáreo; podendo ainda, assumir formas maciças ou vazadas. Ainda, a NBR 6136 (ABNT, 2016), como apresentado na Tabela 2, classifica os blocos em estruturais e de vedação. Todavia, neste trabalho serão apenas tratados blocos classificados como estruturais. A norma identifica os blocos estruturais de concreto segundo seu limite de resistência à compressão, levando em conta a área bruta do bloco.

Tabela 2. Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração de blocos

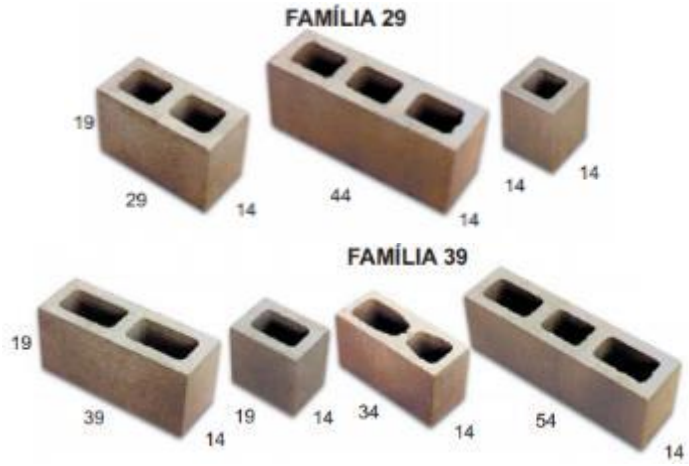
Classificação	Classe	Resistência característica à compressão axial (MPa) [a]	Absorção (%)				Retração [d] (%)
			Agregado normal [b]		Agregado leve [c]		
			Individual	Média	Individual	Média	
Com função estrutural	A	$f_{bk} \geq 8{,}0$	$\leq 8{,}0$	$\leq 6{,}0$	$\leq 16{,}0$	$\leq 13{,}0$	$\leq 0{,}065$
	B	$4{,}0 \leq f_{bk} < 8{,}0$	$\leq 10{,}0$	$\leq 8{,}0$			
Com ou sem função estrutural	C	$f_{bk} \geq 3{,}0$	$\leq 12{,}0$	$\leq 10{,}0$			

a Resistência característica à compressão axial obtida aos 28 dias.
b Blocos fabricados com agregado normal. (ver definição na ABNT NBR 9935).
c Blocos fabricados com agregado Leve. (ver definição na ABNT NBR 9935).
d Ensaio facultativo.

Fonte: Adaptado da ABNT (2016).

Os blocos estruturais são ainda classificados por famílias de acordo com a NBR 6136:2016, duas destas famílias de blocos mais usuais são as famílias 29 (29 X 19 X 14 cm³) e 39 (39 X 19 X 14 cm³), como apresentado na **Figura 10**. Há ainda blocos especiais, tais como: canaletas e compensadores de modulação.

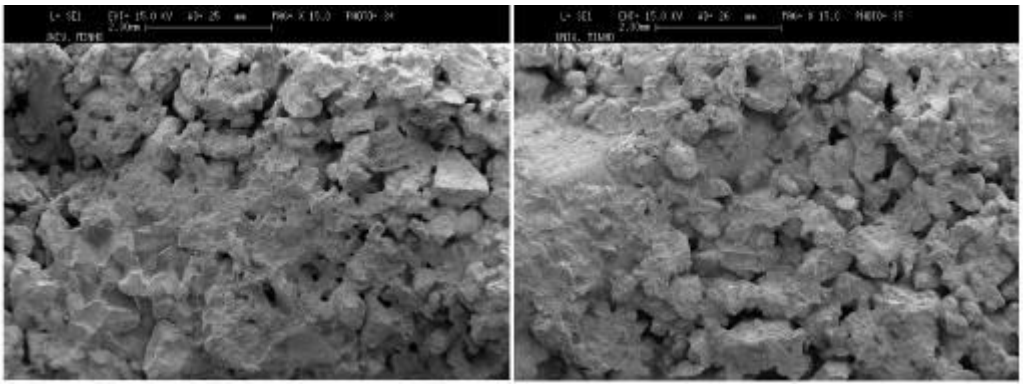
Figura 10. Famílias de blocos 29 e 39



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os blocos usuais fabricados, também conhecidos como blocos fabricados à seco, são produtos da compactação de uma mistura seca, também conhecido como concreto “farofa”, onde a mistura é composta por agregados e aglomerante, sendo os agregados em grande medida areia média e brita zero (pedrisco) e, cimento como aglomerante, normalmente, este cimento é de pega rápida, isto é, de alta resistência inicial (ARI). A Figura 11 traz em detalhes como se dá a constituição de blocos de concreto compactado à seco.

Figura 11. Estrutura do bloco de concreto aumentada em 15 vezes



Fonte: Mohamad et al (2011).

Sendo a resistência à compressão um dos parâmetros mais importantes da alvenaria, diversos autores estudaram a resistência à compressão de blocos de alvenaria. Zhu *et al* (2017), realizaram ensaios à compressão axial para blocos vibro prensados com dimensões de 390 X 190 X 140 mm³ (Comprimento X altura X largura), estes obtiveram resultados para as resistências médias à compressão de 25.73 MPa, aos 28 dias, com coeficiente de variação (COV) de 7.57%.

Mohamad *et al* (2017) em estudo sobre a resistência de blocos vazados, com as mesmas dimensões utilizadas por Zhu *et al* (2017) alcançaram resistências médias à compressão de 23.10 MPa e COV de 7.7%.

Barbosa *et al* (2010), modificaram a composição da mistura do concreto e obtiveram resultados de resistência à compressão para blocos vazados. Os autores também usaram as mesmas dimensões utilizadas por Zhu *et al* (2017) e Mohamad *et al* (2017) e alcançaram a resistência média à compressão de 13.7 MPa e COV 2.9% para mistura 1:6.4; 11.2 MPa e COV de 4.4% para mistura 1:6.4; 15.0 MPa e COV de 2.3% para mistura 1:6.0; 21.8 MPa e COV de 2.4% para mistura 1:4.7. Sendo que nas misturas iguais os autores variaram a relação água cimento.

2.5.2 Argamassa de assentamento

As atribuições inerentes às argamassas de assentamento consistem em associar, de forma a solidarizar os blocos, acarretando uma transferência e uniformização das tensões atuantes sobre a estrutura para a seção do bloco. Caracterizando-se além disso, pela capacidade de absorção de pequena parcela da deformação da estrutura sujeita aos esforços atuantes. Ainda, a argamassa de assentamento tem como função vedar contra a água e vento (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Mohamed (1998), afirmou sobre a importância da distribuição das tensões, torna-se fator preponderante para ponderar o comportamento da alvenaria, tendo por base a curva procedente da relação tensão x deformação da argamassa. A NBR 15961:2 (ABNT, 2011), juntamente com a NBR 13279 (ABNT, 2005), traz os requisitos e os ensaios necessários para a caracterização e verificação da argamassa de assentamento empregada na alvenaria.

O desempenho da alvenaria, no contexto que envolve sua estabilidade, depende da amplificação da ação da aderência proveniente da utilização de argamassas de assentamento e, da resistência dessas argamassas (COSTA, 1980).

2.5.3 Argamassa mista convencional

A argamassa mista surgiu da junção da argamassa à base de cal e a argamassa à base de cimento Portland, uma vez que ambas quando trabalhadas separadamente demonstravam um desempenho inferior quando combinadas, de fato, é evidente que essa junção veio a suprir uma necessidade técnica do uso e aplicabilidade isolados desses materiais (SILVA, 2007). A argamassa mista convencional trata-se da mistura e dosagem de agregado (s) miúdo (s), juntamente com aglomerante (s) inorgânico (s) e água, de forma homogênea; podendo ser industrializadas ou fabricadas *in loco*, onde, há a possibilidade de receber ou não algum tipo de aditivo, visando melhorar propriedades como aderência e endurecimento (ABNT, 2005).

Nas misturas de argamassas mistas, um dos materiais constituintes trata-se da cal, tida como um material importante à mistura, uma vez que a mesma possui uma boa retenção de água, uma de suas características mais importantes, por se tratar de um plastificante natural. O aumento da incorporação de cal na mistura traz uma proporção inversa quando se leva em consideração a retenção de água (ligada à plasticidade) e resistência a tração de aderência da mistura, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Comportamento das argamassas segundo a adição variável de cal

Tipo de Argamassa	Traço (Cimento : Cal : Areia)	Retenção de água	Resistência à tração de aderência	Extensão de aderência
M	1:0,25:3	Baixa	Elevada	Muito baixa
N	1:1:6	Elevada	Moderada	Elevada
O	1:2:9	Muito elevada	Baixa	Muito elevada

Fonte: Adaptada de Costa (1980)

2.5.4 Argamassa polimérica

O composto polimérico, ou argamassa polimérica, foi incialmente concebido nos Estados Unidos por volta dos anos de 1960 (WAGNER, 1973). Oliveira (2004) afirmou que no Brasil, o surgimento da argamassa, deu-se em 1971, sendo necessário apenas a adição de água à mistura pré-pronta. Define-se argamassa polimérica ou composto polimérico não cimentício, como sendo uma mistura industrializada e homogênea constituída de agregado (s) miúdo (s); água; carga mineral e blenda de resinas poliméricas, ABNT (2017). Ainda, argamassa polimérica pode ser descrita como sendo um compósito, onde junto à matriz, mediante a aglutinação por meio de polímeros, faz com que os agregados finos se unam, sem que haja utilização de cimento (REIS; MENEZES, 2017). Embora, para uma argamassa incialmente modificada com polímeros, a mesma possui uma co-matriz monolítica onde sua matriz orgânica a base de polímero e gel de cimento são homogeneizadas, (OHAMA, 1996).

Recentemente, houve a padronização e reconhecimento da manufatura e uso de compostos poliméricos de acordo com ABNT NBR 16590. Todavia, não sendo informado o estabelecimento de requisitos para o uso ou fabricação de compostos poliméricos, (ABNT 2017).

Tendo em vista a ampla utilização da argamassa polimérica no setor da construção civil, a mesma ainda não é direcionada para o assentamento de elementos com função estrutural. Seu emprego está diretamente associado à alvenaria de vedação, garantindo o assentamento de elementos tais como: blocos de concreto, blocos e tijolos cerâmicos, blocos sílico-calcário, peças de concreto celular, assim como elementos pré-moldados e tijolos de solo-cimento, e, mais recentemente, em revestimentos como pisos, pastilhas e azulejos.

A utilização da argamassa polimérica pode implicar em vantagens tais como: rapidez na execução do serviço, redução no gasto orçamentário, menor peso estrutural, redução na criação de resíduos, uma maior padronização na argamassa utilizada em toda obra, e, uma maior padronização na execução do serviço. Por outro lado, sua maior desvantagem está na utilização, uma vez que há impossibilidades como: a utilização em elementos designados para fins estruturais; e, mesmo em elementos sem fins estruturais, onde as imperfeições provenientes do processo fabril destes geram impossibilidade do preenchimento das juntas, criadas da união destes elementos imperfeitos.

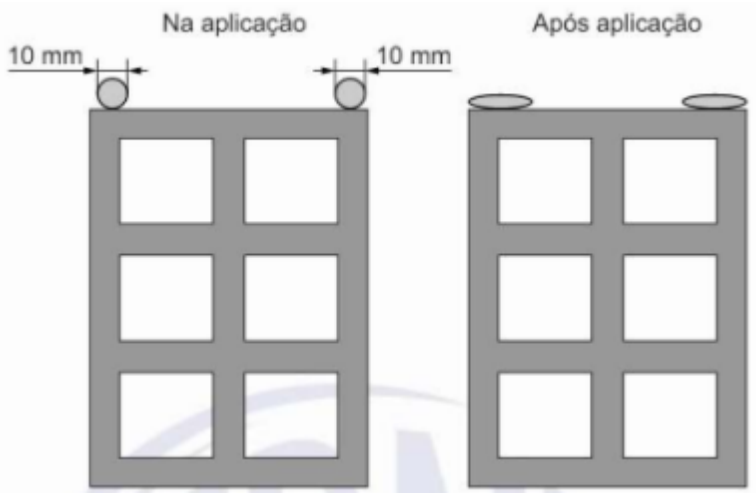
A NBR 16590:1 (ABNT, 2017) trata exclusivamente de assentamentos realizados em sistemas verticais de vedação internos e externos (SVVIE) sem função estrutural, excluindo-se argamassas de revestimentos e SVVIE com função estrutural. Ainda, tratando-se do material empregado em si, há exigências as quais devem sem observadas e seguidas de acordo a atual norma de desempenho, no caso a ABNT NBR 15575-4.

No processo de assentamento em SVVIE, sem função estrutural, devem-se seguir as condições descritas em conformidade com NBR 16590-1, as quais:

a. Garantir o mínimo de irregularidades entre a interface piso e alvenaria já na primeira fiada, e, devendo a primeira fiada ser assentada com argamassa convencional;
b. O composto polimérico deve ser assentado com no mínimo dois cordões horizontais, possuindo espessura anterior ao assentamento de 10 ± 2 mm, conforme a Figura 12;
c. Não há obrigatoriedade do preenchimento das juntas verticais, sendo facultativa a sua realização; e,
d. A utilização de composto polimérico pode ser realizada ainda em etapas de encunhamento, desde que informada pelo fabricante e comprovada sua eficiência.

Após o assentamento as juntas horizontais deverão apresentar espessura entre 1 a 6 milímetros, conforme a Figura 12. E, as juntas verticais, preenchidas ou não, espessuras de até 10 milímetros.

Figura 12. Aplicação do composto polimérico



Fonte: ABNT (2017).

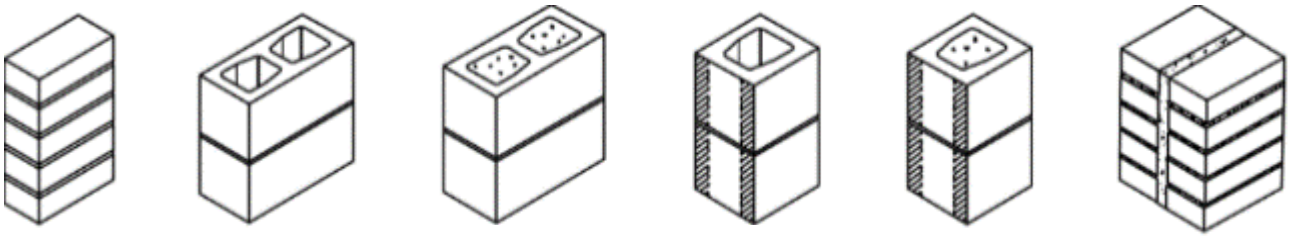
2.5.5 Prisma

Como já mencionado, o conjunto de componentes ligados entre si, resultando em elementos, estes por sua vez, quando em maior quantidade, constitui o que se denomina como alvenaria. Esta pode ser de aplicação estrutural ou simplesmente para vedação. Assim, devem-se conhecer minuciosamente as características físico-mecânicas dos materiais empregados para constituição da alvenaria. Especificamente, condições como tempo e custo em fase de projeto e obra devem ser levadas em consideração, visando a não possibilidade da baixa na qualidade do material, componentes, elementos, e da alvenaria. Deve-se proceder com ensaios simples e econômicos, com o objetivo de testar propriedades inerentes aos mesmos. Dessa maneira, é usual examinar a resistência à compressão da alvenaria mediante os ensaios de compressão de prismas de dois blocos (PARSEKIAN; HAMID; DRYSDALE, 2014).

Os elementos denominados prismas são configurados pela sobreposição de dois ou mais blocos, sendo mais comuns prismas de dois e três blocos, estes unidos mediante a utilização de argamassa de assentamento, os prismas são destinados ao ensaio de compressão axial (RAMALHO; CORRÊA, 2003). A Figura 13 traz detalhes da constituição de prismas.

Através dos ensaios de prisma é possível obter a resistência característica à compressão do prisma, ou apenas f_{pk} . A NBR 15961-2 (ABNT, 2011) traz as recomendações para execução do ensaio e, a Figura 14 ilustra a disposição do elemento para realização do ensaio.

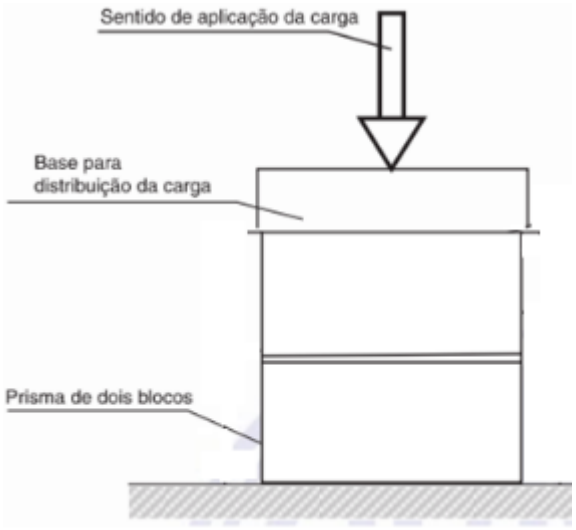
Figura 13. Construção de prisma de alvenaria



Prisma de bloco (tijolo) maciço | Prisma de bloco com seção vazada | Prisma de bloco com seção vazada grauteado | Prisma de ½ bloco com seção vazada | Prisma de ½ bloco com seção vazada grauteado | Prismas de blocos maciços combinados e grauteados

Fonte: Adaptado (ASTM C1314)

Figura 14. Esquema para o ensaio de determinação da resistência do prisma (fp).



Fonte: Adaptado da ABNT (2011)

De acordo com NBR 15961-2 (ABNT, 2011) a estimativa da resistência característica da alvenaria, tendo como fundamento o elemento prisma, deve ser embasada na equação apresentada no ANEXO C.

A parede de alvenaria é o elemento que mostra o comportamento da estrutura de alvenaria mais próximo do real, entretanto, devido ao alto custo de seu ensaio normalmente a literatura indica o ensaio de prismas para obter resultados de resistências mais próximos do real. Por isso, diversos autores apresentam resultados de resistência à compressão dos prismas.

Zhu *et al* (2017) realizaram ensaios, variando as combinações de blocos 390 X 190 X 140 mm³ e 190 X 190 X 140 mm³ (comprimento X altura X largura) e argamassas na constituição da alvenaria, obtiveram resultados para as resistências médias à compressão axial para prismas de 8.63 e COV de 11%; 13.97 e COV de 8%; 14.17 e COV de 7%; 19.71 e COV de 11%.

Mohamad *et al* (2017) para três combinações diferentes de prismas, variando a argamassa de assentamento, atingiram resistências médias à compressão de 14.9 MPa e COV de 6.10% para argamassa com 1:0.25:3; 14.3 MPa e COV de 13.30% para argamassa com 1:0.5:4.5; 13.9 MPa e COV de 10.21 para argamassa com 1:1:6.

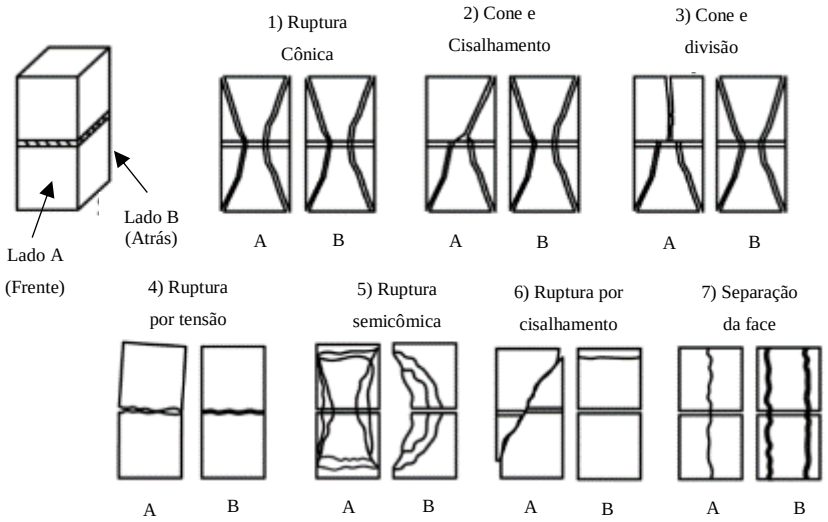
Barbosa *et al* (2010), modificaram a composição da mistura do concreto e, atingiram resultados para prismas relativos à resistência média à compressão de 10.2 e COV de 1.9% para

mistura 1:6.4; 10.0 MPa e COV de 3.7% para mistura 1:6.4; 12.0 MPa e COV de 4.8% para mistura 1:6.0; 16.9 MPa e COV de 3.9% para mistura 1:4.7. Sendo que nas misturas com mesmo consumo de cimento os autores variaram a relação água cimento.

2.5.6 Padrões de ruptura dos prismas

Para se entender o comportamento do elemento, em particular o prisma de dois blocos, é necessário, a análise conjunta de seus componentes. Neste caso, entender sobre a o surgimento e propagação das fissuras, assim como a ruptura dos prismas, torna-se preponderante no estudo da alvenaria estrutural, como também é de suma importância em outros sistemas construtivos. A ASTM C1314 (2016) estabelece padrões de rupturas dos prismas, tais como: troncos de cone e separação (**Figura 15**).

Figura 15. Esquema dos modos de falha



Fonte: Adaptado (ASTM C1314)

2.5.7 Ações

Ramalho e Corrêa (2003, p. 26) afirmaram que a particularidade e a finalidade da edificação, são as condicionantes que determinam as ações a serem estimadas para o seu sistema estrutural.

O sistema estrutural, constituído por elementos estruturais (prismas e/ou paredes) e pelos componentes que os formam (blocos e argamassa), quando analisado, estará sujeito a forças ou ações, também denominados esforços. Estes, muitas das vezes, são provenientes das ações investidas sobre as lajes, assim como o peso próprio do elemento estrutural, componente do sistema. Por conseguinte, os elementos estruturais por fazerem parte do sistema estrutural, tornam-se fatores cruciais a serem analisados e entendidos. De igual modo, isso vale para os componentes, que por sua vez, constituem o elemento estrutural e, que por fim constituí o sistema estrutural.

Não obstante, os componentes quando analisados e compreendidos, de maneira única e exclusiva, não trazem um diagnóstico real do que acontece no sistema estrutural como um todo. Logo, é de grande importância a seguinte observação: a investigação do comportamento proveniente da interação blocos e argamassa solidarizados, isto é, as paredes oferecem um diagnóstico mais preciso do real cenário originário das ações atuantes sobre o contexto do sistema estrutural. Partindo desse pressuposto, as ações atuantes se dão por carregamentos verticais e horizontais. Porém, este trabalho trata apenas dos carregamentos oriundos das ações verticais.

2.5.8 Ações verticais

As ações verticais são provenientes de esforços ou sobrecargas atuantes no plano vertical. Ainda, a determinação das ações, são produtos do que se espera da estrutura, isto é, qual a real utilização da estrutura, contudo, em uma estrutura de alvenaria, as ações verticais podem ser oriundas das citadas a seguir:

- As ações atuantes sobre as lajes, advindas do seu peso próprio, contrapiso, revestimentos e paredes não estruturais, a exemplo;
- Peso próprio das paredes, como apresentado na equação 2;

$$p = \gamma . \mathrm{e} . \mathrm{h} \qquad \textbf{(2)}$$

Onde:

p: Peso da alvenaria (por unidade de comprimento);

γ: Peso específico da alvenaria;

e: Espessura da parede (bloco + revestimento); e,

h: Altura da parede;

As ações verticais geram tensões de compressão, e as ações horizontais, tensões de tração na estrutura. No entanto, apesar das estruturas de alvenaria possuir ambas, geralmente, as mais comuns se tratam das tensões de compressão, devido ao esforço de compressão. A **Tabela 4** traz informações condizentes aos pesos específicos mais usuais em estruturas de alvenaria, que por sua vez, influenciam nas ações verticais.

Tabela 4. Principais pesos específicos da alvenaria

Tipo de alvenaria	Peso específico kN/m³
Blocos vazados de concreto	14
Blocos vazados de concreto preenchidos por graute	24
Blocos cerâmicos	12

Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

2.5.9 Resistência à compressão

Albertini (2009), afirmou que a resistência à compressão da argamassa não é fator principal, isto é, não é a característica a qual se busca mais no conjunto, porém, que se deve dedicar uma atenção particular para que esta propriedade mecânica não influencie no desempenho do conjunto estrutural alvenaria.

Outros autores como Ramalho e Corrêa (2003), Gomes (1983), Mohamad (1998), comentam sobre a influência das argamassas na alvenaria, tais como:

- a resistência da argamassa abaixo de 30% ou 40% da resistência do bloco, influencia desfavoravelmente o comportamento da alvenaria;

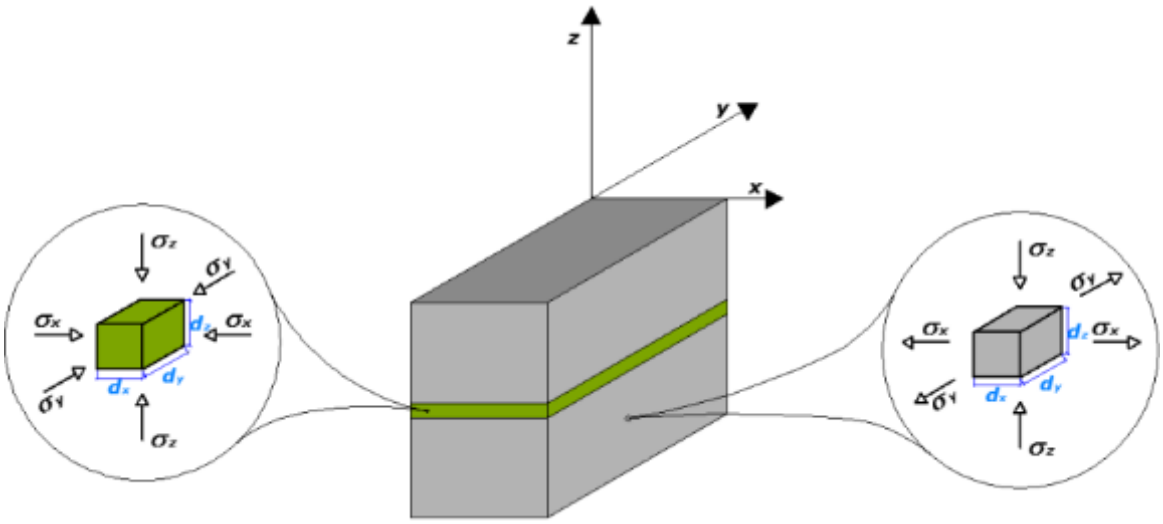
- o fator de confinamento é um dos aspectos mais importantes no conjunto alvenaria;
- quando a argamassa apresenta alta rigidez, o que é o caso de argamassas que apresentam resistências superiores aos dos blocos, o que deve ser evitado, ocasiona à alvenaria quando sujeita à compressão simples, rupturas repentinas; e,
- quando acontece o esfacelamento das argamassas, característicos de rupturas com comportamentos mais "dúcteis", o sentido da ruptura parte da junta de argamassa propagando-se para o bloco, tal comportamento é explicável sabendo que a resistência da argamassa é inferior à do bloco e, não se encontra bem equacionada – para o caso de rupturas com comportamentos frágeis, a alvenaria sofre a ruptura (bloco-argamassa), praticamente, ao mesmo tempo em ambos os componentes do elemento, este comportamento é ocasionado quando há uma boa equalização da resistência da argamassa com a resistência do bloco, isto é, elas se equiparam.

Albertini (2009), reafirmou o que foi elaborado por Hilsdorf[1] e Francis *et al*[2]. *apud* Ramalho e Correa (2003), que a argamassa busca uma expansão lateral maior que a ocorrida aos blocos, quando há um esforço de compressão sobre a alvenaria. Entretanto, a expansão lateral da argamassa é impedida devido a ligação mecânica bloco-argamassa, criando tensões de tração nos blocos e compressão na argamassa, resultando em dois estados distintos de tensões: o primeiro, um estado biaxial de tensões observados no bloco – o segundo, um estado triaxial de tensões observados na argamassa (Figura 16).

[1] HILSDORF, H. K. (1969) Investigation info failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression.

[2] FRANCIS, A. J.; HORMAN, C. B.; JEREMS, L. E. (1971) The effect of joint thickness and other factors on the compressive strength of brickwork.

Figura 16. Estado de tensão na alvenaria



Fonte: Albertini (2009).

De acordo com a NBR 15961-1, em se tratando de compressão simples, a determinação da resistência característica da alvenaria (f_k) deve ser embasada no ensaio de paredes ou, podendo ainda, ser estimada em 85% da resistência característica de compressão simples proveniente do ensaio de pequena parede (f_{ppk}), ou ainda, em 70% da resistência característica de compressão simples de prisma (f_{pk}). Sendo que as resistências características de prismas ou paredes devem seguir os requisitos estabelecidos pela NBR 15961-2.

Garcia (2000), afirma que alguns fatores bastantes importantes podem ser mensurados através dos ensaios de alvenaria, são as eficiências (η) proveniente das relações das resistências à compressão simples: da alvenaria ou parede ($f_k \; ou \; f_{par}$) com os blocos (f_b); da alvenaria (f_k) com os pequenas paredes (f_{pp}); da alvenaria (f_k) com os prismas (f_p); dos prismas (f_p) com os blocos (f_b); como mostrado nas equações.

$$\eta = \frac{f_{par}}{f_b} = \frac{f_k}{f_b} \quad \textbf{(3)}$$

$$\eta = \frac{f_k}{f_{pp}} \quad \textbf{(4)}$$

$$\eta = \frac{f_k}{f_p} \quad \textbf{(5)}$$

$$\eta = \frac{f_p}{f_b} \quad \textbf{(6)}$$

Ramalho e Correa (2003), em seu livro, trazem valores da eficiência parede-bloco (alvenaria-bloco) considerados comuns no brasil, considerando paredes executadas com blocos vazados de concreto. Enquadrando como valor mínimo 0,40 e valor máximo 0,60. Já para o caso da eficiência prisma-bloco, os autores relataram que para pratica corrente no brasil, estes valores para os blocos de concreto situam-se entre 0,50 e 0,90. O valor para a relação parede-prisma (alvenaria-prisma), novamente, considerando bloco de concreto, este valor é 0,70 em média.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

São apresentados neste capítulo um questionário obtido através de uma visita em um fábrica de blocos de concreto estrutural, os materiais utilizados e aplicados para: a confecção do concreto fluido, as formas, os blocos estruturais e os ensaios realizados na pesquisa. Ainda, estão contidas neste capítulo as informações inerentes à metodologia aplicada para: a fabricação do concreto fluido, as formas, os blocos estruturais e os ensaios realizados.

3.1 Sistema de produção industrial de blocos de concreto estrutural

De início, para ajudar na pesquisa foi realizada uma visita técnica na fábrica de blocos da COPEL ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. onde, pode-se acompanhar a produção dos blocos estruturais de concreto e, realizar alguns questionamentos quanto a produção e suas complicações. Assim, o quadro a seguir traz um questionário realizado para levantamento de algumas informações.

Quadro 1. Questionário de visita técnica em fábrica de blocos de concreto

Nome da empresa: COPEL ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.
Localização: Rod. Marechal Rondon, KM 540 – ARAÇATUBA-SP
1) ***Qual a quantidade diária na fabricação dos blocos de concreto?***
R.: Em média 1000 chapas por dia, ou seja, 6000 blocos diários.
2) ***Quais as preocupações que devem ser tomadas no processo de fabricação, desde a escolha dos agregados, a situação dos agregados quanto à umidade, até a fabricação dos blocos propriamente ditos?***
R.: Algumas observações devem ser feitas com relação ao tempo de vibração, o tempo é padrão para todos os blocos, o que pode influenciar um pouco na disposição dos agregados na mistura, mas não vem a ocasionar uma mudança muito drástica, o que não ocorreria caso fosse alterado o tempo de vibração em função de cada bloco, o que com toda a certeza alteraria a eficiência da produção e, o que muito provável não seria muito agradável; de igual forma, acontece o mesmo para a frequência de vibração; quanto aos agregados, deve-se ater-se muito para a sua umidade, proveniente em partes do armazenamento; para a mistura a umidade ótima é de extrema importância, quando pré-estabelecida a mesma deve ser seguida à linha, o que pode ser realizado através de um sensor localizado no misturador como é o caso; outra importância

que se deve levar em consideração é ter a frente da operação do maquinário um operário experiente o qual pode de forma sensível detectar alguma inconformidade e não dar prosseguimento, ou seja, não deixar que a mesma siga adiante no processo fabril.

3) ***Qual é a frequência de manutenção no maquinário?***

   R.: Geralmente, faz-se manutenção geral em função dos ciclos de utilização (1ciclo = uma prensagem), não necessariamente o maquinário está com problema, mas as vezes detecta-se alguma inconformidade, em geral, faz-se mais manutenção ou trocas nas formas, e, esta manutenção é realizada a cada 50000 ciclos.

4) ***Há mão de obra especializada acessível para prestar manutenção aos maquinários?***

   R.: Sim, há mão de obra de prontidão na fábrica.

5) ***Qual seria o impacto do custo de manutenção na produção?***

   R.: Tudo é relativo, levando em conta apenas a manutenção preditiva a cada 50000 ciclos, o impacto no custo de produção não é lá impactante. No entanto, levando-se em conta que um maquinário venha a quebrar pela não identificação de uma inconformidade e que a mesma leva a uma reposição de peças, neste caso o impacto é maior e considerável, mas é difícil dizer o quanto.

6) ***O custo inicial do maquinário para o layout fabril foi alto? Quanto? Qual foi o "payback" deste investimento?***

   R.: Não respondido em detalhes, porém sabe-se que o custo inicial foi alto. Quanto ao "payback", não foi respondido.

7) ***Quais os problemas que podem ser citados, que o método atual de fabricação traz no processo como um todo?***

   R.: Um dos problemas, não muito sério, pois não gera um perda considerável, são avarias nas paredes de blocos (pós prensado ou já curado), que quando ocorre após a prensagem é possível reutilizar a massa, o que não ocorre quando o blocos já passou todo o seu processo de cura; outro problema não recorrente mas que se constata é a retenção água em alguns blocos particulares; falta das "estrias" laterais, o que influencia na aderência de revestimentos, tais como : emboço e reboco; falta de ranhuras na face de assentamento. Cabe lembrar que muitos destes citados depende e muito da sensibilidade do operador do maquinário.

8) ***O que se pode fazer para melhorar o processo geral de fabricação?***

   R.: Em se tratando de uma linha de produção, o quanto mais se puder mecanizar o processo mais igualitário tende a ser o serviço, trabalhando-se assim a questão da qualidade.

9) ***Há acompanhamento laboratorial, principalmente quanto as resistências à compressão dos blocos?***

R.: Sim, o acompanhamento laboratorial é realizado em uma faculdade situada na própria cidade de Araçatuba-SP.

10) Há contraprovas dos ensaios obtidos no laboratório habitual?

R.: Sim, mas geralmente as contraprovas são realizadas quando não se tem muita certeza de um procedimento que foge um pouco mais do padrão.

11) As formas dos blocos são produzidas, compradas ou adaptadas?

R.: As formas para blocos utilizadas são na sua imensa maioria adquiridas já prontas no mercado e, eventualmente, adaptadas as nossas necessidades. Às vezes, as formas são fabricadas sobre medida.

12) Há possibilidade de mudança na geometria dos componentes (blocos) mesmo não constando em norma? E, caso haja, é simples?

R.: Há a possibilidade de se estudar uma mudança, não é comum, mas é possível; porém, deve ser viável, ou seja, deve-se analisar os fatores que impactarão no valor final do produto, como: quantidade a ser produzida, complicações de produção (detalhes das peças), automatização do processo, materiais utilizados, dentre outros fatores que poderiam impactar no processo produtivo, consequentemente, no valor final deste produto.

13) Quanto a dificuldade do uso e aplicação no assentamento de blocos de concreto com argamassa polimérica, o que dizer a respeito?

R.: Foram realizados alguns testes quanto a melhora da superfície de assentamento, mas não surtiu bons resultados, pois proporcionar o acabamento superficial de maneira satisfatória exige uma mecanismo (mecanização) adequado, que dentro dos moldes, ao mesmo tempo que proporcionasse a superfície ideal, não causasse uma complicação na fabricação dos blocos, a exemplo: a medida que se busca regularizar esta superfície, o que não é fácil, há desmoronamento das paredes do blocos ou outra complicação.

14) Há alguma observação ou algo que gostaria de questionar ou acrescentar a respeito da pesquisa?

R.: Os blocos produzidos na fábrica possuí uma densidade variando entre 2200 kg/m³ a 2400 kg/m³, o que influenciará na resistência do bloco, que também varia de acordo com a necessidade do mercado. Ainda, para estes blocos serem utilizados para assentamento em obra são necessários 4 dias para estabelecer um procedimento de cura mínimo. Outra informação importante a respeito dos blocos é: quando em estoque (armazenado) para posterior utilização no assentamento e, se suscetível à chuva, o bloco leva menos de 24 horas para estar seco novamente.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.2 Materiais

Nesta subseção são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, assim como suas particularidades, tais como suas propriedades.

3.1.1 Areia

A areia utilizada para todos os processos de fabricação do concreto fluido foi a areia média, obtida no Porto Nossa Sra. Aparecida localizado no município de Castilho-SP. Para o uso da areia na mistura de concreto, foi necessário realizar sua secagem, para tanto, a mesma ficou sob o sol, por um período mínimo de 24 horas. Posteriormente, retiram-se amostras do material e procedeu-se com a devida classificação do mesmo segundo as normas vigentes, a Figura 17 **e** Figura 18 **apresentam detalhes do ensaio de classificação. Mais detalhes sobre a caracterização da areia podem ser encontrados no APÊNDICES**

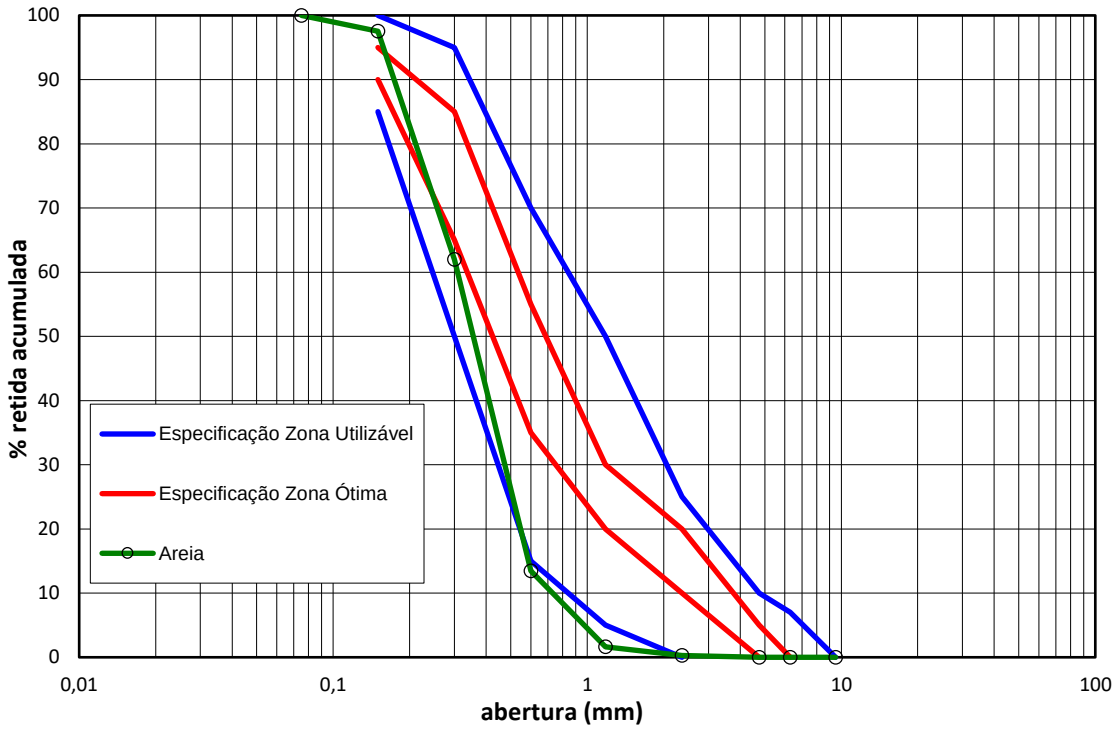
APÊNDICE A.

Figura 17. Classificação dos materiais - Areia média



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 18. Curva granulométrica - Areia média



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.1.2 Brita

A brita utilizada para todos os processos de fabricação de concreto foi a brita zero, obtida em jazida localizada no município de Andradina-SP, tendo a mesma por sua vez, origem basáltica.

Para o uso da brita zero na mistura de concreto, foi necessário realizar a secagem da mesma. Portanto, a brita foi colocada sob o sol, deixando por um período mínimo de 24 horas exposto.

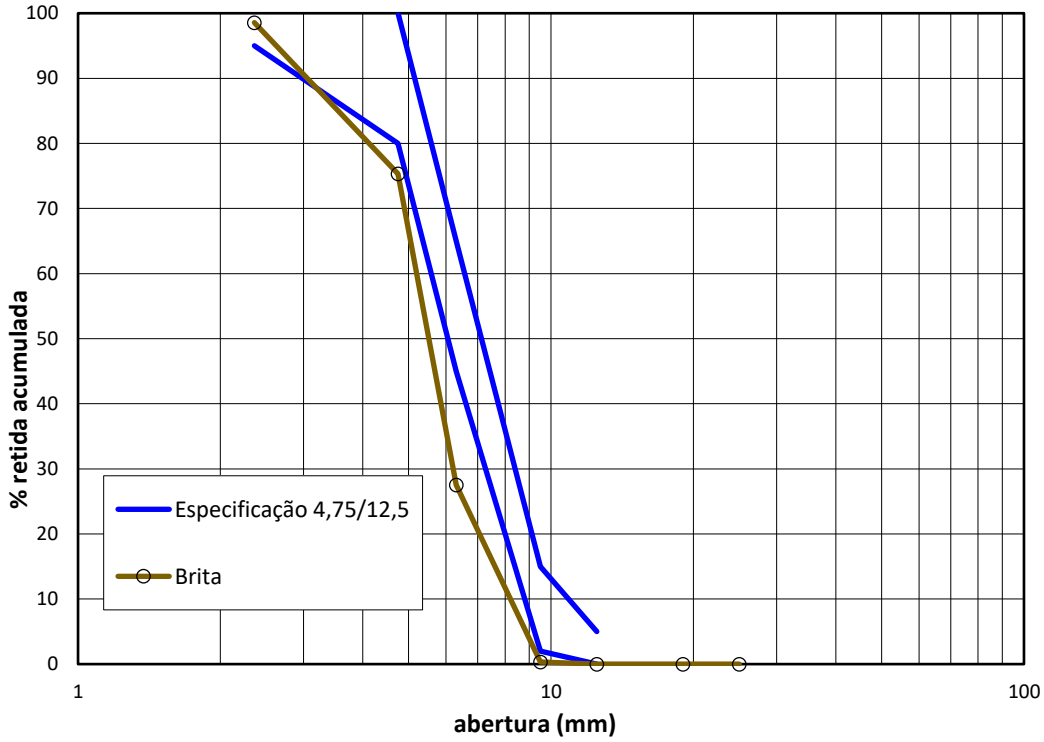
Este material foi submetido aos ensaios de caracterização segundo as normas vigentes. Nas Figura 19 e Figura 20 ilustram detalhes do ensaio de classificação. Mais detalhes sobre a caracterização da brita 0 pode ser encontrada no APÊNDICE B.

Figura 19. Classificação dos materiais - Brita 0



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 20. Curva granulométrica - Brita 0



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.1.3 Cimento

O cimento utilizado na manufatura do concreto foi escolhido visando a possibilidade de se alcançar altas resistências iniciais ao concreto confeccionado em poucos dias; logo, o

cimento tido como propício para tal fim foi o Cimento Portland para Obras Especiais – CP V ARI (alta resistência inicial). Seguindo a norma ABNT NBR 5733:1991, constatou-se que o material estava em conformidade com a mesma, algumas das características do material estão contidas na Tabela 5.

Tabela 5. Características do Cimento Portland - CP V ARI

Parâmetros Químicos	
Perda ao fogo (PF)	≤ 4,5 (% da massa)
Óxido de magnésio (MgO)	≤ 6,5 (% da massa)
Tríodo de enxofre (SO3)	
C3A ≤ 8%	≤ 3,5 (% da massa)
C3A > 8%	≤ 4,5 (% da massa)
Anidrido carbônico	≤ 3,0 (% da massa)
Parâmetros Físicos e Mecânicos	
Área específica	≥ 300 m²/kg
Tempo de início de pega	≥ 1,0 h
Resistência à compressão	
1 Dia	≥ 14,00 MPa
3 Dias	≥ 24,00 MPa
7 Dias	≥ 34,00 MPa

Fonte: ABNT (1991).

3.1.4 Aditivos

3.1.4.1 Superplastificante

Foi utilizado neste trabalho o aditivo superplastificante TEC-FLOW 7000. Trata-se de uma solução modificada de Policarboxilato, este usado visando a melhoraria da trabalhabilidade na mistura (concreto) no que tange a fluidez da mesma de modo a não ocasionar perda de resistência do concreto, uma vez que reduz o impacto negativo do fator água/cimento (a/c). Em outras palavras, a função do superplastificante é atuar sobre a mistura, com objetivo de reduzir o consumo de água. Uma vez que a relação água/cimento (a/c) alterada faz com que a resistência seja alterada. O Quadro 2 traz informações técnicas fornecidas pelo fabricante a respeito do material.

Quadro 2. Características técnicas do superplastificante

Superplastificante (Solução modificada de policarboxilato) – Características técnicas				
Produto	Descrição do Produto	Aspecto/Cor	*Dosagem Recomendada (%SPC)	Massa Específica g/cm³ (NBR 10908)
Tec-Flow 7000	Concreto em geral, fluído ou auto-adensável. Proporciona excelente redução da demanda de água, boa manutenção de abatimento e ótimas resistências iniciais e finais.	Líquido alaranjado	0,30% - 1,20%	1,075 - 1,115

*SPC (Sobre o peso de cimento)

Fonte: GCP APPLIED TECHNOLOGIES (2017).

3.1.4.2 Acelerador de Pega

Foi utilizado neste trabalho o aditivo acelerador de pega GRACE RAPID 250. Trata-se de um aditivo isento de cloretos, que aumenta as resistências iniciais e diminui o tempo inicial de pega. O Quadro 3 traz informações técnicas fornecidas pelo fabricante a respeito do material.

Quadro 3. Características técnicas do acelerador de pega

Aditivo Acelerador de Pega do Concreto – Características técnicas				
Produto	Descrição do Produto	Aspecto/Cor	*Dosagem Recomendada (%SPC)	Massa Específica g/cm³ (NBR 10908)
Grace Rapid 250	Acelerador de pega para calda de cimento e grautes.	Líquido Incolor	2,00% - 10,00%	1,350 - 1,390

*SPC (Sobre o peso de cimento)

Fonte: GCP APPLIED TECHNOLOGIES (2017).

3.1.5 Cal hidratada

Foi utilizada a Cal Hidratada CH II-20 kg-Itaú, para confecção das argamassas mistas AM1 e AM2, as quais foram empregadas no assentamento dos blocos visando a constituição dos prismas para ensaio.

3.1.6 Argamassa polimérica

Foi utilizada a Argamassa Polimérica DunDun™ (bisnaga de 3kg), as quais foram empregadas no assentamento dos blocos visando a constituição dos prismas para ensaio. A argamassa DunDun™ é formada por resinas especiais que possuem nanocompósitos poliméricos e cargas minerais não metálicas, juntamente com aditivos especiais.

3.2 Equipamentos

Nesta subseção são apresentados os equipamentos utilizados na pesquisa, assim como algumas de suas particularidades.

3.2.1 Máquina universal de ensaio

No presente trabalho foi utilizada a Máquina Universal de Ensaios para a realização do ensaio de compressão axial, visando analisar as características físico-mecânica das amostras utilizadas, tais como: corpos de prova (4 X 4 X 16 cm^3) para argamassas de assentamento (AM1 e AM2), os blocos, e os prismas. Logo, o ensaio resume-se no carregamento gradativo de cargas (esforços), no caso específico deste trabalho, esforços estes de compressão, almejando levar o corpo até seu estado último resistivo ou colapso, por conseguintes, obtêm-se a máxima carga a qual o corpo suporta. Assim, para este fim a Máquina Universal Utilizada foi a EMIC modelo

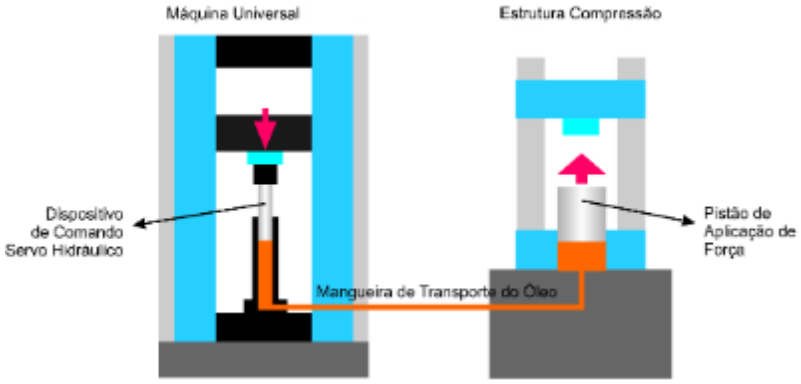
DL 20000®, possuindo carga máxima de 200 toneladas. A Figura 21 ilustra o equipamento utilizado e a Figura 22 um esquema do seu funcionamento.

Figura 21. Máquina Universal de Ensaio - modelo DL 20000 - EMIC



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 22. Funcionamento da Máquina Universal de Ensaio (Compressão)



Fonte: EMIC (2017)

3.2.2 Sistema de aquisição de dados

Utilizou-se neste trabalho um sistema de aquisição de dados integrados pelos seguintes componentes: computador desktop; software DASYLab11®; módulo de leitura; LVDTs (Transformador Diferencial Variável Linear); extensômetros (*Strain-Gages*); e, célula de carga.

A Figura 23, Figura 24 e Figura 25 mostram detalhes sobre o sistema de aquisição de dados utilizado e demais elementos.

Figura 23. Sistema de aquisição montado



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 24. Detalhes dos: a) *Strain-Gages* e b) módulo de leitura



a) b)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 25. Detalhes dos: a) LVDT, b) célula de carga, c) Interface do Software DASYLab11

a) **b)** **c)**



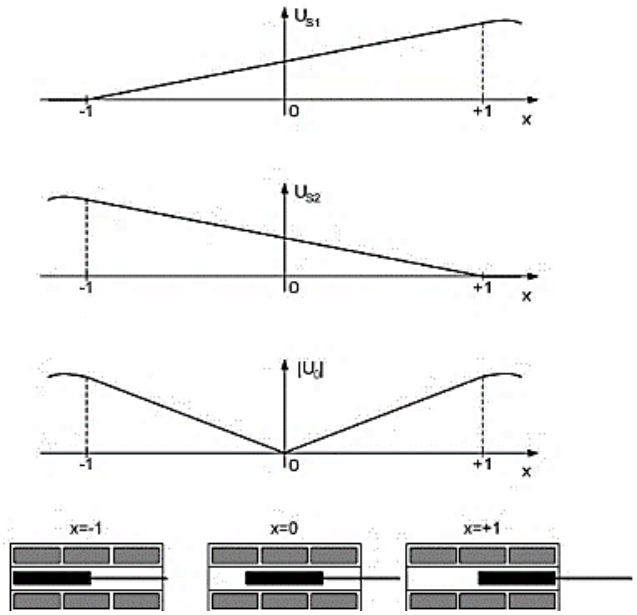
Fonte: Elaboração do próprio autor.

O sistema de aquisição de dados em questão foi responsável por fazer leituras em função do tempo de ensaio dos seguintes parâmetros: força empregada nas devidas rupturas, deformações provenientes das leituras dos LVDTs e deformações provenientes das leituras dos extensômetros (*Strain-Gages*). Tanto as deformações dos LVDTs como a dos extensômetros estão diretamente ligadas com as leituras das cargas imprimidas no ensaio, para tanto, as mesmas foram relacionadas de modo que se pudessem analisá-las.

O funcionamento do LVDT se dá através da interpretação da alteração na tensão elétrica (em bobinas primárias e secundárias) ocasionado pelo deslocamento linear do núcleo móvel, quando solicitado a um esforço axial, onde o mesmo tende a encurtar o comprimento inicial (L_0) devido a um deslocamento (Δ_L) ocorrido em consequência do esforço aplicado. Com isso, há uma relação que traduz a deformação ocorrida, no caso demostrada na Equação 2. Ainda, a Figura 26 ilustra em mais detalhes a respeito do funcionamento do LVDT.

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta_{L_i}}{L_0} \qquad (7)$$

Figura 26. Amplitude de tensões nas bobinas secundárias em função do núcleo móvel



Fonte: Dias (2015).

Os extensômetros (*Strain-Gages*) mostrados na Figura 24 são dispositivos que transformam pequenas variações ocorridas nas dimensões de um corpo em variações equivalente as de sua resistência elétrica (ANDOLFATO *et al, 2004*). Para tanto, o dispositivo tem que ser instalado no sentido onde se pretende mensurar a deformação. Sendo assim, quando instalado e o corpo sofrendo a deformação segundo o esforço imprimido, o extensômetro tende a se deformar no momento em que há deformação do corpo, ao mesmo tempo está sendo realizada a conversão deste deslocamento em suas equivalentes resistências elétricas, uma vez que os metais mudam sua resistência elétrica quando sofrem deformação.

A célula de carga utilizada na pesquisa tinha a capacidade de carga de 100 *tf* (toneladas-força). Mais detalhes sobre a instrumentação podem ser observados no APÊNDICE G.

3.2.3. Outros equipamentos utilizados

Foram utilizados para a execução deste trabalho, outros equipamentos, especificamente: betoneira, parafusadeira, compressor de ar, câmara úmida, espátulas, balanças eletrônicas, peneiras, nível de mão e lixadeira.

3.3 Metodologia

Nesta subseção é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, assim como suas particularidades. O trabalho foi divido em duas fases, as quais englobam todos os processos descritos a seguir. Entretanto, em suma, o trabalho ficou compreendido como sendo a primeira fase relativa ao concreto sem adição de AAP (Aditivo acelerador de pega); e, a segunda fase referente a inclusão de AP ao concreto manufaturado.

3.3.1 Definição dos traços

3.3.1.1 Equacionamento do traço referência

A princípio, buscando inicializar os trabalhos em laboratório, necessitou-se que fosse definido um traço referência $1:m$, para tanto, definiu-se o seguinte traço como o de referência: $1:5$, conforme Helene-Terzian (1993). Assim, para a determinação do teor de argamassa do traço, fez-se essencial o auxílio das Equações 3, 4, 5 e 6.

$$\alpha = \frac{1+a}{1+m} \quad \textbf{(8)}$$

$$m = a + p \quad \textbf{(9)}$$

$$a = \frac{a_m}{c} \quad \textbf{(10)}$$

$$p = \frac{a_g}{c} \quad \textbf{(11)}$$

Onde:

a: é $a\ rela$ção $agregados\ mi$úd$os\ secos\ divididos\ pelo\ cimento\ em\ massa\ (kg/kg)$;

m: é $a\ rela$ção $agregados\ secos\ divididos\ pelo\ cimento\ em\ massa\ (kg/kg)$;

α: é *o teor de argamassa seca* (kg/kg);

a_m: *agregados miúdos secos* (kg);

p: é *a relação agregados graúdos secos divididos pelo cimento em massa* (kg/kg); e,

a_g : *agregados graúdos secos* (kg).

De início, admitiram-se valores para os teores de argamassa de modo a disparar o processo de cálculo para a determinação da quantidade de agregados miúdos e agregados graúdos para cada teor inicialmente adotado, ainda, fixou-se uma quantidade de agregado graúdo (brita 0) a ser utilizado no processo de cálculo. Logo, trabalhando as equações 3 e 5, anteriormente citadas de forma algébrica, tem-se a Equação 7:

$$\alpha = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+\frac{a_m}{c}}{1+m}$$

$$\alpha + \alpha m = 1 + \frac{a_m}{c}$$

$$a_m = c\left(\alpha + \alpha m - 1\right) \qquad \textbf{(12)}$$

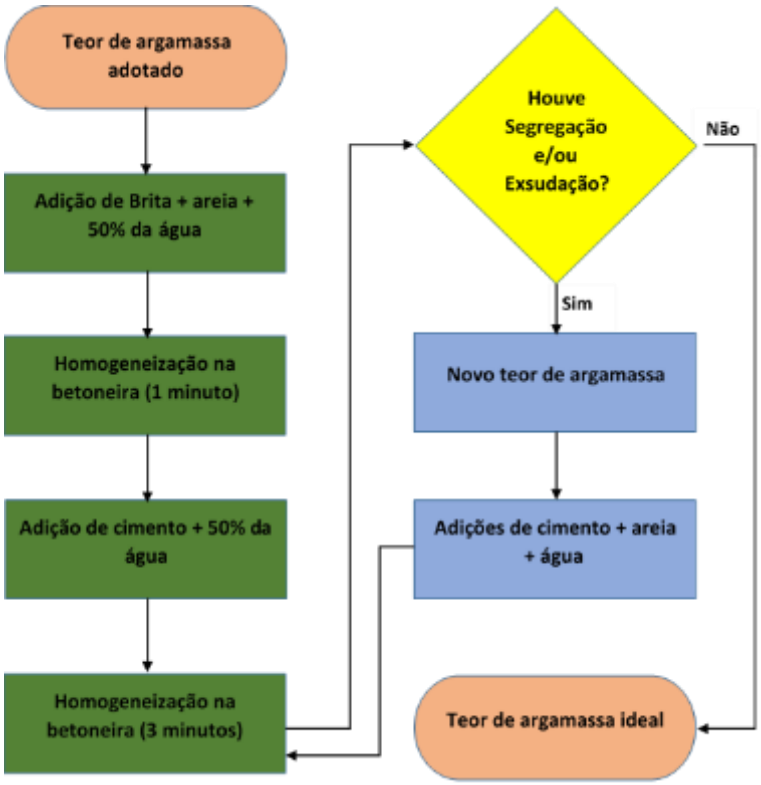
A partir da Equação 3, a qual possibilita a obtenção de agregados miúdos (*kg*), pode-se obter a quantidade de agregados graúdos para o teor de argamassa estipulado, conforme a Equação 7. A tabela mostrada no APÊNDICE C, traz a equalização do traço 1:5.

O procedimento em laboratório se deu dá seguinte forma: inicialmente, procurou-se separar e pesar os materiais a serem utilizados nos traços, como: cimento, areia média, brita 0 e água. De igual forma foi realizado o mesmo processo para determinar as adições de modo a alterar o teor de argamassa sem a necessidade de perder os materiais já utilizados, evitando assim desperdícios. Nestas condições, após a determinação do teor de argamassa inicial adotado, deu-se o princípio dos trabalhos, estes os quais seus processos são discriminados da seguinte forma:

1. Adicionou-se toda a brita 0 e a areia, juntamente com a metade da água característica da mistura e acionou-se a betoneira por 1 minuto;

2. Posteriormente, adicionou-se todo o cimento e o restante da água e, mais uma vez a betoneira foi acionada de modo a homogeneizar a mistura, este tempo foi estipulado em 3 minutos;
3. Em seguida, após a parada da betoneira, realizou-se uma análise visual do concreto, com o auxílio de uma colher de pedreiro, almejando-se verificar a homogeneidade da mistura, onde um dos aspectos foi averiguar o posicionamento do agregado graúdo na mistura e possíveis tendências de segregação e exsudação do concreto;
4. Após todos os passos anteriores, iniciaram-se os processos de adições de cimento e areia de modo a alterar o teor de argamassa. Por conseguinte, foi necessário adicionar certa quantidade de água, inicialmente pesada e separada para que assim fosse mantida a relação água/cimento da mistura, para este processo foi estipulado mais 3 minutos de homogeneização. A partir disso, o processo todo se repete. A **Figura 27** traz um organograma que visa elucidar melhor o processo apresentado.

Figura 27. Organograma do fluxo das ações para encontrar o teor de argamassa ideal



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Da Figura 28 a 37 estão relacionadas as adições de materiais componentes da argamassa, aos concretos com teores de argamassa de $\alpha = 59\%$, $\alpha = 61\%$, $\alpha = 63\%$ e $\alpha = 65\%$.

Figura 28. Adições de materiais componentes da argamassa



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Figura 29. Concreto com teor de argamassa de 59%



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Figura 30. Concreto com teor de argamassa de 61%



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Figura 31. Concreto com teor de argamassa de 63%



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Figura 32. Concreto com teor de argamassa de 65%



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

Posteriormente a execução de todo esse processo, optou-se por adotar a mistura com teor de argamassa de 63%, mesmo tendo notado que a mistura com teor de argamassa de 65% apresentou-se com comportamentos satisfatórios, quanto à exsudação e segregação. Mas, levou-se em consideração na escolha o fator econômico, este com impacto significativo, pois quanto mais rica a mistura, ou seja, quanto maior o teor de argamassa da mesma, mais alto será o seu custo.

Na sequência, de modo a buscar uma maior trabalhabilidade para a mistura, fez-se a adição gradativa de superplastificante, visando concretizar o traço escolhido, de modo que o mesmo não apresentasse indícios de exsudação e segregação. Para tanto, foi realizado o ensaio de espalhamento, também conhecido como “Slump Flow”, a **Figura 33** mostra detalhes do ensaio.

Figura 33. Adição gradativa de superplastificante



Fonte: Elaboração do próprio Autor.

A percentagem de superplastificante encontrada para a mistura, de modo que não proporcionasse segregação e/ou exsudação a mesma, foi correspondente a 0,50% SPC (Sobre o peso do cimento). Consolidado o traço referência, foi adotado o mesmo teor de argamassa para os traços 1:3 e 1:7, havendo apenas alterações na relação água/cimento de cada traço, de modo que os mesmos apresentassem trabalhabilidade parecidas. Sendo assim, segue as especificações para cada traço sem a adição de AAP (Aditivo acelerador de pega) de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6. Traços 1:3, 1:5 e 1:7 do concreto sem aditivo acelerador de pega

α = 63,00%							Água / cimento	Superplastificante
Traço	Cimento		Areia		Brita 0			
1:3	1,00	:	1,52	:	1,48		0,45	0,50% SPC
1:5	1,00	:	2,78	:	2,22		0,65	
1:7	1,00	:	4,04	:	2,96		0,95	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para o processo constituído com a incorporação de aditivo de acelerador de pega, foi utilizado basicamente os mesmos traços previamente definidos. Sendo assim, a Tabela 7 traz informações a respeito do traço ligeiramente modificado pela adição de aditivo acelerador de pega.

Tabela 7. Traços 1:3, 1:5 e 1:7 do concreto com aditivo acelerador de pega

α = 63,00%				Água / cimento	Superplastificante	Acelerador de Pega
Traço	Cimento	Areia	Brita 0			
1:3	1,00	1,52	1,48	0,45	0,50% SPC	1,50% SPC
1:5	1,00	2,78	2,22	0,65		
1:7	1,00	4,04	2,96	0,95		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.2 Elaboração das formas para moldagem dos blocos

De modo a possibilitar a moldagem e confecção dos blocos, foram elaboradas as formas com as seguintes características:

- Chapas de compensado naval parafusadas com parafusos auto-atarraxantes (50 mm);
- Dimensões de confinamento do concreto – 140 x 190 x 290 mm³;
- 2 furos com diâmetros de 100 mm (Ø 100 mm);
- Tubos de PVC Ø 100 mm

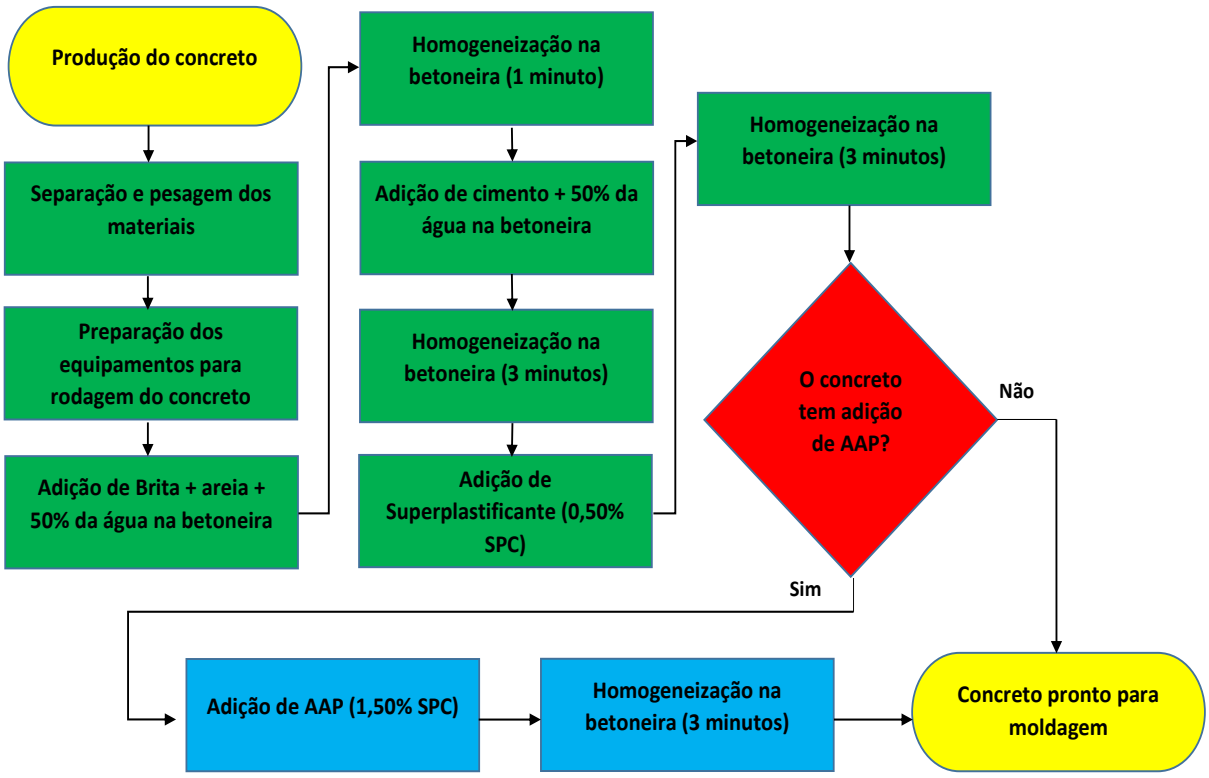
O projeto idealizado para elaboração das formas é apresentado de acordo no APÊNDICE D.

3.3.3 Processo de manufatura dos blocos

3.3.3.1 Fabricação do concreto

A manufatura dos blocos procedeu-se da seguinte maneira: primeiramente, no laboratório de Engenharia Civil da UNESP-FEIS, foram separados e pesados os materiais constituintes da mistura (concreto), de acordo com o traço determinado em questão (1:3, 1:5 ou 1:7); vale ressaltar que o material havia sido previamente classificado segundo as normas vigentes correspondentes. Posteriormente, iniciou-se o processo de homogeneização do concreto, este mais detalhado na Figura 34. Ainda, notou-se uma dificuldade considerável ao trabalhar com as misturas 1:7 com e sem AAP, devido a sua grande quantidade de materiais finos; como também, a trabalhabilidade foi afetada com a incorporação de AAP, consequente do encurtamento do processo de cura.

Figura 34. Processo de produção do concreto para moldagem dos blocos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.3.2 Moldagem dos blocos

Depois de finalizada a etapa da produção do concreto, este com auxílio de um carrinho de mão (carriola) foi transportado até as formas, estas devidamente preparadas com passagem de óleo desmoldante e com os tubos PVC's (Ø 100 mm), já colocados. Sequencialmente, o concreto foi lançado à forma e aos poucos tomou a forma do bloco. O concreto lançado não necessitou de vibração, devido sua consistência fluida, porém exigiu que fosse realizado o nivelamento de sua superfície. Detalhes a respeito de todo o processo são ilustrados nas Figura 35 a Figura 37. Vale ressaltar que a geometria do bloco produzido não seguiu à risca a geometria dos blocos de concretos fabricados industrialmente, a diferencia está na alteração da seção vazada.

Figura 35. Preparo das formas para moldagem dos blocos – Lubrificação



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 36. Preparo das formas para moldagem dos blocos – Encaixe dos tubos



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 37. Transporte do concreto até as formas e lançamento



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta etapa foram retiradas amostras, CPs (corpos de prova) cilíndricos (diâmetro 10 x 20 cm^3), para a realização do ensaio de compressão axial nas idades de 7 e 28 dias, o procedimento foi realizado para os traços 1:3, 1:5 e 1:7.

É interessante destacar o funcionamento do tubo no processo ante e pós concretagem, assim como sua influência no processo. O APÊNDICE E, traz informações detalhadas relacionadas ao mesmo.

3.3.4 Argamassas de assentamento

As argamassas de assentamento utilizadas neste trabalho foram destinadas a execução dos prismas de blocos de concreto, visando assim os passos que aconteceriam em sequência para os devidos ensaios de alvenaria estrutural. Para tanto, fez-se o uso dos seguintes tipos e traços de argamassa:

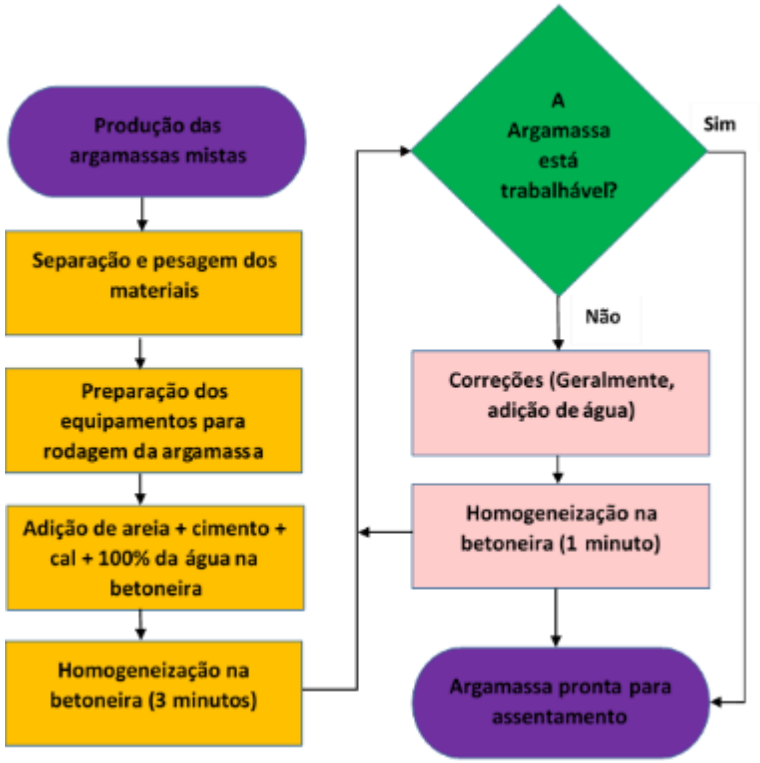
- Argamassa mista convencional 1 ou simplesmente AM1 – com o devido traço 1:1:6;
- Argamassa mista convencional 2 ou simplesmente AM2 – com o devido traço 1:0,5:4,5; e,
- Argamassa polimérica DunDun™.

A argamassa polimérica DunDun™ por se tratar de um produto industrializado, coube apenas utilizá-la nos assentamentos dos prismas. No entanto, a escolha das argamassas mistas

convencionais ocorreu através de alguns ensaios já realizados pelo NEPAE (NÚCLEO DE ENSINO E PESQUISA EM ALVENARIA ESTRUTURAL) da UNESP-FEIS (FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA), esses ensaios embasados no trabalho de MOHAMAD (1998). (Conforme ANEXO D e ANEXO E)

O processo de manufatura das argamassas mistas é a princípio semelhante ao já mencionado para a produção do concreto, assim sendo, a Figura 38 traz em detalhes as ações correspondentes ao processo.

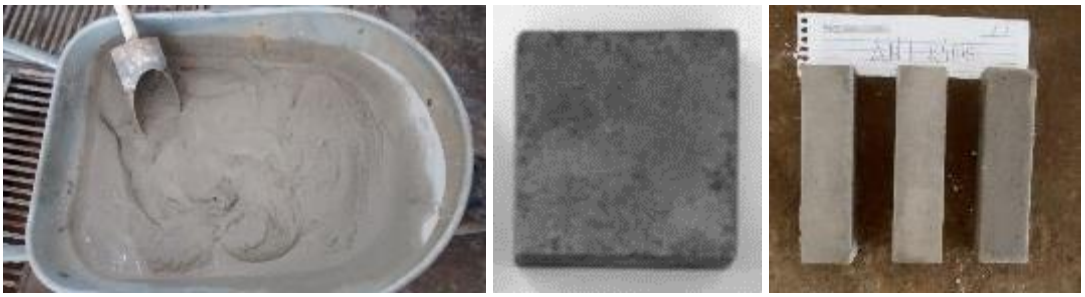
Figura 38. Processo de produção das argamassas mistas para assentamento de blocos para prismas



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta etapa foram retiradas amostras prismáticas (CPs 4 x 4 x 16 cm^3) para a realização do ensaio de compressão axial na idade de 28 dias, conforme Figura 39, o procedimento foi realizado para as argamassas mistas AM1 e AM2.

Figura 39. Amostras de argamassa mista - corpos prismáticos 4 x 4 x 16 cm³



a) b)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os traços finais das argamassas mistas convencionais utilizadas nos assentamentos de blocos de concreto fluido são demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8. Traços das argamassas mistas convencionais para assentamento de blocos

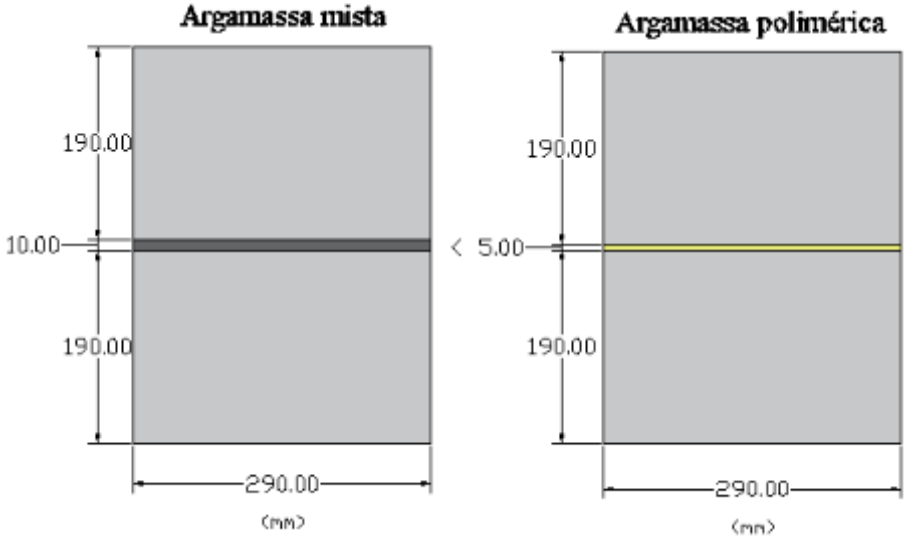
Argamassa	Composição da mistura			
	Cimento (kg)	Cal hidratada (kg)	Areia média (kg)	Água/cimento (a/c)
AM1	1,00	1,00	6,00	1,46
AM2	1,00	0,50	4,50	1,01

Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.5 Confecção dos prismas

Objetivando não mais os blocos, uma vez que os mesmos não trazem um retrato fidedigno no que diz respeito ao comportamento estrutural da alvenaria, o oposto acontece em ensaios próprios de prismas, o quê, é muito bem informado nas normas pertinentes ao assunto. Portanto, necessitou-se ante aos ensaios de ruptura dos prismas que os mesmos fossem confeccionados. Logo, foi realizado o assentamento de dois blocos, formando um prisma constituído por dois blocos, como mostrado na Figura 40.

Figura 40. Prismas assentados com argamassa mista e polimérica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O processo para o assentamento com argamassa mista ocorreu da seguinte forma:

1. Foram dispostos todos os blocos em pares segundo o seu lote (traço) específico;
2. Posteriormente, com a argamassa definida para o prisma em questão, foi preenchida uma bisnaga e, assim espalhada nos septos (espessuras das paredes dos blocos) do bloco inferior;
3. Em seguida, em cada vértice da área transversal do bloco inferior onde foi espalhada a argamassa, foram usados pequenos prismas de PVC rígido (Área transversal de 10 x 10 mm² e comprimento longitudinal aproximado de 70 mm), este com intuito de uniformizar as juntas de assentamento em 10 milímetros, de acordo com a NBR 16951-2 (ABNT, 2011);
4. Na sequência, foi assentado o bloco superior;
5. Passados alguns minutos, o suficiente para a argamassa enrijecer o bastante para suportar o peso do bloco superior, foram retirados os prismas de PVC rígido e preenchido o vazio deixado pela argamassa;
6. Todo o processo foi realizado com auxílio de um nível de bolha.

O processo para o assentamento com argamassa polimérica ocorreu da seguinte forma:

1. Foram dispostos todos os blocos em pares segundo o seu lote (traço) específico;

2. Posteriormente, como a argamassa polimérica é acondicionada em bisnaga, bastou que a mesma fosse espalhada nos septos do bloco inferior;
3. Não foi necessário o uso dos prismas de PVC rígido, uma vez que a argamassa polimérica é um material que proporciona juntas de assentamento inferiores a 10 milímetros, na ordem de 5 mm ou menos;
4. Na sequência, foi assentado o bloco superior;
5. Todo o processo foi realizado com auxílio de um nível de bolha.

A Figura 41 apresenta alguns detalhes da fabricação e constituição dos prismas.

Figura 41. Fabricação dos prismas – a) argamassa mista, b) nível, c) e d) argamassa polimérica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.6 Terminologia

De modo a facilitar o trabalho e seu desenvolvimento de maneira organizada, foi idealizada uma terminologia, ou seja, uma forma de identificação dos blocos, das argamassas e dos prismas, conforme:

LBX – AMY – APOL – PZLBXAMX – PZLBXAPOL

Nos quais se referem:

LB – Lote B;

X – Número que identifica o lote e ao mesmo tempo o traço executado (01 a 06);

AM – Argamassa mista;

Y – Número que identifica o traço da argamassa (01 a 02);

APOL – Argamassa polimérica;

P – Prisma; e,

Z – Número que identifica o prisma (01 a 27 – Fase 1; 28 a 54 – Fase 2).

3.3.7 Ensaios

3.3.7.1 Ensaios de bloco

Os ensaios dos blocos ocorreram nas seguintes idades: aos 7 e 28 dias após sua moldagem. Os lotes, que é o conjunto dos blocos fabricados, foram divididos de acordo com os seus respectivos traços 1:3, 1:5 e 1:7, como descrito no Quadro 4. Após a fabricação dos mesmos, procedeu-se com o processo de cura do concreto, armazenando os blocos em câmara úmida no período de 7 dias, sequencialmente, os lotes foram alocados em ambiente externo à câmara.

Quadro 4. Lotes de fabricação – blocos

Primeira Fase		
Lote	**Traço**	**Quantidade**
LB1	1:5	12 blocos
LB2	1:5	12 blocos
LB3	1:3	12 blocos
LB4	1:3	12 blocos
LB5	1:7	12 blocos
LB6	1:7	12 blocos

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para o ensaio de compressão na prensa (Máquina Universal de Ensaio) as amostras, no caso os blocos, necessitavam de um tratamento de suas superfícies de contato visando a regularização destas, pois isso facilitaria a uniformização da carga imprimida pela máquina. Conforme a Figura 42, o tratamento das superfícies de contato escolhido foi através do auxílio de duas chapas resinadas navais de 320 x 170 x 10 mm³.

Figura 42. Regularização das superfícies de contato do bloco



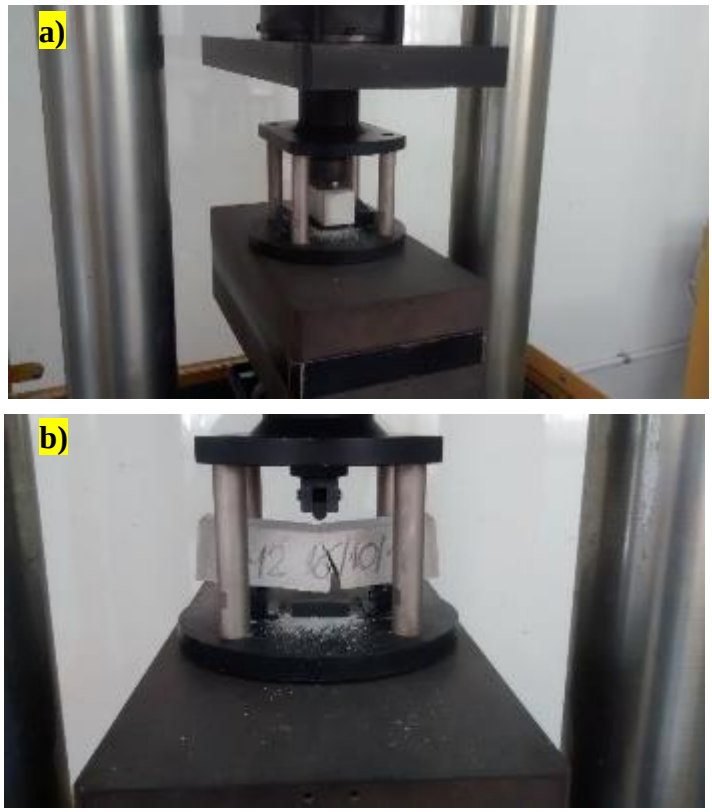
Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.7.2 Ensaio de argamassa

Os ensaios de argamassa ocorreram na idade de 28 dias após sua moldagem. Após a fabricação dos CPs 4 x 4 x 16 cm³, procedeu-se com o processo de cura da argamassa, armazenando-as em câmara úmida no período de 28 dias.

Para o ensaio de compressão na prensa (Máquina Universal de Ensaio) as amostras, no caso os corpos de prova, também necessitavam de um tratamento de suas superfícies de contato visando sua regularização. O tratamento das superfícies de contato escolhido foi através do auxílio de duas chapas resinadas navais de 4 x 4 x 16 cm³. A Figura 43 traz informações para o ensaio de compressão da argamassa.

Figura 43. Ensaios de argamassa segundo a NBR 13279 – a) Compressão, b) Flexão



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.3.7.3 Ensaios de prisma

Para os ensaios de prismas, para todos os lotes, os blocos já possuíam uma idade de 28 dias da sua fabricação e, o início do seu processo está de acordo com o descrito no item 3.3.5. Após a fabricação dos prismas, principiou-se o processo de cura, que foi realizado diferentemente dos processos de cura dos lotes (blocos) e argamassas, simplesmente pela impossibilidade de armazenamento dos mesmos na câmara úmida, devido ao espaço que cada um ocupava e pela quantidade de prismas, no total 27. O processo de cura ocorreu da seguinte forma: os prismas foram moldados em um espaço onde foram molhados por 7 dias, duas vezes ao dia, durante 30 minutos por vez. Posteriormente, ficaram no mesmo local até atingirem a idade de 28 dias. Após atingirem a idade de 28 dias, pretendendo-se instrumentar os prismas com LVDTs e extensômetros (*Strain-Gages*), esses tiveram os seguintes tratamentos:

1. Primeiramente, fez-se a marcações médias para colocação dos extensômetros (*Strain-Gages*) e dos LVDTs; estas marcações ficaram compreendidas da seguinte forma: para a marcação horizontal, a mesma foi fixada na metade da altura do bloco; e, para a marcação vertical, a mesma foi fixada no meio do furo (vazado do bloco), onde os septos atingiram menores espessuras, isto é, onde a parede do bloco era menos espessa, a Figura 44 ilustra o processo de marcação (mais detalhes ver APÊNDICE F);

Figura 44. Marcações para fixação dos LVDTs e extensômetros (*Strain-Gages*)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

2. Para os extensômetros (*Strain-Gages*) foi necessária a regularização da superfície de contato; logo, a regularização foi realizada manualmente com o auxílio de uma lixa 221T-P100;

3. Depois, ainda para os extensômetros (*Strain-Gages*), visando eliminar as interferências nas leituras dos extensômetros (*Strain-Gages*) no momento de ensaio, foi aplicada massa acrílica de modo a preencher os poros (vazios da superfície) e, foi esperada a sua secagem, como apresentado na Figura 45;

Figura 45. Regularização da superfície do bloco – Preenchimento dos poros com massa acrílica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4. Novamente, conforme a Figura 46 demonstra, foi realizada a regularização manual com auxílio de três tipos de lixa, sendo: 221T-P100, 221T-P200 e 221Q-P220.

Figura 46. Regularização da superfície do bloco – lixamento da massa acrílica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

5. A etapa subsequente, como demonstrada na Figura 47, tratou da fixação e instalação dos cabos com saída PS2 para serem conectados ao módulo do sistema de aquisição. A colagem dos extensômetros (*Strain-Gages*) foi efetuada com cola instantânea.

Figura 47. Colocação dos extensômetros (Strain-Gages)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

6. Em sequência, os prismas com extensômetros foram transportados e armazenados separados dos demais, de acordo com a Figura 48.

Figura 48. Transporte e armazenamento dos prismas com extensômetro (*Strain-Gages*)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na primeira fase, apenas 10 dos 27 prismas foram ensaiados com extensômetros (*Strain-Gages*), devido a não disponibilidade para todos os prismas, consequência do alto custo de cada

sensor. Entretanto, mesmo para estes 10 prismas, foram utilizados 20 extensômetros (*Strain-Gages*).

Finalmente, após todo o preparo e instrumentação dos prismas, montou-se todo o sistema de aquisição junto à prensa, para assim realizar os devidos ensaios inerentes aos prismas, esses sendo basicamente: tensões de compressão, captadas pela célula de carga; deformações na face dos blocos, captadas pelos extensômetros; e, deslocamentos relativos ao comprimento (Δ_L), captados pelos LVDTs.

Para a segunda fase se repetiu todos os procedimentos, diferenciando apenas na incorporação de AAP na confecção do concreto aplicado na fabricação dos blocos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados e explanados neste capitulo todos os resultados obtidos dos ensaios experimentais, objetivando-se discutir sobre os mesmos, como também analisar suas implicações no que condiz o contexto da alvenaria estrutural. Utilizando-se para isso de análise estatística e comparação direta com as normas inerentes ao assunto.

4.1 Consumo de cimento

Para os blocos confeccionados, foi realizada uma relação do consumo de cimento de acordo com o traço inerente aos blocos. A Tabela 9 traz informações sobre o peso especifico do cimento (γ), a relação agregado miúdo seco por cimento em massa (a), a relação agregados graúdos secos por cimento em massa (p), a relação água cimento (a/c) e a relação de agregados secos por cimento em massa (m), todos previamente definidos no equacionamento do traço no item 3.3.1.1.

Tabela 9. Consumo de cimento para os traços 1:3, 1:5 e 1:7

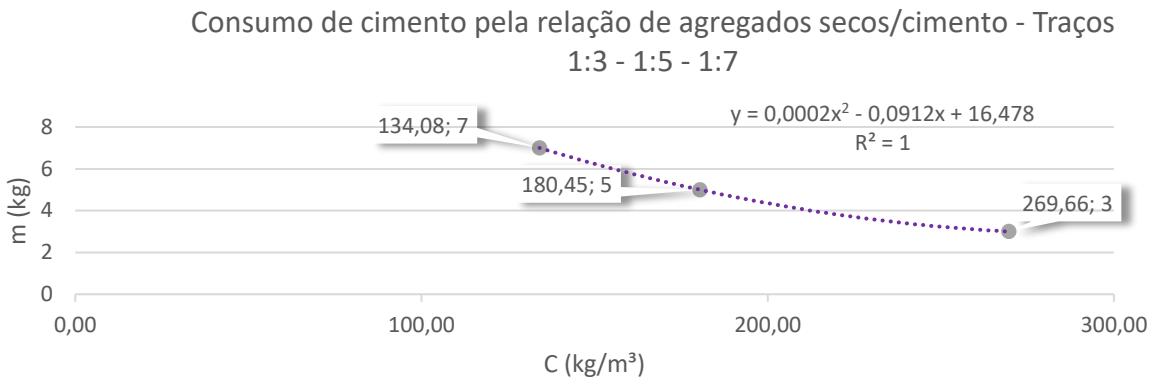
	1:3	**1:5**	**1:7**
γ(kg/m³)	1200	1200	1200
a (kg/kg)	1,52	2,78	4,04
p (kg/kg)	1,48	2,22	2,96
a/c (kg/kg)	0,45	0,65	0,95
m (kg)	3	5	7
C (kg/m³)	**269,66**	**180,45**	**134,08**

Fonte: Elaboração do próprio autor.

O APÊNDICE H traz em detalhes como foram realizados os cálculos para o levantamento do consumo de cimento.

A Figura 49 apresenta a relação entre os agregados secos em razão à massa de cimento com o consumo de cimento, conforme os traços 1:3, 1:5 e 1:7.

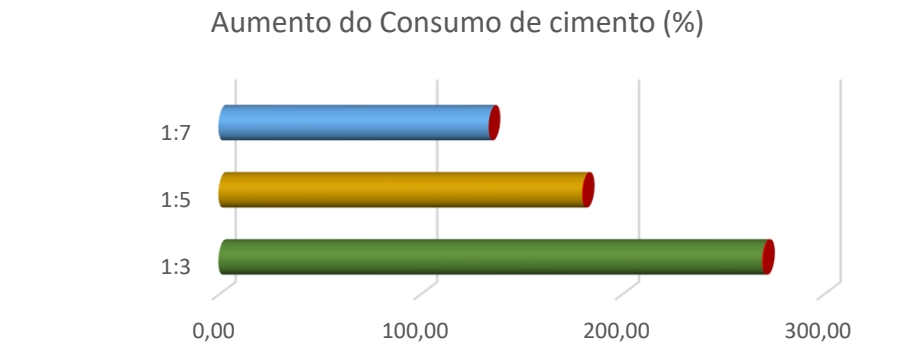
Figura 49. Relação do consumo de cimento pela relação de agregados secos/cimento (m) para os traços 1:3, 1:5, e 1:7



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 50 apresenta o aumento do consumo de cimento, conforme os traços 1:3; 1:5; e, 1:7. Analisando-se a variação da percentagem do aumento do traço 1:7 para o traço 1:5 e do traço 1:5 para o de 1:3.

Figura 50. Aumento do Consumo de cimento (%) para os traços 1:3; 1:5; e, 1:7



	1:3	1:5	1:7
C (kg/m³)	269,66	180,45	134,08
% de aumento	49,44%	34,59%	0,00%

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2 Ensaios de compressão

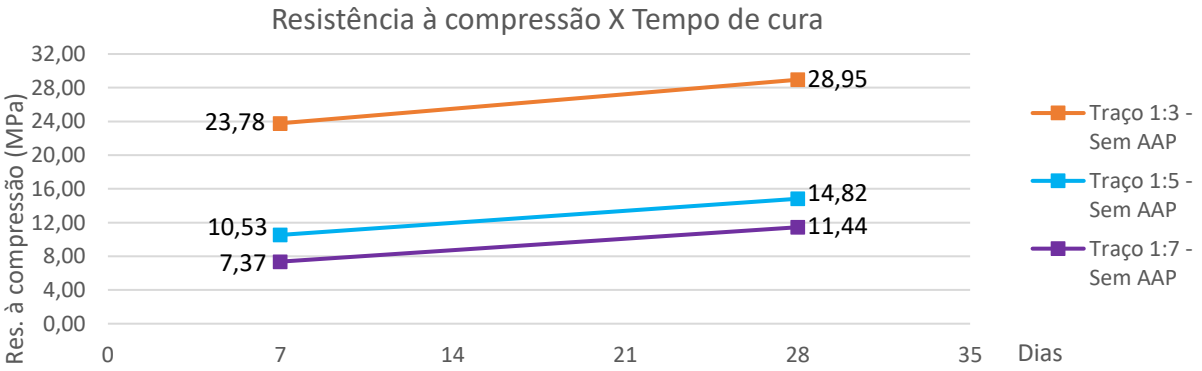
Os ensaios foram devidamente executados de acordo com as exigências estabelecidas nas normas NBR 16590-1, NBR 15961-2 e NBR 13279, salvo somente na adaptação realizada visando substituir o capeamento proposto em norma pela utilização de chapa compensada.

4.2.1 Ensaios de blocos

4.2.1.1 Blocos sem aditivo acelerador de pega (AAP)

A princípio, foi realizado o ensaio de compressão axial dos blocos para os traços 1:3; 1:5 e 1:7, os quais não possuíam incorporação de aditivo acelerador de pega (AAP). Inicialmente estão dispostos nas figuras a seguir os resultados da resistência à compressão axial características dos blocos conforme seu traço e o tempo de cura, especificamente. Assim, a Figura 51, traz uma comparação dos blocos conforme os diferentes traços adotados (1:3, 1:5 e 1:7) utilizados na fabricação desses blocos, para 7 e 28 dias. Percebe-se que em ordem decrescente o traço com maior quantidade de cimento (mais rico) foi mais resistente que o traço subsequente, isto é, quando comparados os três traços, quanto maior a quantidade de cimento na mistura, mais resistente se mostrou os blocos.

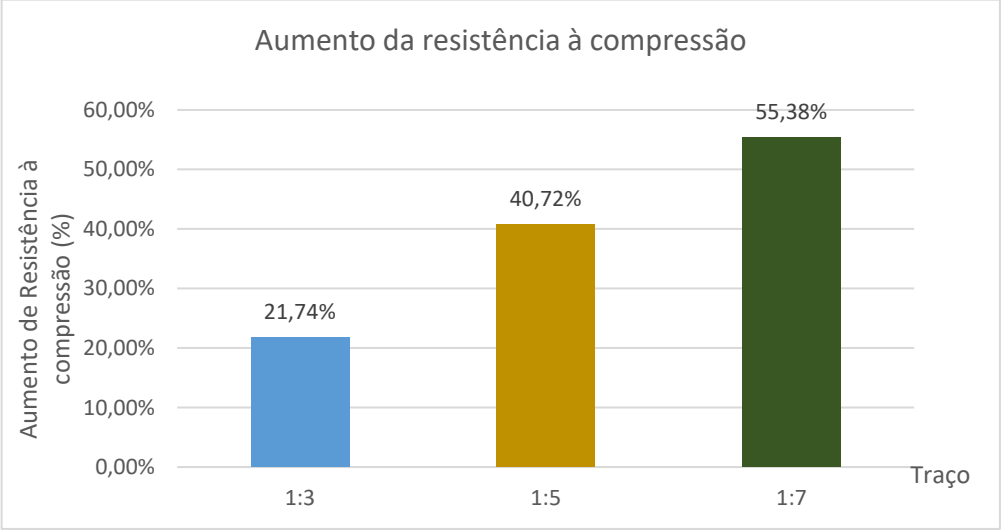
Figura 51. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias sem AAP



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 52 ilustra o aumento da resistência média à compressão axial dos blocos de 7 para 28 dias, de acordo com o traço definido do concreto, o que demonstrou que os blocos com traços com menor quantidade de cimento (mais pobre) obteve maior ganho de resistência à compressão axial dos 7 para 28 dias do que seu antecessor, ou seja, os blocos com traço 1:7 obtiveram um ganho de resistência superior que os blocos com traço 1:5 e, os blocos 1:5 superior aos blocos 1:3. Observa-se uma inversão na lógica do critério de maior resistência, isto é, os blocos com maior quantidade de cimento na constituição do seu traço, mostraram-se mais resistentes em comparação com seu sucessor (1:3 > 1:5 > 1:7); e, os blocos com menor quantidade de cimento na constituição do seu traço, mostraram um aumento de resistência de 7 para 28 dias maiores que seu antecessor (1:3 < 1:5 < 1:7).

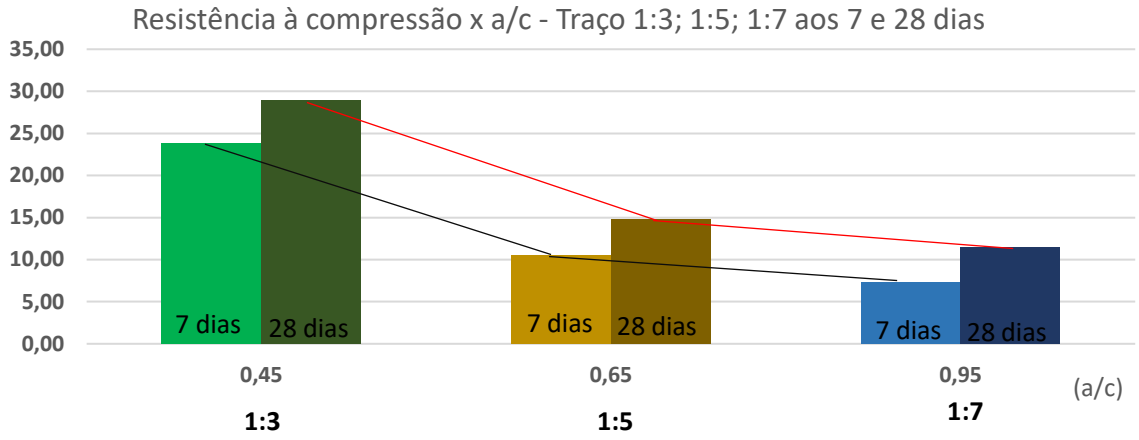
Figura 52. Aumento da resistência média à compressão dos blocos de 7 para 28 dias para os traços 1:3, 1:5 e 1:7 sem AAP



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 53, apresenta a relação da resistência média à compressão segundo o traço referente e a relação água cimento utilizada para cada bloco confeccionado.

Figura 53. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias relacionando o teor de água/cimento da mistura



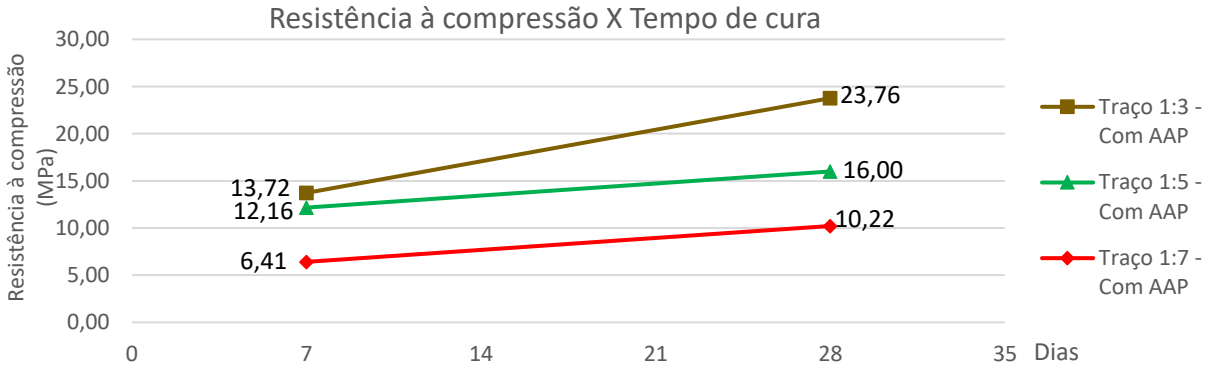
Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.1.2 Blocos com aditivo acelerador de pega (AAP)

Foi realizado o ensaio de compressão dos blocos para os traços 1:3; 1:5 e 1:7, os quais possuíam incorporação de aditivo acelerador de pega (AAP). Estão dispostos nas figuras a seguir os resultados da resistência características dos blocos de acordo com o traço e o tempo de cura, especificamente. Assim, a

Figura 54, traz uma comparação dos blocos conforme os diferentes traços adotados para a fabricação desses blocos. Levando-se em conta o critério de maior resistência à compressão axial, percebe-se que a lógica dos blocos com maior quantidade de cimento no seu traço (1:3 > 1:5 > 1:7) se manteve.

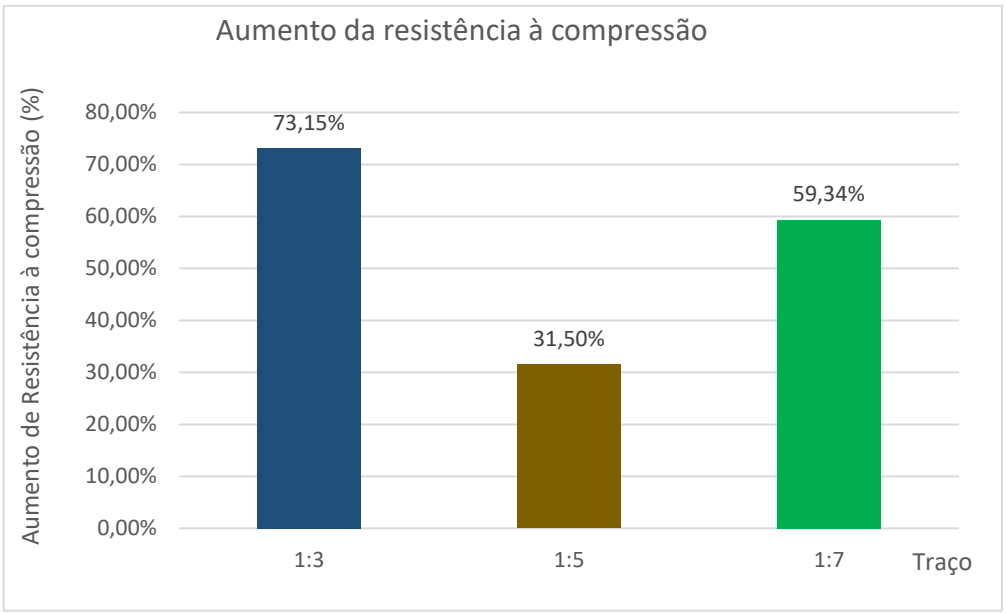
Figura 54. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias com AAP



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 55 ilustra o aumento da resistência média à compressão dos blocos de 7 para 28 dias, de acordo com o traço definido do concreto, o que demonstrou que a incorporação de AAP aos traços pode ter influenciado na mistura quanto ao ganho de resistência à compressão de 7 para 28 dias no caso do traço 1:3, quebrando assim a lógica dos blocos com traços com menor quantidade de cimento (mais pobre) obterem maior ganho de resistência à compressão axial dos 7 para 28 dias do que seu antecessor (1:3 > 1:5 < 1:7).

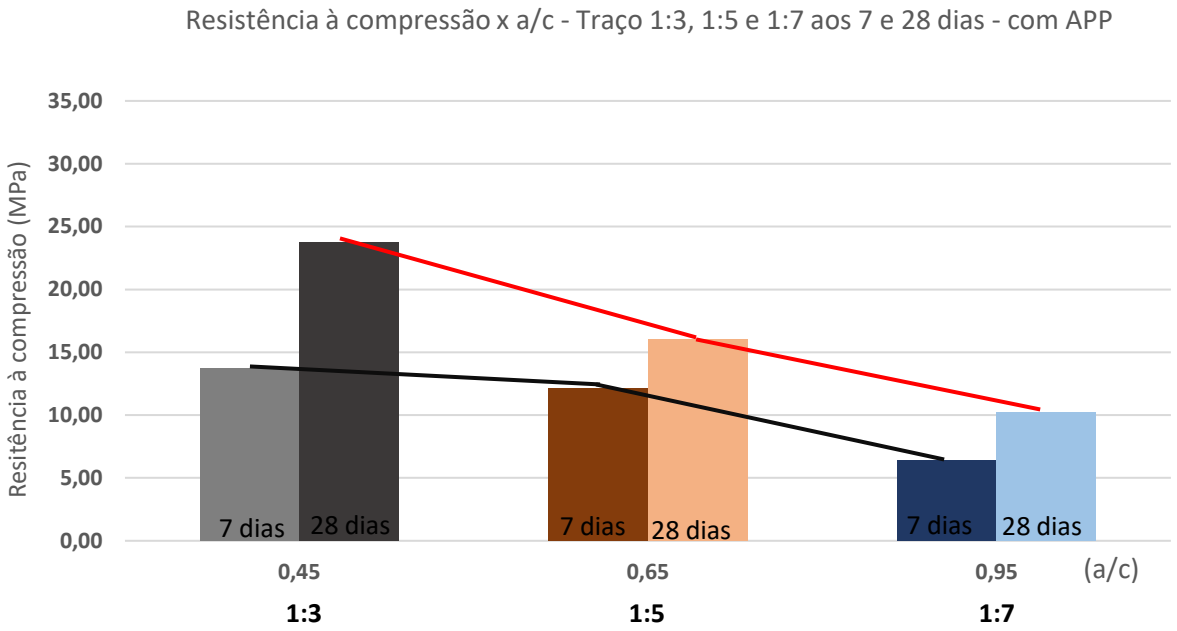
Figura 55. Aumento da resistência média à compressão dos blocos de 7 para 28 dias para os traços 1:3, 1:5 e 1:7 com AAP



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 56, apresenta a relação entre a resistência média à compressão segundo e a relação água cimento utilizada para cada bloco confeccionado, levando em consideração os traços 1:3, 1:5 e 1:7 na confecção dos blocos para 7 e 28 dias.

Figura 56. Resistência média dos blocos 1:3, 1:5 e 1:7 para 7 e 28 dias relacionando o teor de água/cimento da mistura

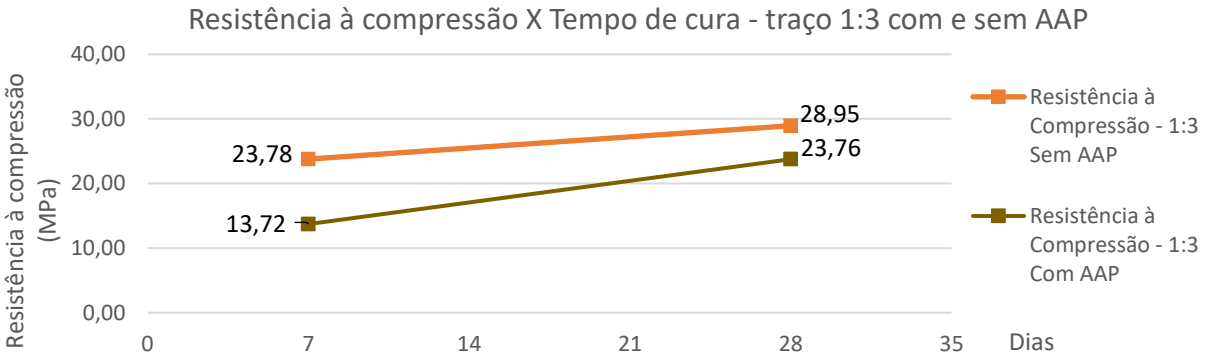


Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.1.3 Comparação entre blocos sem e com aditivo acelerador de pega (AAP)

Os resultados obtidos para os blocos isoladamente para ambos os traços de 1:3, com a diferença que em um destes traços foi incorporado AAP, enquanto que no outro não, tais resultados mostraram que os blocos confeccionados com AAP obtiveram uma menor resistência à compressão. Outro dado que é visível notar no gráfico é que o ganho de resistência dos blocos fabricados com a mistura com AAP incorporado, foi maior do que a mistura sem incorporação de AAP, como ilustrado na Figura 57.

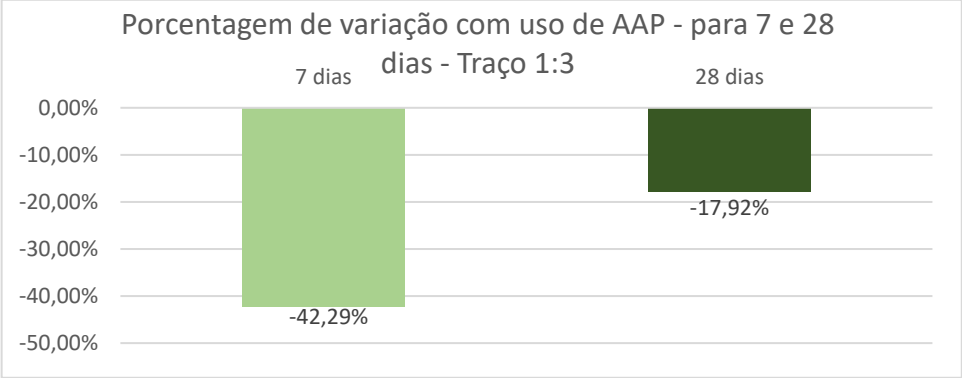
Figura 57. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:3 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Aos 7 dias a queda da resistência à compressão com a incorporação de AAP foi de 42,29% e aos 28 dias esta queda apresentou o valor de 17,92%, como apresentado na Figura 58.

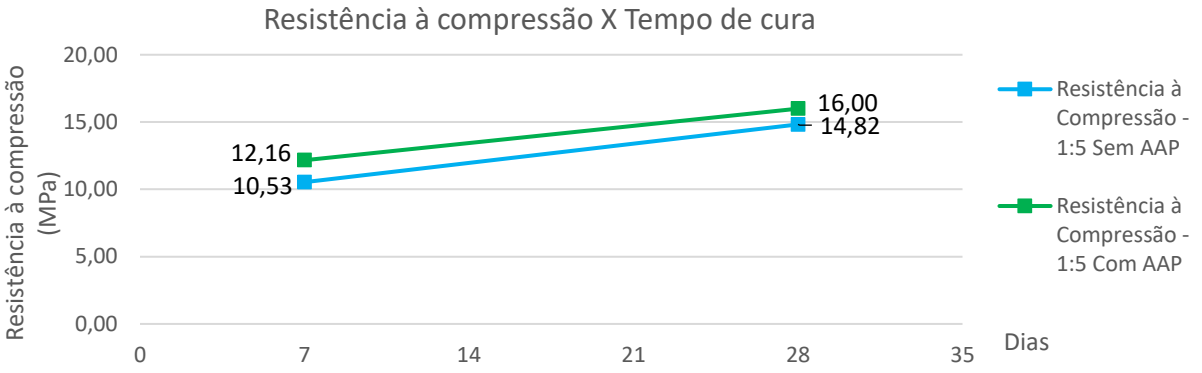
Figura 58. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:3 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Os resultados adquiridos para os blocos com traços de 1:5, diferenciando na incorporação de AAP, tais resultados mostraram que os blocos confeccionados com AAP tiveram uma maior resistência à compressão. Para este traço o ganho de resistência dos blocos fabricados com a mistura com AAP incorporado, foi similar ao da mistura que não continha incorporação de AAP, como ilustrado na Figura 59.

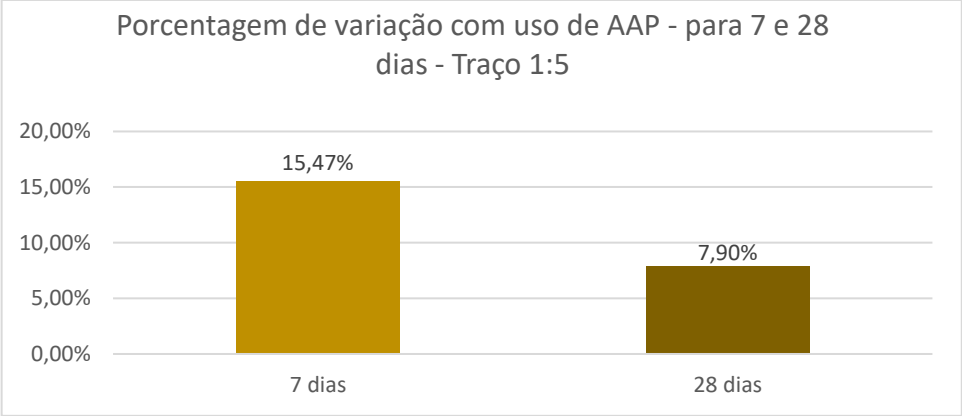
Figura 59. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:5 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Aos 7 dias houve um aumento da resistência à compressão com a incorporação de AAP de 15,47% e aos 28 dias o valor obtido foi de 7,90%, como apresentado na Figura 60.

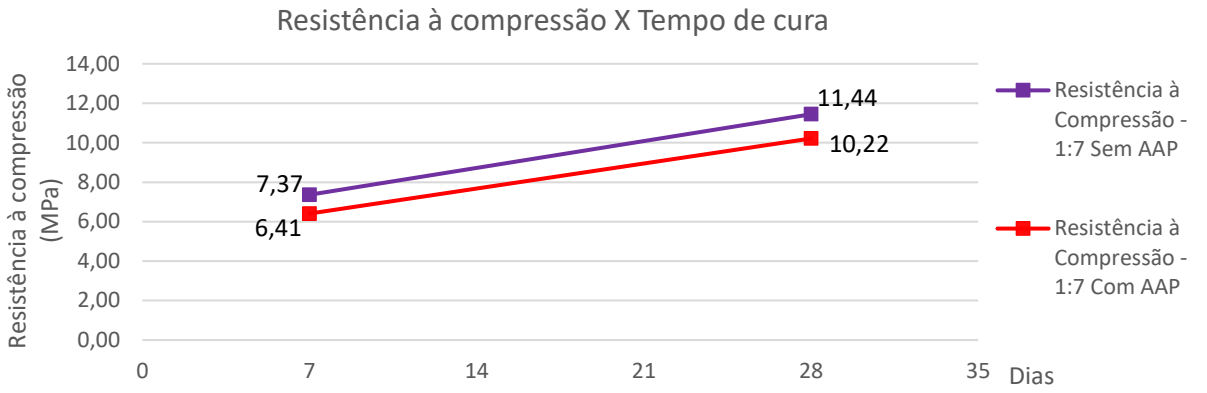
Figura 60. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:5 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Após ensaiados os blocos com 7 dias e 28 dias para o traço de 1:7, considerando inicialmente a não incorporação de AAP e, num segundo momento considerando a incorporação de AAP, culminou nos seguintes resultados: os blocos confeccionados com AAP tiveram uma menor resistência à compressão. A progressão do ganho de resistência dos blocos fabricados com a mistura com AAP incorporado, seguiu uma tendência similar a progressão da mistura sem incorporação de AAP, como se nota na Figura 61.

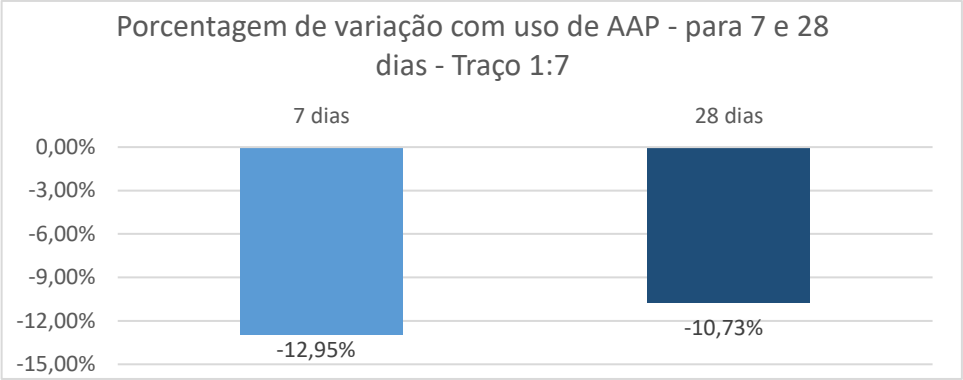
Figura 61. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:7 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Aos 7 dias a queda da resistência à compressão com a incorporação de AAP foi de 12,95% e aos 28 dias esta queda apresentou o valor de 10,73%, como ilustrado na **Figura 62**.

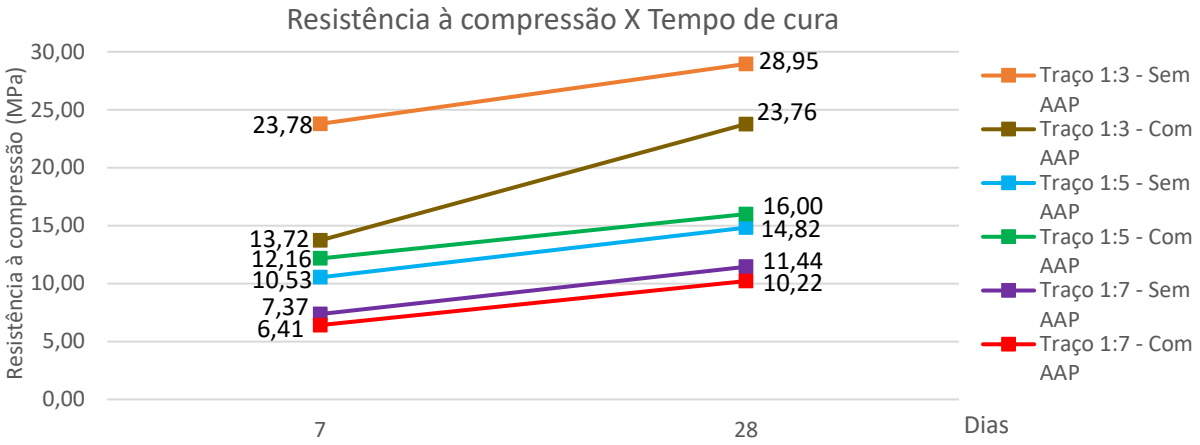
Figura 62. Porcentagem de variação resistência à compressão a 7 e 28 dias para o traço 1:7 após a utilização de aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Através dos ensaios realizados, de acordo com cada traço e suas devidas idades, assim como da utilização ou não da incorporação de AAP na mistura, tornou-se perceptível que a resistência à compressão foi maior nos traços onde a mistura foi mais rica e, com exceção do traço 1:5, o aditivo acelerador de pega incorreu numa perda de resistência do concreto, consequentemente do bloco, com exceção dos blocos com traço 1:5, como ilustrado na Figura 63.

Figura 63. Comparação da resistência à compressão e tempo de cura para o traço 1:3, 1:5 e 1:7 com e sem utilização do aditivo acelerador de pega (AAP)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Tabela 10 traz informações referentes a resistências à compressão axial dos blocos de acordo com os traços definidos, tempo de ruptura, desvios padrões e os coeficientes de variação obtidos através dos ensaios de compressão axial dos blocos.

Tabela 10. Resistência à compressão axial dos blocos com 7 e 28 dias

Mistura sem AAP					
Resistência à compressão axial (MPa)					
1:3		1:5		1:7	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
23,78±1,67	28,95±1,23	10,53±0,29	14,82±0,70	7,37±0,21	11,44±0,19
Coef. Var.					
7,02%	4,25%	2,75%	4,72%	2,85%	1,66%
Mistura com AAP					
Resistência à compressão axial (MPa)					
1:3		1:5		1:7	
7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
13,72±1,41	23,76±1,98	12,16±0,81	16,00±0,72	6,41±1,00	10,22±0,39
Coef. Var.					
10,28%	8,33%	6,66%	4,50%	15,60%	3,82%

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Segundo a NBR 6136:2016 todos os blocos alcançaram resistência para ser enquadrados como unidades com função estrutural e classificados como blocos de Classe A, isto é, $f_{pk} \geq 8{,}0MPa$ (Tabela 2).

Os resultados de resistência à compressão da mistura 1:3, aos 28 dias (Tabela 10), estão bem próximos dos resultados encontrados por Zhu *et al* (2017) e Mohamad *et al* (2017), 25.73 MPa e 23.10 MPa, aos vinte e oito dias, respectivamente. Entretanto, estes autores não citam as dosagens do concreto, que foram utilizadas na fabricação do bloco, visto que o objetivo era comparar os resultados com simulações computacionais.

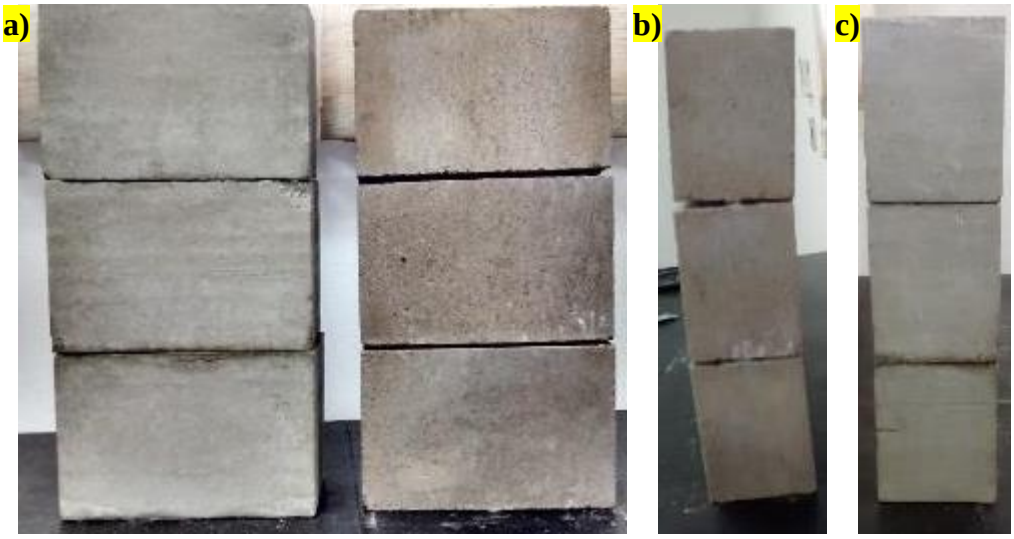
Barbosa *et al* (2010) usando a mistura 1:6.4 encontrou 13.7 e 11.2 MPa, variando a relação água cimento. Estes resultados estão próximo aos alcançados na pesquisa com a mistura de 1:7 (Tabela 10), sendo que a mistura sem AAP, alcançou resultado superior ao resultado de 11.2 MPa, com menor consumo de cimento.

Ao comparar a mistura 1:6 de Barbosa *et al* (2010), com 15 MPa de resistência à compressão, é possível perceber que esta ficou bem próxima da resistência alcançada na mistura 1:5 da presente pesquisa (Tabela 10). Sendo que a mistura com AAP alcançou valor um pouco superior e sem AAP um pouco inferior. Já a mistura 1:4.4 apresentou resultado superior à mistura 1:5 e inferior à mistura 1:3, com e sem AAP, conforme era de se esperar.

4.2.1.4 Face de assentamento dos blocos fabricados com concreto fluido

O acabamento realizado nas faces de assentamento dos blocos de concreto fluido ainda na fase de produção dos blocos, permitiu a utilização da argamassa polimérica, uma vez que as irregularidades ora encontradas nos blocos industriais de concreto não ocorreram nos blocos de concreto fluido, contribuindo para uma diminuição visivelmente considerável para a espessura da junta de assentamento. Como também, as faces de assentamento mais regulares dos blocos de concreto fluido, possibilita manter os blocos assentados a prumo mais facilmente, o que pode contribuir e muito para a produtividade em obra (Figura 64).

Figura 64. Face de assentamento dos blocos – a) bloco com concreto fluido à esquerda e bloco industrial de concreto à direita - b) bloco industrial de concreto - c) bloco com concreto fluido



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.1.5 Tempo de desforma utilizando AAP

Outro dado importante e medido, quanto ao concreto fluido veio através da utilização do aditivo acelerador de pega (AAP), onde se buscou desmoldar corpos de prova do concreto fluido confeccionados, almejando encontrar um tempo favorável para a desforma dos blocos quando o concreto utilizado recebesse em sua mistura a incorporação de AAP, tais dados estão contidos na Tabela 11. Estes dados auxiliam na otimização do tempo de desforma, ao mesmo tempo que contribui para o aumento da produtividade dos blocos com uma mesma forma.

Tabela 11. Tempo de desmoldagem com AAP

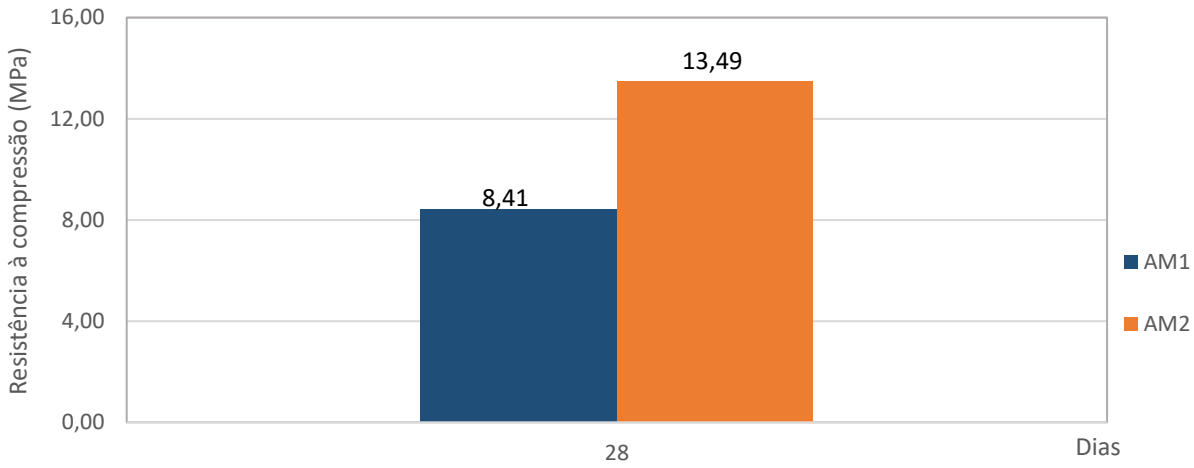
Traço	Início da moldagem com AAP (hh:mm)	Início da desmoldagem com AAP (hh:mm)	Tempo até a desmoldagem com AAP (hh:mm)	Tempo até a desmoldagem sem AAP (h)	Razão do tempo até a desmoldagem com AAP e sem AAP (%)	Diminuição do tempo de desmoldagem (%)
1:3	08:53	14:35	05:42	24,00	23,75	76,25
1:5	09:17	15:05	05:48	24,00	24,17	75,83
1:7	09:36	16:35	06:59	24,00	29,10	70,90

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.2 Ensaios de argamassas

Os ensaios, para as argamassas de assentamentos utilizadas nos prismas, seguiram as regulamentações presentes na norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Os resultados que seguem na Figura 65 são referentes aos ensaios de compressão das argamassas mistas AM1 e AM2.

Figura 65. Resistência média à compressão das argamassas AM1 e AM2 para 28 dias



Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.3 Ensaios de prismas

Os ensaios dos prismas, possibilitaram medir suas resistências características à compressão axial e, analisar suas deformações com auxílio dos *Strain-Gages* e LVDTs. As Tabelas 12 e 13 trazem os resultados de resistência à compressão para os prismas com blocos de mistura 1:3, 1:5 e 1:7, para três diferentes argamassas na idade de 28 dias, para o concreto sem incorporação do AAP e com incorporação do AAP, respectivamente. Estes valores foram utilizados para se chegar a resistência estimada da alvenaria (f_k).

Tabela 12. Fase 1 – Prismas de blocos sem incorporação de AAP

Fase 1 - Misturas sem incorporação de aditivo acelerador de pega (AAP)											
Mistura		Junta		Mistura		Junta		Mistura		Junta	
1:3	Resistência à compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa	1:5	Resistência à compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa	1:7	Resistência à compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa
Prismas				Prismas				Prismas			
1	39,80	POL	33,46±4,75	1	24,43	POL	22,36±2,06	1	16,08	POL	16,46±0,93
2	32,23	POL		2	23,08	POL		2	15,56	POL	
3	28,35	POL		3	19,56	POL		3	17,75	POL	
4	21,02	AM2	26,31±6,23	4	32,96	AM2	30,65±2,45	4	14,11	AM2	15,08±0,70
5	35,05	AM2		5	31,72	AM2		5	15,69	AM2	
6	22,85	AM2		6	27,25	AM2		6	15,45	AM2	
7	23,32	AM1	25,18±3,65	7	23,21	AM1	23,88±2,22	7	16,10	AM1	15,69±0,33
8	21,94	AM1		8	21,56	AM1		8	15,28	AM1	
9	30,29	AM1		9	26,86	AM1		9	15,69	AM1	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 13. Fase 2 – Prismas de blocos com incorporação de AAP

Fase 2 - Misturas com incorporação de aditivo acelerador de pega (AAP)											
Mistura		Junta		Mistura		Junta		Mistura		Junta	
1:3	Resistência à Compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa	1:5	Resistência à Compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa	1:7	Resistência à Compressão	Tipo de argamassa	Média (por junta) - MPa
Prismas				Prismas				Prismas			
1	30,73	POL	32,98±2,60	1	20,57	POL	22,50±1,88	1	15,41	POL	15,88±1,54
2	31,59	POL		2	21,87	POL		2	17,96	POL	
3	36,62	POL		3	25,05	POL		3	14,27	POL	
4	20,11	AM2	22,82±5,42	7	18,85	AM2	16,19±6,00	7	15,69	AM2	14,22±1,30
5	30,39	AM2		8	7,88	AM2		8	12,53	AM2	
6	17,96	AM2		9	21,82	AM2		9	14,45	AM2	
7	13,42	AM1	22,07±6,12	4	21,82	AM1	24,45±1,88	4	11,17	AM1	14,51±2,37
8	26,77	AM1		5	25,38	AM1		5	16,49	AM1	
9	26,03	AM1		6	26,15	AM1		6	15,85	AM1	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Foi possível notar que os prismas reagiram de acordo com o esperado, no que tange a resistência à compressão. Primeiramente, quando se leva em conta as variadas misturas dos

concretos utilizados na fabricação dos blocos, as misturas com maior percentual de cimento em sua composição alcançaram maiores resistências.

Em relação às argamassas, os prismas assentados com argamassa POL forneceram maiores resultados de resistência à compressão axial em relação aos assentados com argamassa AM1 e AM2, para a mistura do bloco com maior consumo de cimento. Isso ocorreu tanto para as misturas do bloco de concreto com AAP como para as misturas sem AAP.

Nas misturas dos blocos com menor consumo de cimento, os prismas com diferentes argamassas apresentaram resultados de resistência bem próximos, sendo que a mistura 1:5, sem AAP, apresentou um resultado um pouco maior para a argamassa AM1 (Tabelas 12).

Os resultados de resistência à compressão dos prismas (Tabelas 12 e 13) se mostraram superiores aos da literatura, tanto para os prismas confeccionados com o bloco sem AAP quanto com AAP.

Ao comparar os resultados dos prismas com os de Zhu *et al* (2017), é observado que a mistura com menor consumo de cimento (1:7) deste estudo (Tabelas 12 e 13) obtiveram resultados superiores à quase todos os resultados obtidos pelos autores. Estes alcançaram resistência de prisma de 8.63, 13.97, 14.17 e 19.71 MPa ao variar a dimensão dos blocos e as argamassas de assentamento. Interessante notar que os blocos individualmente apresentaram resistências à compressão próximas à mistura 1:3, enquanto que os prismas apresentaram resistências muito superiores. Isso indica que a face do bloco com menos imperfeições teve grande influência na resistência.

Mohamad *et al* (2017) obtiveram a resistência de prismas para três diferentes combinações de argamassas de assentamento, 14.9, 14.3 e 13.9 MPa, sendo as misturas das argamassas de 1:0.25:3, 1:0.5:4.5 e 1:1:6, respectivamente. Ao comparar os valores de resistência dos prismas de Mohamad *et al* (2017) com os das Tabelas 12 e 13, se observa que a mistura 1:7, com menor consumo de cimento, apresentou resultados superiores a quase todos os resultados de Mohamad *et al*. A exceção foi o valor de 14.9, encontrado por Mohamad *et al* (2017), que ficou muito próximo da mistura do bloco 1:7 com AAP, utilizando a argamassa AM1, a qual apresentou a menor resistência. Novamente é perceptível a grande influência da irregularidade da face do bloco, levando em consideração que os blocos vibro prensados possuem uma face mais irregular. Assim como aconteceu com os resultados dos blocos de Zhu *et al* (2017), os de Mohamad *et al* (2017) também apresentaram resistência bem próximas à

mistura com maior consumo de cimento e nos prismas os resultados mostraram, em sua maioria, resultados inferiores às misturas de menor consumo de cimento.

Da mesma forma que aconteceu com os resultados de Zhu *et al* (2017) e Mohamad *et al* (2017), Barbosa *et al* (2010) também obtiveram resistência dos prismas, em geral, inferiores às resistências encontradas neste estudo. Barbosa *et al* (2010), ao variar a composição da mistura do concreto, que foi usado para confecção dos blocos, alcançaram as resistências de prismas de 10.2, 10.0, 12.0 e 16.9 MPa. Novamente ao comparar esses valores com os obtidos nas Tabelas 12 e 13, observa-se que somente um valor de resistência foi maior que as misturas 1:7, entretanto o consumo de cimento da literatura foi maior. Portanto, assim como os resultados de Zhu *et al* (2017) e Mohamad *et al* (2017), os resultados dos prismas deste estudo se mostraram muito superiores aos de Barbosa *et al* (2010), sendo que o mesmo não aconteceu para os blocos. Isso sinaliza a grande influência da face do bloco na resistência do prisma.

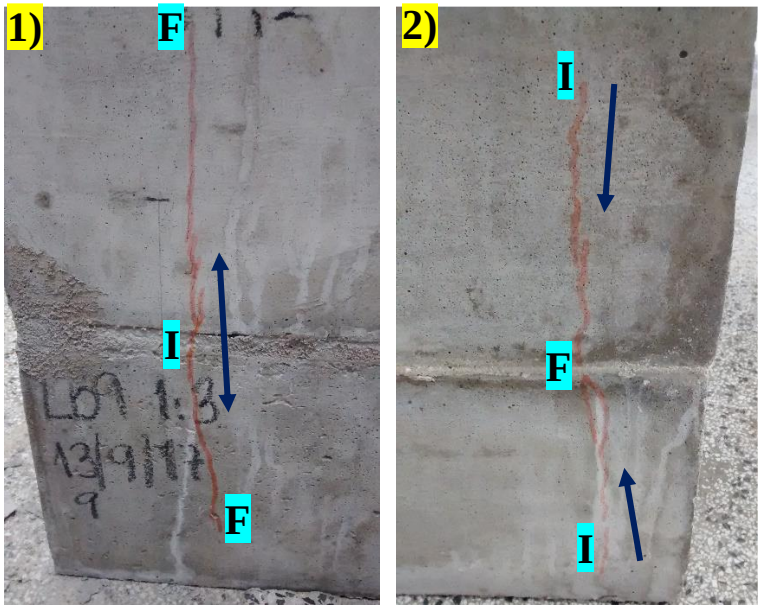
As rupturas ocorridas nos prismas, de fato, em sua totalidade demonstraram formas de rupturas como os estabelecidos na ASTM C1314, conforme ilustrado na Figura **66**. Ainda, notou-se que para alguns prismas, principalmente os prismas com blocos do traço 1:3 e às vezes os do traço 1:5, romperam de forma abrupta (explodiram). Ainda, pode-se notar que para os prismas com argamassa mistas convencionais (AM1 e AM2) as fissuras partiram das argamassas rumo aos blocos, o que não foi observado no caso de prismas assentados com argamassa polimérica, os quais ocorreram o contrário, as fissuras se iniciaram nos blocos encaminhando-se para a argamassa (Figura 67).

Figura 66. Formas de rupturas dos prismas – a) cone e divisão - b) separação da face - c) início de ruptura semicônica - d) cisalhamento - e) semicônica - f) indefinida (explosão)



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 67. Propagação das fissuras nos prismas (I-início e F-fim) – 1) AM1 - 2) Polimérica



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com os resultados obtidos nos ensaios de ruptura à compressão dos prismas e devidamente calculada suas resistências estimadas ($f_{ck,est}$), as mesmas foram utilizadas para estimar a resistência característica da alvenaria (f_k).

Os valores das resistências estimadas dos prismas ($f_{ck,est}$) podem ser visualizados de acordo com o traço especifico e argamassa utilizada no assentamento dos blocos para a confecção dos prismas na Tabela 14.

Os procedimentos de cálculo para as resistências estimadas dos prismas ($f_{ck,est}$) podem ser conferidos no APÊNDICE I. Enquanto, as resistências estimadas da alvenaria (f_k) podem ser calculadas minorando as resistências dos prismas em 30% ($f_k = 0{,}7 * f_{ck,est}$), os resultados das resistências da alvenaria (f_k) estão contidas na Tabela 15.

Tabela 14. Resistência estimada dos prismas ($f_{ck,est}$)

	Sem Aditivo Acelerador de Pega			**Com Aditivo Acelerador de Pega**		
	$f_{ek,est}$ (MPa)			$f_{ek,est}$ (MPa)		
Traço	**Argamassas**			**Argamassas**		
	Polimérica	**AM1**	**AM2**	**Polimérica**	**AM1**	**AM2**
1:3	22,68	17,55	16,82	24,58	10,74	14,37
1:5	15,65	17,25	21,80	14,46	17,46	6,30
1:7	12,45	12,22	11,29	11,42	8,94	10,02

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 15. Resistência estimada da alvenaria através dos prismas (f_k)

	Sem Aditivo Acelerador de Pega			Com Aditivo Acelerador de Pega		
	$f_k(MPa)$			$f_k(MPa)$		
Traço	**Argamassas**			**Argamassas**		
	Polimérica	**AM1**	**AM2**	**Polimérica**	**AM1**	**AM2**
1:3	15,88	12,29	11,77	17,21	7,52	10,06
1:5	10,96	12,08	15,26	10,12	12,22	4,41
1:7	8,72	8,55	7,90	7,99	6,26	7,01

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Outro fator bastante importante que se pôde medir através dos ensaios de alvenaria, foi a eficiência proveniente da relação da resistência da alvenaria (f_k) com a resistência dos blocos (f_b). A Tabela 16 traz em resumo as resistências médias aos 28 dias dos blocos para os traços 1:3, 1:5 e 1:7. Já, a Tabela 17 traz os valores das eficiências calculadas para os traços 1:3, 1:5 e 1:7.

Tabela 16. Resistência média dos blocos aos 28 dias (f_b)

Traço	**Resistência média à compressão axial dos blocos aos 28 dias (MPa)**	
	Sem AAP	**Com AAP**
1:3	28,95	23,76
1:5	14,82	16,00
1:7	11,44	10,22

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 17. Eficiência relacionando alvenaria e blocos ($\eta = f_k/f_b$)

	Sem Aditivo Acelerador de Pega			Com Aditivo Acelerador de Pega		
	η			η		
Traço	Argamassas			Argamassas		
	Polimérica	AM1	AM2	Polimérica	AM1	AM2
1:3	0,55	0,42	0,41	0,72	0,32	0,42
1:5	0,74	0,81	1,03	0,63	0,76	0,28
1:7	0,76	0,75	0,69	0,78	0,61	0,69

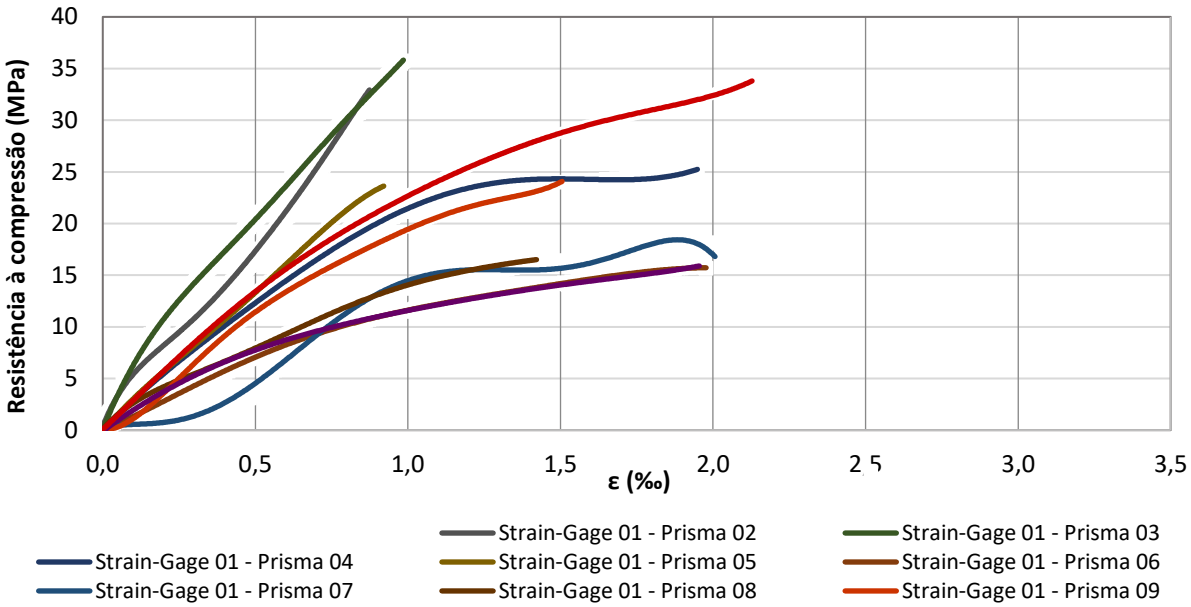
Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.3.1 Fase 01

Os ensaios de prismas com Strain-Gages foram realizados até as devidas cargas de ruptura, somente após a ruptura que foi efetuada a parada de leitura de dados. Entretanto, nos ensaios com LVDT (Todos os prismas foram ensaiados com LVDT), tais instrumentos de leitura foram removidos com aproximadamente 70% da carga de ruptura, uma vez, visando não danificar o equipamento por não conhecer o comportamento em sua totalidade dos prismas constituídos com blocos de concreto fluido.

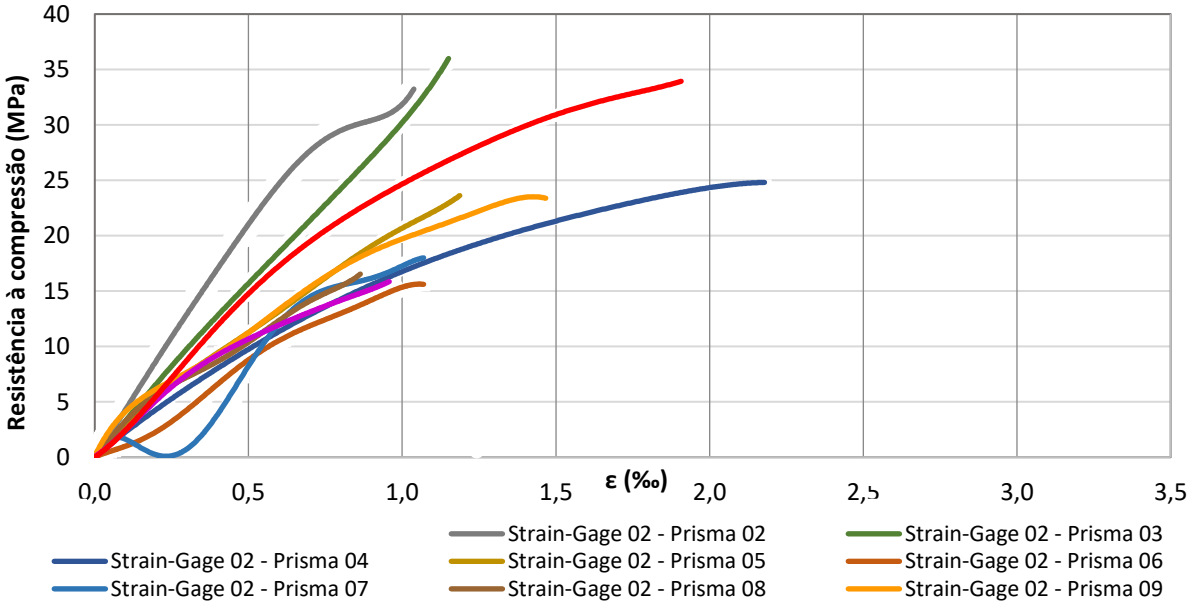
Com relação ao ensaio de Strain-Gages, as deformações observadas nos blocos dos prismas variaram entre próximas de 1,00‰ e ligeiramente maior que 2,00‰, a mínima e máxima respectivamente. Podendo-se observar deformações características de materiais frágeis, como no caso, o concreto, de acordo com a Figura 68 que ilustra deformações para o Strain-Gage 01 posicionado de um lado do prisma e a Figura 69 que ilustra deformações para o Strain-Gage 02 posicionado do outro lado do prisma, sempre em diagonal um com outro. Ainda, é possível visualizar a não linearidade do material, também característico do concreto.

Figura 68. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – Strain-Gages 01



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 69. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – Strain-Gages 02

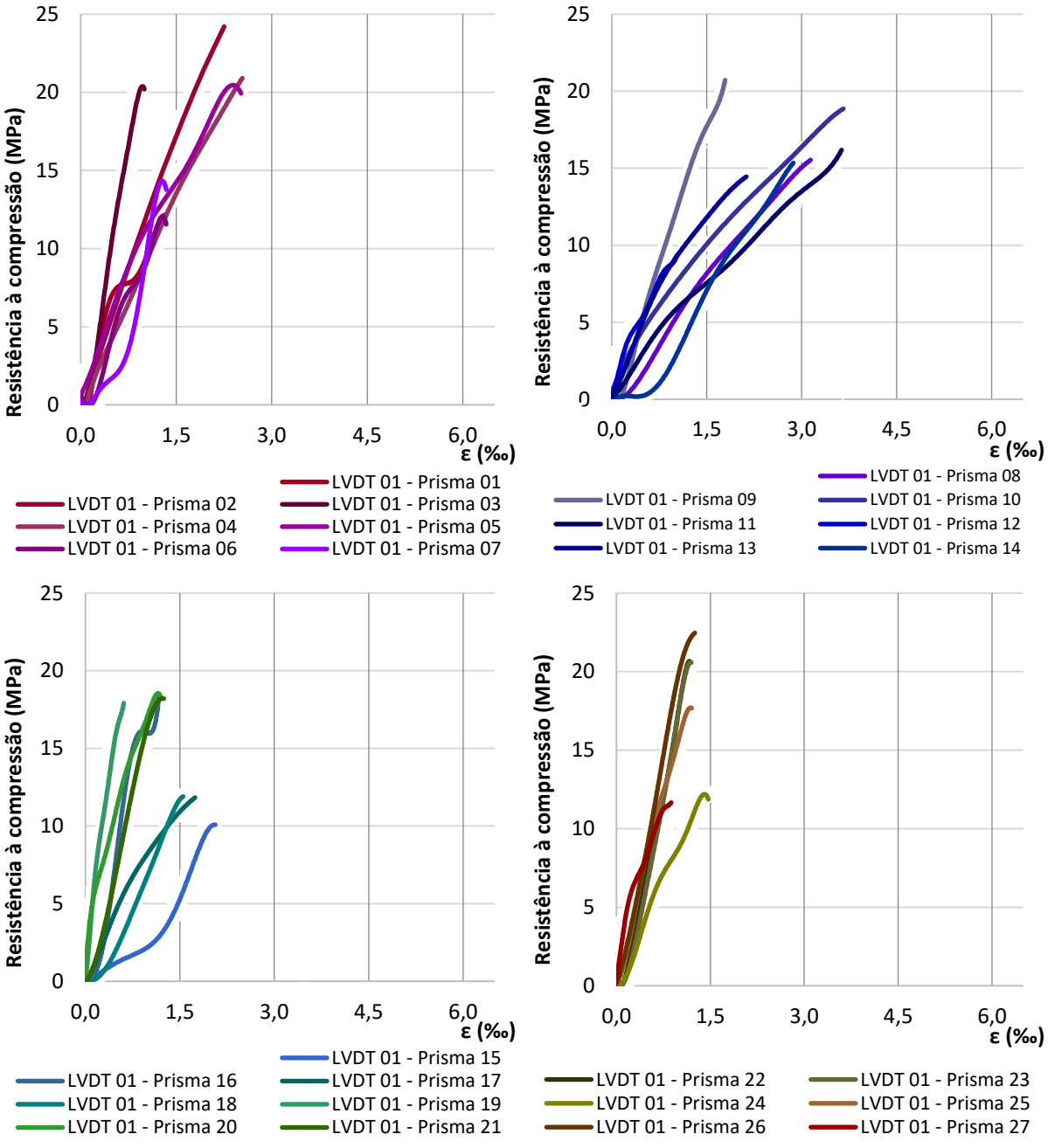


Fonte: Elaboração do próprio autor.

A Figura 70 e Figura 71, trazem os resultados das deformações obtidas através dos ensaios de LVDTs, onde as deformações observadas ficaram delimitadas abaixo de 1,00‰ e próximas a 3,50‰ para o LVDT 01, enquanto que para o LVDT 02 esta delimitação ficou próxima de 1,50‰ e acima de 4,00‰, o que é explicável, uma vez que as leituras formam

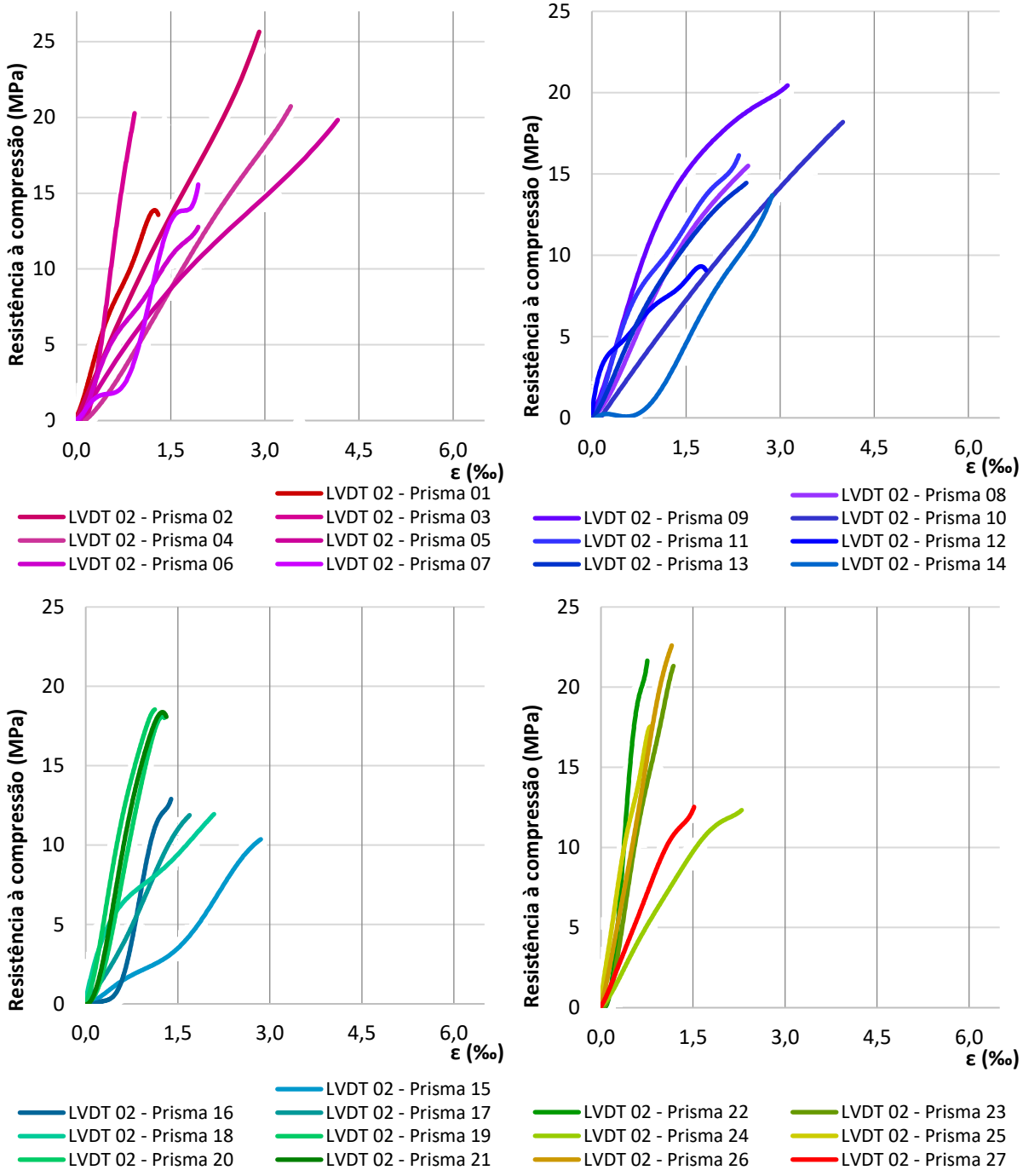
realizados num intervalo do elemento, basicamente, uma leitura da deformação ocasionada da interação do trecho constituído de bloco-argamassa-bloco.

Figura 70. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – LVDT 01



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 71. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 01 – LVDT 02

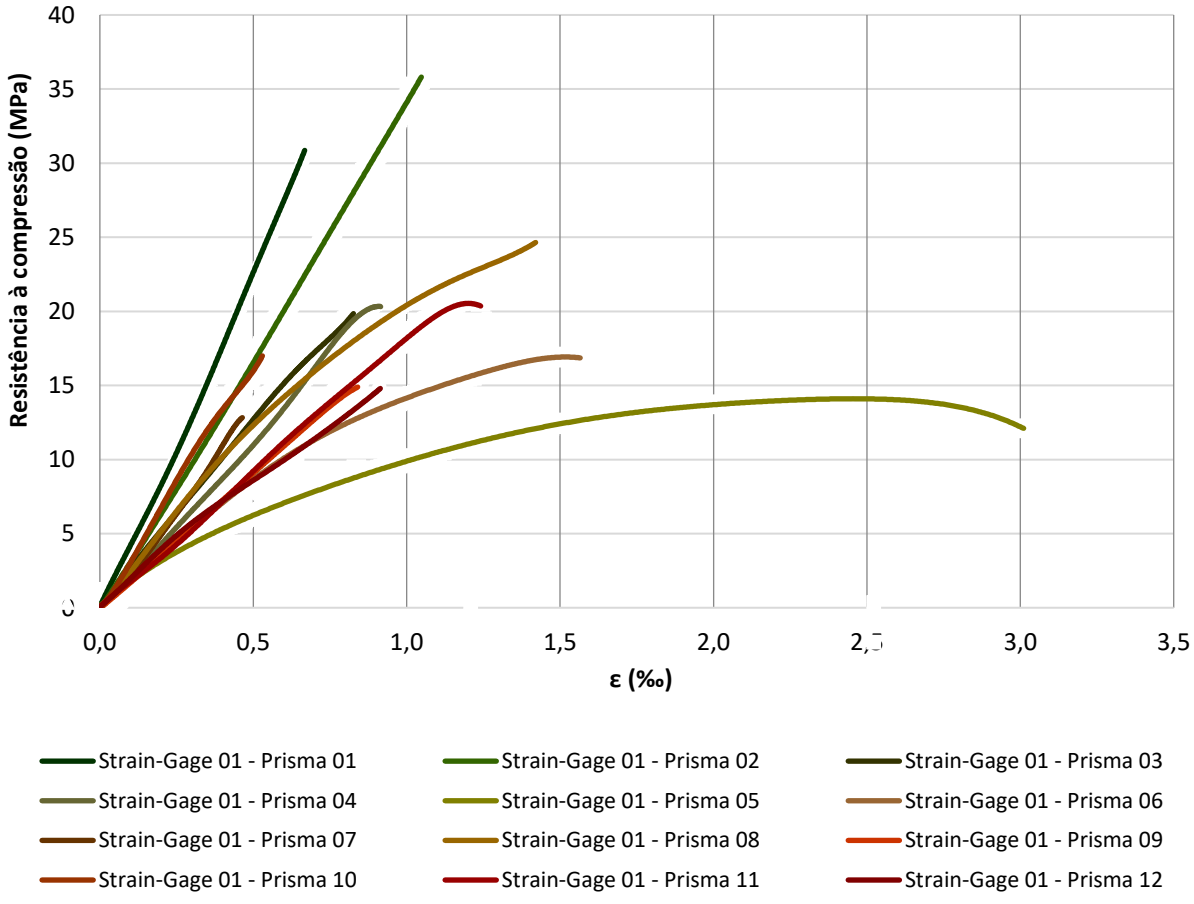


Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2.3.2 Fase 02

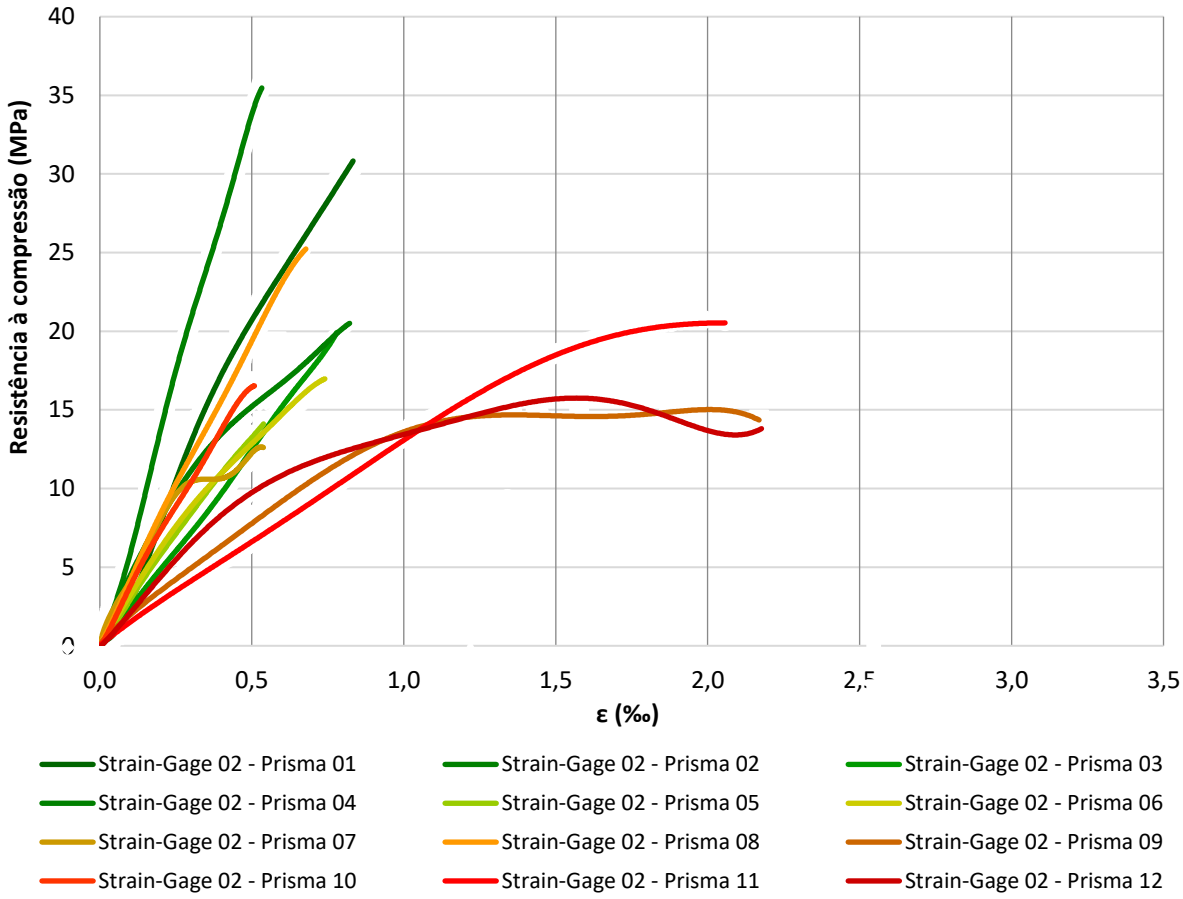
Com relação ao ensaio de Strain-Gages, as deformações observadas nos blocos dos prismas variaram entre próximas de 0,50‰ e ligeiramente maior que 3,00‰, a mínima e máxima respectivamente. Podendo-se observar deformações características de materiais frágeis, como no caso, o concreto, de acordo com a Figura 72 que ilustra deformações para o Strain-Gage 01 posicionado de um lado do prima e a Figura 73 que ilustra deformações para o Strain-Gage 02 posicionado do outro lado do prisma, sempre em diagonal um com outro. Ainda, é possível visualizar a não linearidade do material, também característico do concreto.

Figura 72. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – Strain-Gages 01



Fonte: Elaboração do próprio autor

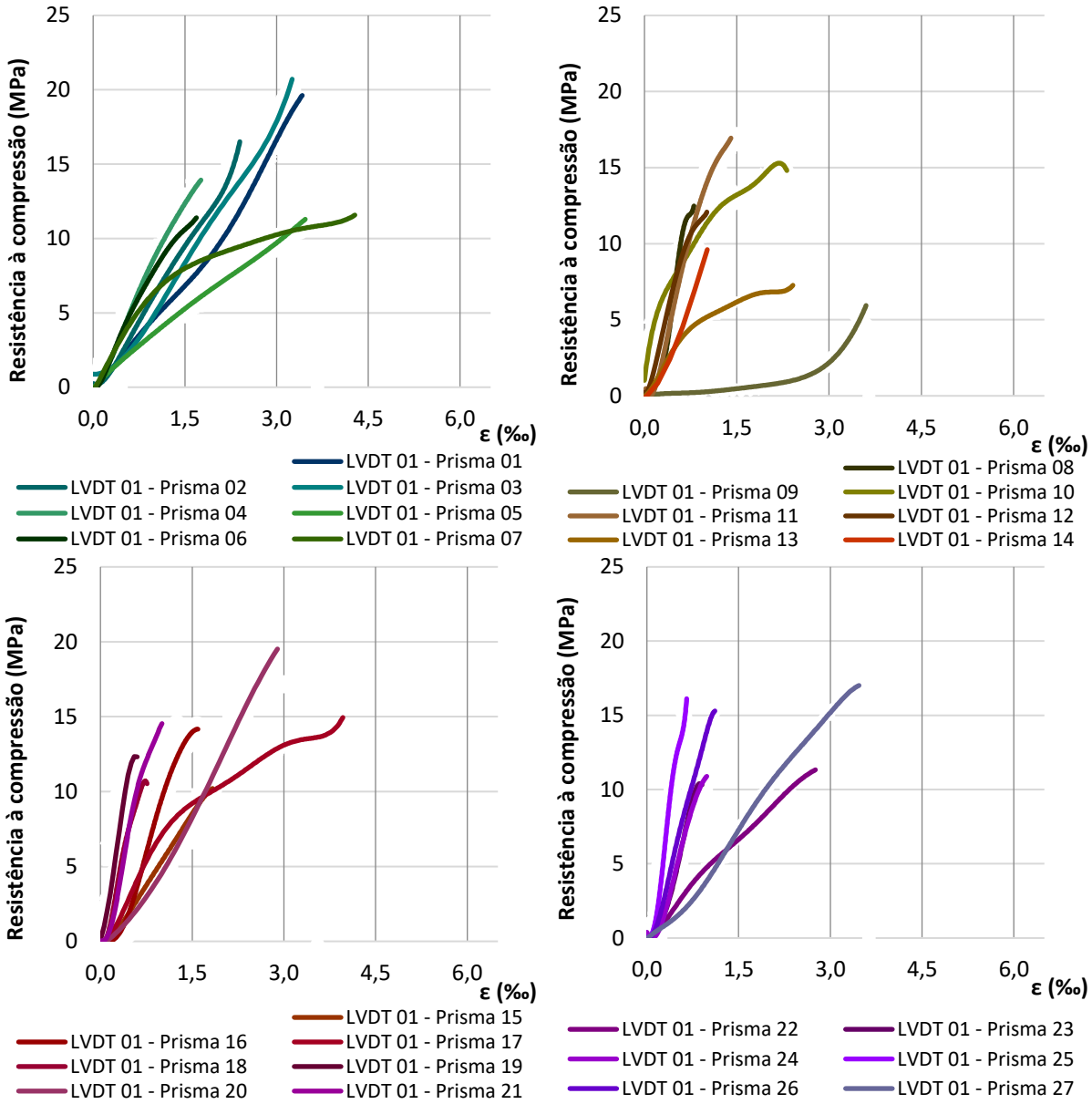
Figura 73. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – Strain-Gages 01



Fonte: Elaboração do próprio autor.

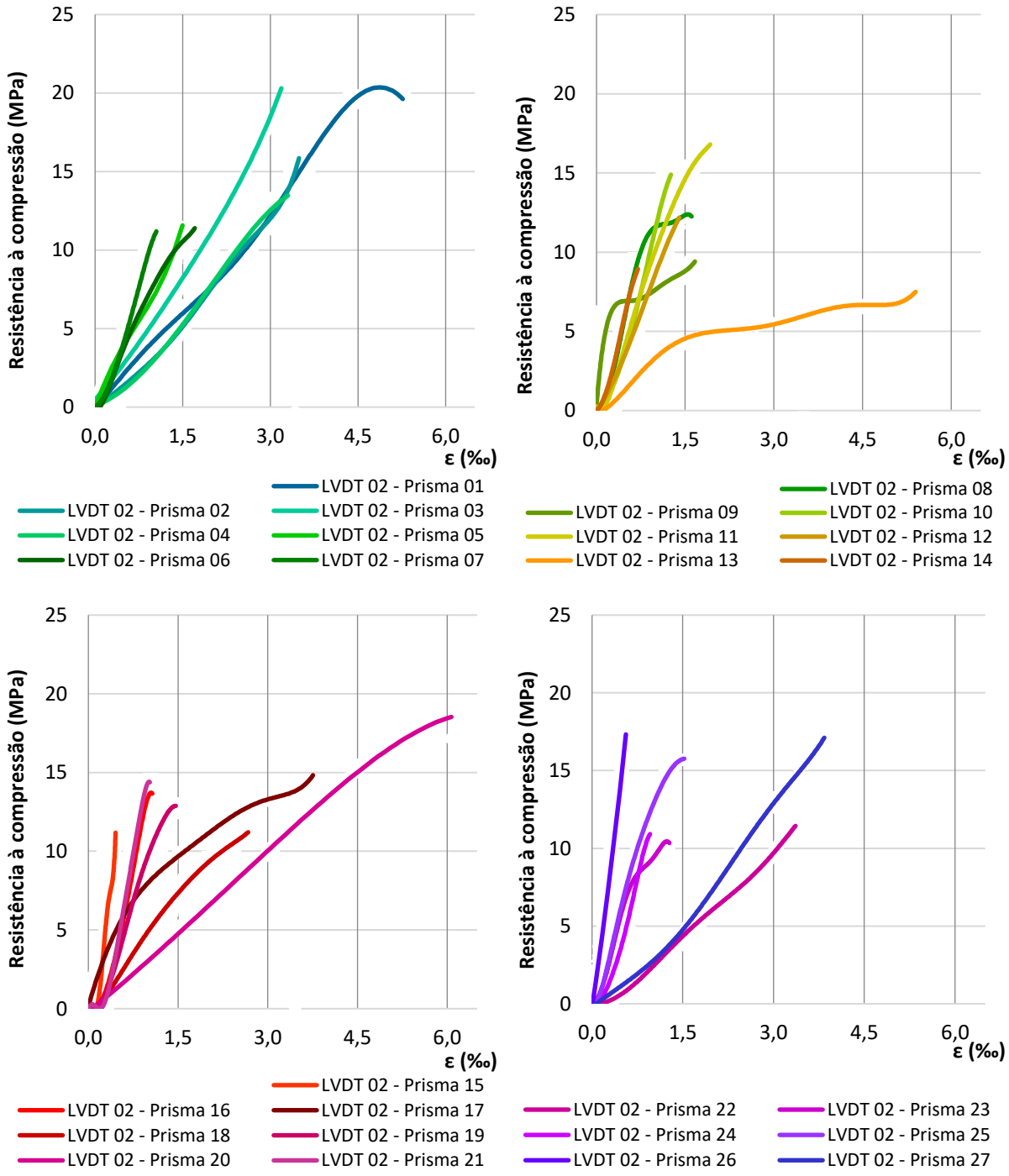
A Figura 74 e a Figura 75, demonstram os resultados das deformações obtidas através dos ensaios de LVDTs, onde as deformações observadas ficaram delimitadas abaixo de 0,75‰ e próximas a 4,50‰ para o LVDT 01, enquanto que para o LVDT 02 esta delimitação ficou próxima de 0,75‰ e acima de 6,00‰, o que é explicável, uma vez que as leituras foram realizados num intervalo do elemento, basicamente, uma leitura da deformação ocasionada da interação do trecho constituído de bloco-argamassa-bloco.

Figura 74. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – LVDT 01



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 75. Tensão X Deformação (Área Líquida) – Fase 02 – LVDT 02



Fonte: Elaboração do próprio autor.

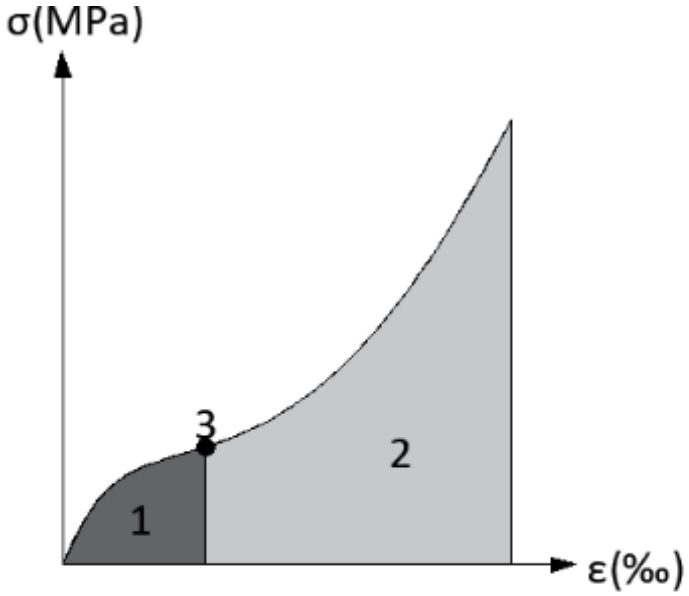
Alguns resultados, demonstraram uma inversão na curva de tensão-deformação, alterando a concavidade da curva, no início voltada para baixo e voltando-se para cima à medida que o ensaio prosseguiu, ou já partindo com concavidade voltada para cima já no início do

ensaio, o que denota um ganho de rigidez dos prismas, o que é algo difícil de ser compreendido. Sabendo que a rigidez (k) é equacionada em função do módulo de elasticidade do material (E), vezes sua área ensaiada (A), divididos pelo comprimento (L), como mostrado na Equação 13. O que levou a entender sobre implicação no ganho de rigidez, foi visualizar com auxílio dos gráficos o aumento na aplicação de força (P) para valores menores de deformações no comprimento (L). Entretanto, somente isto não explica este "ganho de rigidez".

$$k = \frac{EA}{L} = \frac{P}{\delta} = \frac{P}{\frac{PL}{EA}} \qquad \textbf{(13)}$$

A explicação possível, está no reconhecimento da argamassa acomodar as deformações, até um dado instante, onde após limitada a sua deformação, a interação antes ditada pelo conjunto bloco-argamassa-bloco, torna-se apenas uma interação bloco-bloco, contribuindo para esta inversão da curva (Figura 76).

Figura 76. Interação bloco-argamassa-bloco e bloco-bloco



1. Interação bloco-argamassa-bloco
2. Interação bloco-bloco
3. Ponto de acomodação limite (fim da interação bloco-argamassa-bloco e início da interação bloco-bloco)

Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.3 Custo de produção

Uma das questões a se analisar quanto aos blocos estruturais é seu custo de produção. No entanto, torna-se difícil correlacionar o custo operacional que envolve a produção do bloco estrutural de concreto fabricado na indústria com o bloco de concreto fluido, pois há no processo industrial o custo operacional do maquinário e dos operários. Com isso, foi realizado um levantamento, para os traços 1:3 (Tabela 18), 1:5 (Tabela 19) e 1:7 (Tabela 20), considerando apenas os materiais utilizados para fabricação e, o bloco de concreto fluido mostrou-se menos econômico, uma vez que em sua mistura há a incorporação de aditivos o que, no geral, não é o caso do bloco produzido na indústria. Entretanto, se for considerado o custo com maquinário e operários, este custo de produção pode alterar-se e tornar o bloco com concreto fluido mais barato, uma vez que não se utiliza de maquinários como é utilizado no caso do bloco de concreto estrutural de concreto atual.

Tabela 18. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:3

1:3 (30 MPa)						1:3 (30 MPa)					
Material	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**	**Material**	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**
Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	6,00	R$ 150,00	Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	6,00	R$ 150,00
Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,79	R$ 47,28	Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,79	R$ 47,28
Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88	Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88
Superp.	R$ 9,45	fabricante	Kg	0,68	R$ 6,43	Superp.		fabricante			R$ -
AAP	R$ 2,30	fabricante	Kg	2,03	R$ 4,67	AAP		fabricante			R$ -
				Soma =	R$ 257,26					Soma =	R$ 246,16

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 19. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:5

Concreto fluido						Concreto "Seco ou farofa"					
1:5 (25 MPa)						1:5 (25 MPa)					
Material	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**	**Material**	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**
Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	4,00	R$ 100,00	Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	4,00	R$ 100,00
Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,83	R$ 49,68	Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,83	R$ 49,68
Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88	Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88
Superp.	R$ 9,45	fabricante	Kg	0,45	R$ 4,25	Superp.		fabricante			R$ -
AAP	R$ 2,30	fabricante	Kg	1,35	R$ 3,11	AAP		fabricante			R$ -
				Soma =	R$ 205,92					Soma =	R$ 198,56

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Tabela 20. Custos dos materiais do concreto para a fabricação dos blocos - Traço 1:7

Concreto fluido						Concreto "Seco ou farofa"					
1:7 (20 MPa)						1:7 (20 MPa)					
Material	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**	**Material**	**Valor Un.**	**Fonte**	**Un.**	**Qtde**	**Valor**
Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	3,00	R$ 75,00	Cimento CPV-ARI	R$ 25,00	Valor de mercado	Saco (50 kg)	3,00	R$ 75,00
Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,86	R$ 51,84	Areia	R$ 60,00	SINAPI - 11/2017 - Item: 370 e TCPO 13ª	m^3	0,86	R$ 51,84
Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88	Brita 0	R$ 58,47	SINAPI - 11/2017 - Item: 4720 e TCPO 13ª	m^3	0,84	R$ 48,88
Superp.	R$ 9,45	fabricante	Kg	0,34	R$ 3,21	Superp.		fabricante			R$ -
AAP	R$ 2,30	fabricante	Kg	1,02	R$ 2,35	AAP		fabricante			R$ -
				Soma =	R$ 181,28					Soma =	R$ 175,72

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Ainda, vale lembrar que quando se analisa o impacto no custo de produção, expandindo o contexto para a produção em canteiro de obras, a utilização dos blocos estruturais com concreto fluido pode ser mais econômica, pois a interação com a argamassa polimérica (uso e aplicação) foi satisfatória. Com isso, há um ganho de produção no assentamento destes blocos

na constituição da alvenaria e uma diminuição na utilização de mão de obra e, pode se mostrar considerável. Dados obtidos no site da fabricante de argamassa polimérica simulam uma situação de uso e aplicação da argamassa polimérica (Tabela 21).

Tabela 21. Comparação dos custos de produção de alvenaria com argamassas mistas e argamassa polimérica

A = 100 m²	Argamassa Convencional (1:0,5:4,5)		Argamassa Convencional (1:1:6)		Argamassa DUNDUN	
	Quantidade	Valor Total	Quantidade	Valor Total	Quantidade	Valor Total
Bloco Adicional	-	-	-	-	215,5 UN	R$ 280,18
Massa DUNDUN	-	-	-	-	148,8 Kg	R$ 892,87
Cimento	492,8 Kg	R$ 197,11	369,6 Kg	R$ 147,83	-	-
Cal	197,1 Kg	R$ 59,13	295,7 Kg	R$ 88,70		
Areia	1,5 m³	R$ 88,70	1,5 m³	R$ 88,70	-	-
Perdas e Desperdícios	938,7 Kg	R$ 103,48	931,3 Kg	R$ 97,57	1,5 Kg	R$ 8,93
Pedreiro	45,7 h	R$ 981,43	45,7 h	R$ 981,43	20,9 h	R$ 448,03
Auxiliar 1	45,7 h	R$ 560,81	45,7 h	R$ 560,81	20,9 h	R$ 256,02
Auxiliar 2	45,7 h	R$ 560,81	45,7 h	R$ 560,81	-	-
Custo Total	R$ 2.551,47		R$ 2.525,85		R$ 1.886,03	
Tempo Total	45,7 h		45,7 h		20,9 h	
Custo Total m²	R$ 25,51		R$ 25,26		R$ 18,86	

Fonte: Adaptado de FCC adesivos e vedantes (2017)

De acordo com o CUB-SP de dez/2017 que traz o custo do m² de construção de um residencial multifamiliar com 8 pavimentos de padrão normal (R8-N), onde o custo do m² é R$1.329,24 e, os custos de mão de obra são traduzidos em 61,58% (R$818,57) e materiais 35,20% (R$462,92), sendo o restante complementado com despesas administrativas. Tendo em vista a possibilidade da utilização da argamassa polimérica no assentamento dos blocos de concreto fluido e, com isso acarretando em aumento do produção e menor utilização de mão de obra e, com base nos dados do CUB-SP a respeito da mão de obra, provavelmente, este impacto no custo pode ser sim significativo, principalmente, levando-se em conta que quanto maior for a obra, maior será o impacto do uso e aplicação em conjunto do bloco de concreto fluido e a argamassa polimérica.

5. CONCLUSÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados e dos resultados adquiridos, pode-se concluir que:

- Em se tratando da resistência dos blocos aos 28 dias para todos os traços e, retomando os valores preestabelecidos pela NBR 6136:2016, pode-se concluir que todos os blocos podem ser enquadrados como unidades com função estrutural.
- Os blocos enquadrados com função estrutural podem ainda ser classificados como blocos de Classe A, isto é, $f_{pk} \geq 8{,}0MPa$.
- A utilização de AAP induz a uma perda da resistência à compressão do concreto e, consequentemente a perda de resistência à compressão dos blocos estruturais para maiores consumos de cimento, nas misturas com menores consumos de cimento essa perda não se faz tão sensível.
- A resistência à compressão dos blocos apresentou maior crescimento, com a idade, para as misturas com menor teor de cimento, isso ocorreu tanto para a mistura com AAP quanto para a sem AAP.
- As alterações realizadas nos traços quanto ao consumo de cimento acarretaram no aumento da resistência média à compressão dos blocos, o que por si é um resultado comprovado em pesquisas realizadas quando se trata de concreto. Todavia, é importante analisar que a resistência média à compressão dos blocos aos 7 para 28 dias teve um considerável aumento, sendo que no traço 1:3 há um aumento de 21,74%, no traço 1:5 há um aumento de 40,80% e no traço 1:7 há um aumento de 55,31%. Através destas variações, percebe-se que os blocos confeccionados com traços com menor quantidade de cimento tiveram um aumento maior que os com maior quantidade de cimento, mesmo que suas resistências médias sejam inferiores.
- O bloco de concreto fluído mostrou um acabamento superior em relação ao bloco de concreto vibroprensado, sendo que diminuiu significativamente as irregularidades nas faces de assentamento, o que contribui para a aplicação da argamassa polimérica. Portanto, em obra haverá aumento de produtividade quanto ao assentamento de blocos e, consequentemente, menos tempo para finalização das alvenarias.
- Os prismas confeccionados a partir de blocos que utilizaram concreto com incorporação de AAP na mistura apresentaram resultados bem próximos dos prismas confeccionados com

blocos que utilizaram concreto sem a incorporação de AAP, sendo que, no geral, a incorporação de AAP mostrou ligeira queda na resistência à compressão.

- Os prismas assentados com argamassas poliméricas, para a mistura com maior consumo de cimento, apresentaram resistências à compressão superior. Já os prismas confeccionados com misturas de mais baixo consumo de cimento apresentaram resultados de resistência a compressão bem mais próximos com ou sem o uso de AAP. Sendo que a mistura 1:5 POL, sem AAP, apresentou resultado até mesmo inferior que a mistura 1:5 AM1, sem AAP.
- Os resultados de resistência, dos blocos confeccionados com a mistura de maior consumo de cimento deste trabalho, alcançaram valores próximos aos da literatura. Enquanto que os prismas, confeccionados com os blocos de menor consumo de cimento, mostraram valores de resistência superiores aos da literatura. Sendo que os mesmos blocos da literatura, que apresentaram resistências próximas aos blocos de maior consumo de cimento, foram utilizados para confecção dos prismas.
- Nas misturas de maior consumo de cimento, utilizadas na confecção dos blocos, os prismas apresentaram resultados expressivamente superiores aos da literatura.
- Os prismas da Fase 02, os quais os blocos tiveram a incorporação de AAP, resultaram em resistências à compressão axial menores, com exceção da mistura de 1:5, uma das possibilidades de explicação deste efeito pode estar na melhor distribuição granular da mistura (1:5), diminuindo assim quantidade de vazios na mistura.
- Os prismas assentados com argamassas poliméricas para todas as misturas (1:3, 1:5 e 1:7) apresentaram resistências à compressão maiores que as demais argamassas, salvo uma ou outra exceção.
- Os gráficos tensão-deformação dos prismas com argamassa polimérica apresentaram um comportamento um tanto particular, uma vez que a concavidade da curva tensão-deformação se mostrou com concavidade para cima. No início, o prisma apresentou deformação e comportamento parecido com o do concreto, porém houve uma inversão desta curva, o que explica este comportamento é a simples deformação da argamassa polimérica no início da aplicação da carga e, por se tratar de uma camada muito fina (< 5,00 mm), posteriormente, possivelmente as faces dos blocos ficarão em contato, portanto, muito provável que a curva tensão-deformação em dado momento trata do comportamento bloco-bloco e não mais bloco-argamassa-bloco.
- Economicamente, os blocos de concreto fluido se mostram mais caros quando considerados apenas os materiais para sua produção, uma vez que em sua constituição são

incorporados aditivos. Entretanto, considerando o custo operacional, que veio a ser um dos focos desta pesquisa, não necessariamente, os blocos com concreto fluido serão mais caros, porém é difícil afirmar com exatidão uma vez que não se tem um processo em escala maior como é o caso do bloco de concreto estrutural industrial. No entanto, este procedimento mostrou-se com potencial para continuidade de estudos.

- Portanto, este trabalho permite concluir que a irregularidade na face do bloco tem grande influência na resistência do prisma, o qual tem correlação direta com a alvenaria. Isto é um grande indicativo para o uso de blocos confeccionados com concreto fluído.

6. SUGESTÕES

Frente ao exposto e analisado pela pesquisa em questão, mostra-se necessário a realização de algumas análises que não foram possíveis ao longo da pesquisa, uma vez que não foi o objetivo inicial deste trabalho, para tanto surgi a necessidade de realizar algumas sugestões para trabalhos futuros, tais como:

- Estudar como se comporta o bloco quanto a questão da aderência de revestimentos com chapisco, emboço e/ou reboco.
- Estudar como se comporta o bloco quanto a questão da aderência com a utilização de grauteamento.
- Estudar e propor uma a criação de um sistema de fabricação em alta escala de produção, isto é, escala industrial. Otimizando o processo de fabricação melhorando as formas dos blocos estruturais, a exemplo.
- Analisar a interação dos módulos de elasticidade dos prismas assentados com as argamassas mista convencional e polimérica e, confrontá-los, analisando ao mesmo tempo qual seria mais eficiente para alvenarias de blocos de concreto fluido.
- Analisar se com a utilização da argamassa polimérica é possível que se tenha algum ganho em questão de projeto, uma vez que for analisada a questão de uso da argamassa polimérica implicar numa menor perda de resistências à compressão do bloco para o conjunto (alvenaria) ao ponto de permitir o uso de blocos com resistências à compressão menores, o que promove uma diminuição do peso total de uma estrutura (ou edificação), sabendo que blocos mais resistentes tendem a ser mais pesados, aliviando assim a sobrecarga nas fundações da estrutura (ou edificação), por consequência, acarretando um ganho econômico.
- Otimizar a questão do empacotamento granular no concreto, podendo utilizar de pó de pedra, brita zero (pedrisco), areia fina, areia média, fíler, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ALBERTINI, M. M. **Análise do comportamento experimental e numérico de prismas de alvenaria estrutural utilizando o elemento finito prismático regular parabólico**. 2009. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista UNESP, Ilha Solteira, 2009.

ANDOLFATO, R. P.; CAMACHO, J. S.; DE BRITO, G. A. **Apostila do Curso de Extensometria Básica - NEPAE**. Ilha Solteira: Unesp, 2004. 45 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates**: ASTM C125. West Conshohocken, 2016.

ARAÚJO, F. E.; GOMES, V.; WEBER, S. L.; PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R. Influência da sequência de mistura dos materiais na betoneira na resistência do concreto de alto desempenho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 43., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: [s. n.], 2001. v. 1. p. 21-33.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11768:** aditivos químicos para concreto de cimento Portland: requisitos. Rio de Janeiro, 2011. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46:** agregados: determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1:** alvenaria estrutural: blocos de concreto: parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-2:** alvenaria estrutural: blocos de concreto: Parte 2: execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2011. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6136:** blocos vazados de concreto simples para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16590-1:** composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação: parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2017. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** edificações habitacionais: desempenho: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013. 63 p.

ASSOCIATION CONCRETE INDUSTRY. **238.1R-08 Report on measurements of workability and rheology of fresh concrete:** ACI 238.1R-08. [S. l.: s. n.], 2007.

BARBOSA C S, LOURENÇO P B, HANAI J B. On the compressive strength prediction for concrete masonry prisms. **Materials and Structures,** London, v. 43, p. 331–344, 2010.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CAMACHO, J. S.; SILVA, R. F. Alvenaria estrutural de blocos de concreto: forma dos corpos de prova e resistência à compressão. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 13, n. 58, p. 1-16, 2011.

DIAS, R. P. F. **Transformador diferencial de variação linear – condicionamento de sinal e desmodulação síncrona**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica) apresentada ao curso de pós-graduação em Engenharia Eletrotécnica do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2015.

GARCIA, P. D. **Contribuições ao estudo da resistência à compressão de paredes de alvenaria de blocos cerâmicos**. 2000. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

GOMES, N. S. **A resistência de paredes de alvenaria.** 1983. 190 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength selfcompacting concrete**. 2002. 139 f. Tese (Doutorado) - Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Universitat Politécnica de Catalunya, Catalunya, 2002.

GOMES, P. C. C.; BARROS, A R. **Métodos de Dosagem de Concreto Auto-adensável**. São Paulo: PINI, 2009.

HELENE, PAULO; TERZIAN, PAULO. **Manual de dosagem e controle do concreto.** São Paulo: PINI, 1993.

HENDRY, A. W.; SINHA, B. P.; DAVIES, S. R. **Design mansory of structures**. Londres: E & FN SPON, 1981.

ISAIA, G. C. et al. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** 2. ed. São Paulo: [s. n.], 2010. v1. 862 p.

LEA, F. M. **Chemistry of cement and concrete**. 4. ed. Oxford: Elsevier, 1998. 1057 p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 3ª São Paulo: IBRACON, 2008.

MOHAMAD, G.; FONSECA, F. S.; VERMELTFOORT, A. T.; MARTENS, D. R. W.; LOURENÇO, P. B. Strength, behavior, and failure mode of hollow concrete masonry constructed with mortars of different strengths. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 134, p. 489-496, 2017.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. et al. Estudo de caracterização mecânica de blocos de concreto vibrocompactados à seco. **Revista Matéria,** Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 638-657, 2011.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete technology.** 2. ed. London: Pearson, 2010.

OHAMA, Y. Polymer-modified mortars and concretes. In: RAMACHANDRAN, V. S. (Ed.) **Concrete admixtures handbook.** New Jersey: Noyes Publications, 1996. Cap. 9, p. 561-656.

OKAMURA, H; OUCHI, M. Self-compacting high-performance concrete. **Progress in Structural Engineering and Materials**, v. 1, n. 4, p. 378-383, 1998.

OKAMURA, H; OZAWA, K.; OUCHI, M. **Self-compacting concrete.** [S. l.]: Structural Concrete, 2000.

PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2. ed. São Carlos: Ed. EdUfscar, 2014.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.

REIS, J. M .L.; MENEZES, E. M. Barley residue reinforced polymer mortars: Fracture mechanics approach. **Composite Structures,** Oxford, v. 173, p. 53-57, 2017.

SILVA, A. F. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

SINDICATO DA INSDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Custo unitário básico:** boletim econômico: dezembro de 2017. São Paulo, 2017.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2010.

TUTIKIAN, B. F. **Métodos para dosagem de concretos auto-adensáveis.** 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. C. **Concreto auto-adensável.** São Paulo: PINI, 2008.

WAGNER, H. B. Polymer modification of portland cement systems. **Chemical Technology**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 105-108, 1973.

ZHU F, ZHOU Q, WANG F, YANG X. Spatial variability and sensitivity analysis on the compressive strength of hollow concrete block masonry wallettes. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 140, p. 129-138, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Caracterização do agregado miúdo - Areia média

Obra :	UNESP	**Carta n.º:**	
Procedência :		**O. S. n.º:**	
Identificação:	Areia natural	**Data ensaio:**	12/01/2017

PENEIRAS		Abertura	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxiliar					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0	
-	1/2"	12,5 mm		0,0		0,0
3/8"	-	9,5 mm		0,00	0,00	
-	1/4"	6,3 mm		0,00		0,00
N.º 4	-	4,75 mm		0,00	0,00	
N.º 8	-	2,36 mm	1,4	0,27	0,27	
N.º 16	-	1,18 mm	6,7	1,33	1,60	
N.º 30	-	600 mm	59,2	11,83	13,43	
N.º 50	-	300 mm	243,0	48,57	62,00	
N.º 100	-	150 mm	177,9	35,55	97,55	
fundo	-	75 mm	12,3	2,45		100,00
Total			500,3	100,00	174,85	

Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm)	0,075	0,150	0,300	0,600	1,18	2,36	4,75	6,3	9,5	12,5	19	25
Areia	100,0	97,5	62,0	13,4	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

f máx. (mm)	Módulo de Finura	Massa específica			Massa unitária		Absorção (%)	Pulverulento (%)	Matéria orgânica
		s.s.s. (g/cm³)	Seca (g/cm³)	Aparente (g/cm³)	Solta (g/cm³)	4% de umidade (g/cm³)			
1,18	1,75	2,63	2,65	2,58	2,71	2,75	0,34	0,95	+ clara

Fonte: Elaboração do próprio Autor

APÊNDICE B - Caracterização do agregado miúdo – Brita 0

Obra : UNESP	**Carta n.º:**
Procedência:	**O. S. n.º:**
Identificação: Brita 0	**Data ensaio:** 12/01/2017

PENEIRAS		Abertura (mm)	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada	
Normal	Auxil.					
3"	-	75 mm		0,0	0,0	
-	2 1/2"	63 mm		0,0		0,0
-	2"	50 mm		0,0		0,0
1 1/2"	-	37,5 mm		0,0	0,0	
-	1 1/4"	31,5 mm		0,0		0,0
-	1"	25 mm		0,0		0,0
3/4"	-	19 mm		0,0	0,0	
-	1/2"	12,5 mm	0	0,0		0,0
3/8"	-	9,5 mm	7,99	0,3	0,3	
-	1/4"	6,3 mm	674,7	27,2		27,5
N.º 4	-	4,75 mm	1184,6	47,8	75,3	
N.º 8	-	2,36 mm	575,4	23,2	98,6	
N.º 16	-	1,18 mm	21,14	0,9	99,4	
N.º 30	-	600 mm	6,78	0,3	99,7	
N.º 50	-	300 mm	3,96	0,2	99,8	
N.º 100	-	150 mm	2,42	0,1	99,9	
fundo	-	75 mm	1,55	0,1		100,0
Total			2478,54	100,00	573,08	

Peneiras	% Retida Acumulada											
(mm) →	0,150	0,300	0,600	1,180	2,36	4,75	6,30	9,50	12,50	19,0	25,0	31,5
Brita	99,9	99,8	99,7	99,4	98,6	75,3	27,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

ϕ máximo (mm)	módulo de finura	massa específica			massa unitária (g/cm³)	absor-ção (%)	pulve-rulento (%)
		s.s.s. (g/cm³)	seca (g/cm³)	aparente (g/cm³)			
9,5	5,73	2,91	2,93	2,84	2,94	0,43	0,65

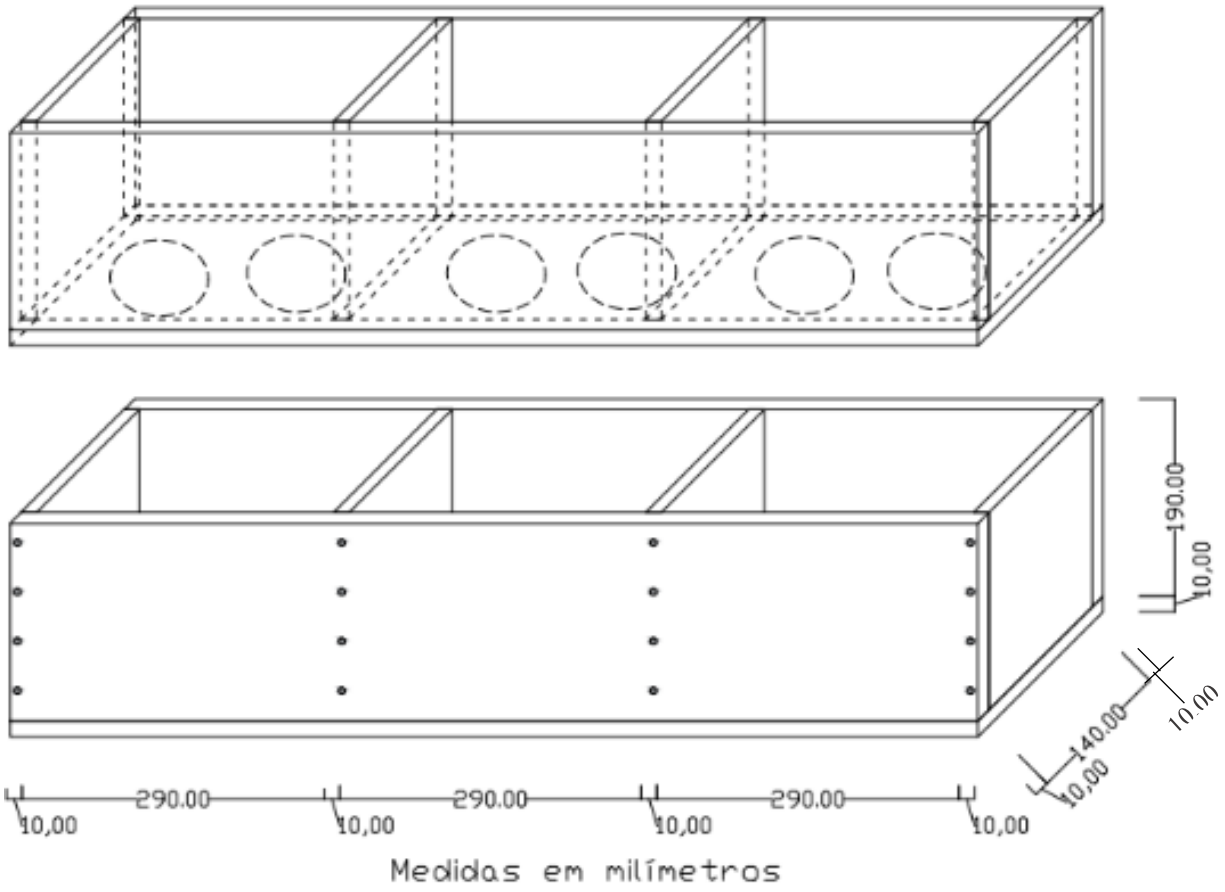
Fonte: Elaboração do próprio Autor

APÊNDICE C - Determinação do teor de argamassa

α	1: m 1: 5 Traço Unitário (1:a:b)	Qtde de Areia (Kg)		Qtde de Cimento (Kg)	2,00	Qtde de Brita (kg)		Qtde de Água (Kg) (a/c=0,70)	
		Massa total	Acrésc. na mistura	Massa total	Acrésc. na mistura	Massa total	Decrésc. na	Massa total	Acrésc. na mistura
35,00%	1,00 : 1,10 : 3,90	2,20	0,13	2,00	**0,25**	7,80	0,00	1,40	0,18
37,00%	1,00 : 1,22 : 3,78	2,33	0,15	2,25	**0,26**	7,80	0,00	1,58	0,18
39,00%	1,00 : 1,34 : 3,66	2,48	0,16	2,51	**0,27**	7,80	0,00	1,76	0,19
41,00%	1,00 : 1,46 : 3,54	2,64	0,16	2,78	**0,30**	7,80	0,00	1,95	0,21
43,00%	1,00 : 1,58 : 3,42	2,80	0,18	3,08	**0,32**	7,80	0,00	2,16	0,22
45,00%	1,00 : 1,70 : 3,30	2,98	0,20	3,40	**0,34**	7,80	0,00	2,38	0,24
47,00%	1,00 : 1,82 : 3,18	3,18	0,21	3,74	**0,37**	7,80	0,00	2,62	0,26
49,00%	1,00 : 1,94 : 3,06	3,38	0,22	4,11	**0,40**	7,80	0,00	2,88	0,28
51,00%	1,00 : 2,06 : 2,94	3,61	0,24	4,51	**0,44**	7,80	0,00	3,16	0,31
53,00%	1,00 : 2,18 : 2,82	3,85	0,27	4,95	**0,47**	7,80	0,00	3,47	0,33
55,00%	1,00 : 2,30 : 2,70	4,11	0,29	5,42	**0,52**	7,80	0,00	3,79	0,36
57,00%	1,00 : 2,42 : 2,58	4,40	0,31	5,94	**0,57**	7,80	0,00	4,16	0,40
59,00%	1,00 : 2,54 : 2,46	4,71	0,36	6,51	**0,62**	7,80	0,00	4,56	0,43
61,00%	1,00 : 2,66 : 2,34	5,07	0,39	7,13	**0,69**	7,80	0,00	4,99	0,48
63,00%	1,00 : 2,78 : 2,22	5,46	0,42	7,82	**0,78**	7,80	0,00	5,47	0,55
65,00%	1,00 : 2,90 : 2,10	5,89	0,50	8,60	**0,85**	7,80	0,00	6,02	0,60
67,00%	1,00 : 3,02 : 1,98	6,39	0,58	9,45	**0,94**	7,80	0,00	6,62	0,66
69,00%	1,00 : 3,14 : 1,86	6,97	0,74	10,39	**1,00**	7,80	0,00	7,27	0,70
71,00%	1,00 : 3,26 : 1,74	7,71		11,39		7,80		7,97	

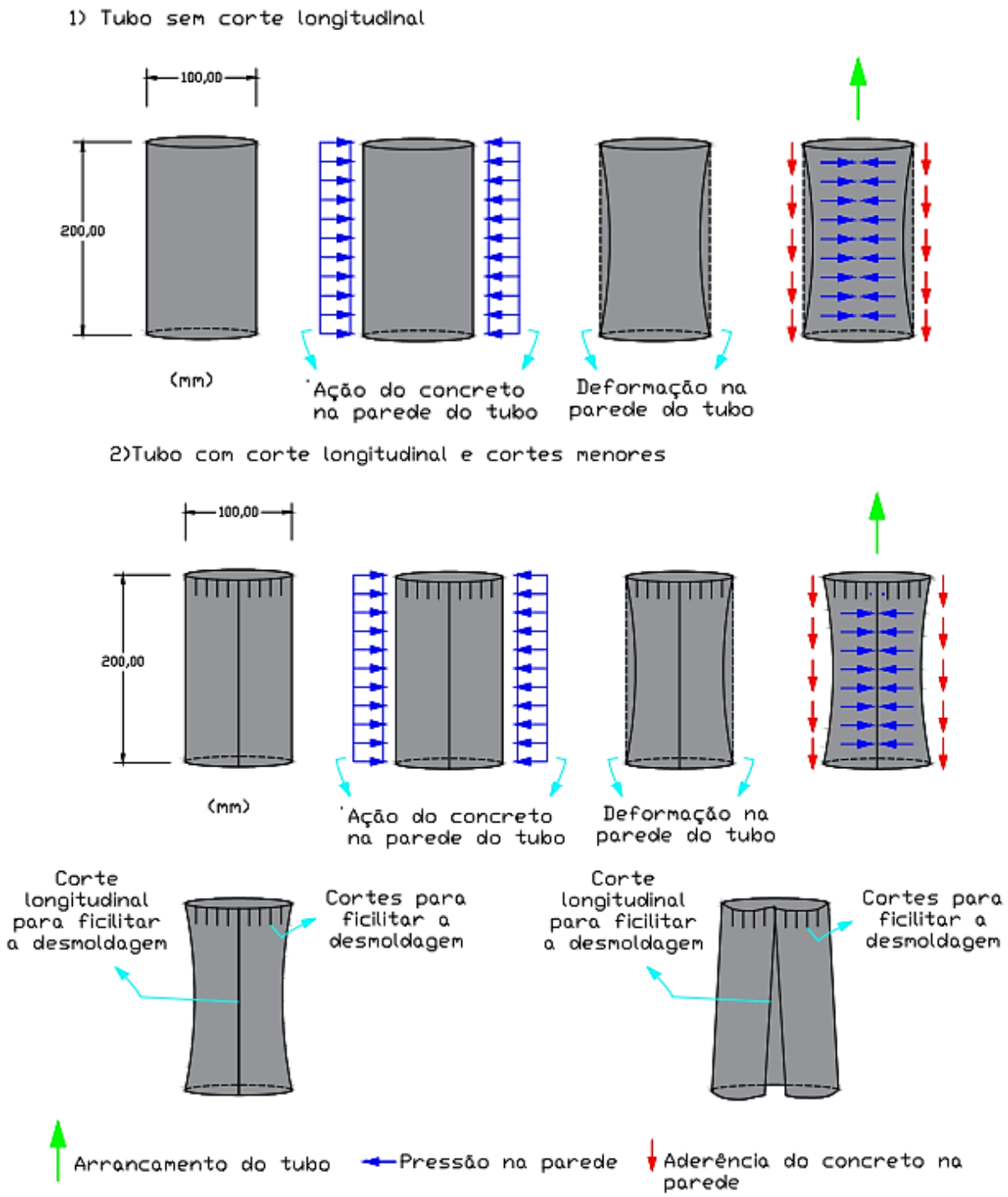
Fonte: Elaboração do próprio Autor

APÊNDICE D - Forma para blocos – Projeto



Fonte: Elaboração do próprio autor

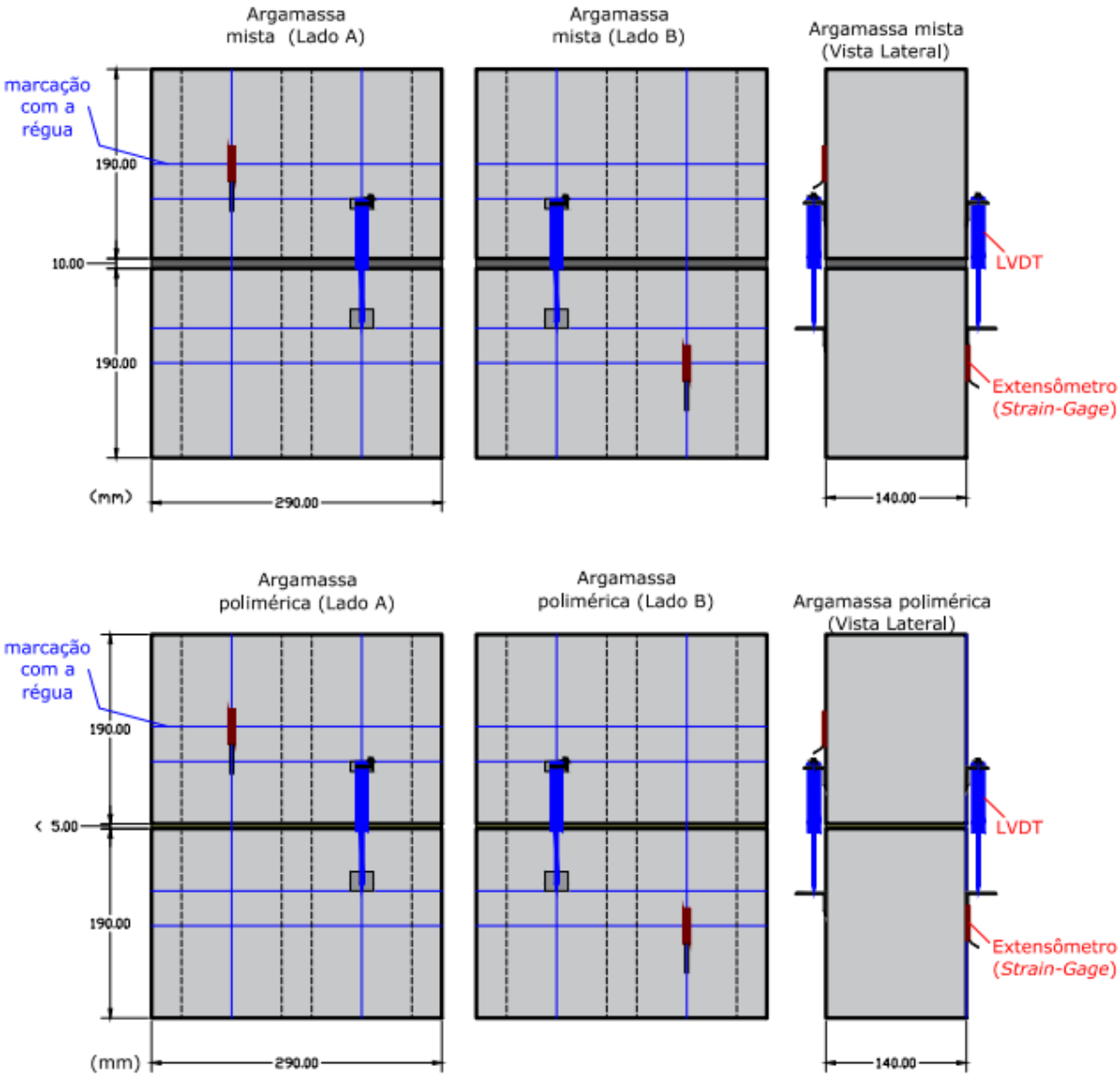
APÊNDICE E - Funcionamento do tubo de PVC na manufatura dos blocos



Fonte: Elaboração do próprio autor

No caso 1 descrito na figura, onde o tubo está sem o corte longitudinal, o que ocorreu no princípio da pesquisa, tanto a pressão ocasionada pelo concreto na parede do tubo, quanto a aderência, impediam que o tubo fosse retirado sem nenhuma avaria. Entretanto, no caso 2, onde o tubo encontra-se com o corte longitudinal e uma fração de pequenos cortes visando possibilitar o aumento na facilidade de extração do tubo, que ocorreu com a otimização do processo, consequentemente acarretando numa grande melhoria no processo, pois desta forma, evitou-se o desperdício de material e tempo, uma vez que os tubos não mais sofreram as avarias que anteriormente ocorriam.

APÊNDICE F. Marcações e posicionamentos (instalações) dos LVDTs e Extensômetros (Strain-Gages)



Fonte: Elaboração do próprio autor

APÊNDICE G. Configuração e alimentação do sistema de aquisição de dados

1. Configuração de "*Scaling*" para os extensômetros (*Strain-Gages*)

   Para a calibração do sistema de aquisição de dados é necessário equilibrar uma função *f(x)= ax + b*, onde *a* é a constante a ser encontrada, que está em função da tensão de excitação (5V) dos braços da ponte (sempre 4) e em função da constante do extensômetro (*Kc*); e *b* sai do offset (equilíbrio da leitura iniciada).

$$a = \frac{4}{5V * Kc} * 10^6 \ (\mu\varepsilon)$$

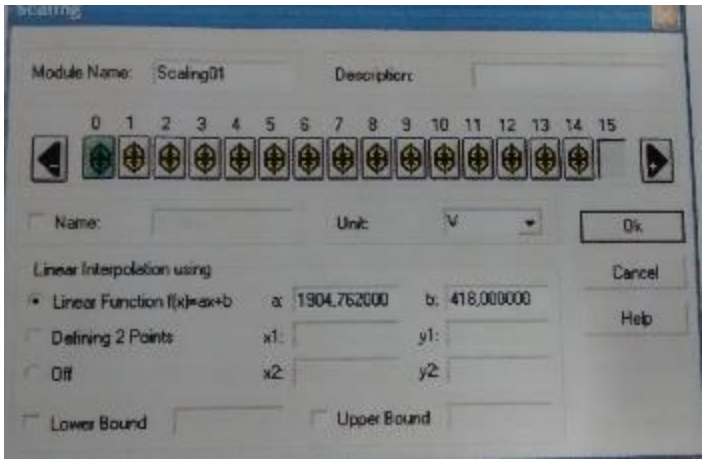
$$a = \frac{4}{5V * 2{,}10} * 10^6 = 380952{,}380952 \ (\mu\varepsilon)$$

   Devido a amplitude de 200 vezes (1V para o *input-gain*), deve-se reduzir este valor para a constante *a*.

$$a = \frac{a_i}{200} = \frac{380952{,}762}{200} = 1904{,}762 \ (\mu\varepsilon)$$

   A figura, exibe uma simulação realizada para a configuração de "*Scaling*".

Figura 77. Simulação da configuração de "*Scaling*"



Fonte: Elaboração do próprio autor

2. Configuração de "*Scaling*" para os LVDTs

As constantes para os LVDTs ES 1050022 e EZ5700017, são 0,006000 e 0,005998, respectivamente. Para tais constantes não foram necessários os cálculos demonstrados para *Strain-Gages*, uma vez que as mesmas já estavam determinadas.

3. Configuração de "*Scaling*" para a célula de carga

   De igual forma, a constante utilizada para a célula de carga de 100 tf (nº 22701), foi 50,505, respectivamente. Para essa constante não foram necessários os cálculos demonstrados para *Strain-Gages*, uma vez que a mesma já estava determinada.

APÊNDICE H. Cálculo do consumo de cimento para os traços 1:3; 1:5 e 1:7

Para o cálculo do consumo de cimento, utilizou-se da fórmula:

$$C = \frac{\gamma}{1 + p + m + \frac{a}{c}}$$

Para o traço definido de 1:3 o consumo de cimento calculado está descrito a seguir:

$$C = \frac{1200 \frac{kg}{m^3}}{1 + \frac{1,52}{1,00}\frac{kg}{kg} + \frac{1,48}{1,00}\frac{kg}{kg} + 0,45} = 269,66 \frac{kg}{m^3}$$

Para o traço definido de 1:5 o consumo de cimento calculado está descrito a seguir:

$$C = \frac{1200 \frac{kg}{m^3}}{1 + \frac{2,78}{1,00}\frac{kg}{kg} + \frac{2,22}{1,00}\frac{kg}{kg} + 0,65} = 180,45 \frac{kg}{m^3}$$

Para o traço definido de 1:7 o consumo de cimento calculado está descrito a seguir:

$$C = \frac{1200 \frac{kg}{m^3}}{1 + \frac{4,04}{1,00}\frac{kg}{kg} + \frac{2,96}{1,00}\frac{kg}{kg} + 0,95} = 134,08 \frac{kg}{m^3}$$

APÊNDICE I. $f_{ek,est}$ da alvenaria obtida através dos elementos prismas

1:3 sem aditivo acelerador de pega

Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	39,80	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	32,23		
3	28,35		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{28{,}35 + 32{,}23}{1-1} - 39{,}80 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 28{,}35 = 22{,}68\ MPa$			
$f_{ek,3} = 22{,}68\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 33{,}46 = 28{,}44\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 22{,}68\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	21,02	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	35,05		
3	22,85		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{21{,}02 + 22{,}85}{1-1} - 35{,}05 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 21{,}02 = 16{,}82\ MPa$			
$f_{ek,3} = 16{,}82\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 26{,}31 = 22{,}36\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 16{,}82\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	23,32	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	21,94		
3	30,29		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{21{,}94 + 23{,}32}{1-1} - 30{,}29 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 21{,}94 = 17{,}55\ MPa$			
$f_{ek,3} = 17{,}55\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 25{,}18 = 21{,}40\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 17{,}55\ MPa}$			

1:5 sem aditivo acelerador de pega

Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	24,43	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	23,08		
3	19,56		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{19{,}56 + 23{,}08}{1-1} - 24{,}43 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 19{,}56 = 15{,}65\ MPa$			
$f_{ek,3} = 15{,}65\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 22{,}36 = 19{,}01\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 15{,}65\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	32,96	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	31,72		
3	27,25		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{27{,}25 + 31{,}72}{1-1} - 32{,}96 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 27{,}25 = 21{,}80\ MPa$			
$f_{ek,3} = 21{,}80\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 30{,}65 = 26{,}05\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 21{,}80\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	23,21	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	21,56		
3	26,86		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{21{,}56 + 23{,}21}{1-1} - 26{,}86 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 21{,}56 = 17{,}25\ MPa$			
$f_{ek,3} = 17{,}25\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 23{,}88 = 20{,}30\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 17{,}25\ MPa}$			

1:7 sem aditivo acelerador de pega

Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	16,08	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	15,56		
3	17,75		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{15{,}56 + 16{,}08}{1-1} - 17{,}75 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 15{,}56 = 12{,}45\ MPa$			
$f_{ek,3} = 12{,}45\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 16{,}46 = 13{,}99\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 12{,}45\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	14,11	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	15,69		
3	15,45		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{14{,}11 + 15{,}45}{1-1} - 15{,}69 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 14{,}11 = 11{,}29\ MPa$			
$f_{ek,3} = 11{,}29\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 15{,}08 = 12{,}82\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 11{,}29\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	16,10	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	15,28		
3	15,69		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{15{,}28 + 15{,}69}{1-1} - 16{,}10 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 15{,}28 = 12{,}22\ MPa$			
$f_{ek,3} = 12{,}22\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 15{,}69 = 13{,}34\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 12{,}22\ MPa}$			

1:3 com aditivo acelerador de pega

Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	30,73	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	31,59		
3	36,62		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{30{,}73 + 31{,}59}{1-1} - 36{,}62 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 30{,}73 = 24{,}58\ MPa$			
$f_{ek,3} = 24{,}58\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 32{,}98 = 28{,}03\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 24{,}58\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	20,11	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	30,39		
3	17,96		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{17{,}96 + 20{,}11}{1-1} - 30{,}39 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 17{,}96 = 14{,}37\ MPa$			
$f_{ek,3} = 14{,}37\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 22{,}82 = 19{,}40\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 14{,}37\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	13,42	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	26,77		
3	26,03		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{13{,}42 + 26{,}03}{1-1} - 26{,}77 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 13{,}42 = 10{,}74\ MPa$			
$f_{ek,3} = 10{,}74\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 22{,}07 = 18{,}76\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 10{,}74\ MPa}$			

1:5 com aditivo acelerador de pega

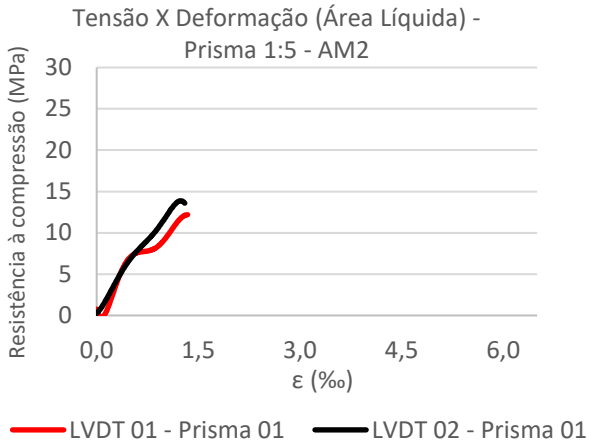
Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	20,57	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	21,87		
3	25,05		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{20{,}57 + 21{,}87}{1-1} - 25{,}05 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 20{,}57 = 14{,}46\ MPa$			
$f_{ek,3} = 14{,}46\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 22{,}50 = 19{,}13\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 14{,}46\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	18,85	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	7,88		
3	21,82		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{7{,}88 + 18{,}85}{1-1} - 21{,}82 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 7{,}88 = 6{,}30\ MPa$			
$f_{ek,3} = 6{,}30\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 16{,}19 = 13{,}76\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 6{,}30\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	21,82	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	25,38		
3	26,15		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{21{,}82 + 25{,}38}{1-1} - 26{,}15 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 21{,}82 = 17{,}46\ MPa$			
$f_{ek,3} = 17{,}46\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 24{,}45 = 20{,}78\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 17{,}46\ MPa}$			

1:7 com aditivo acelerador de pega

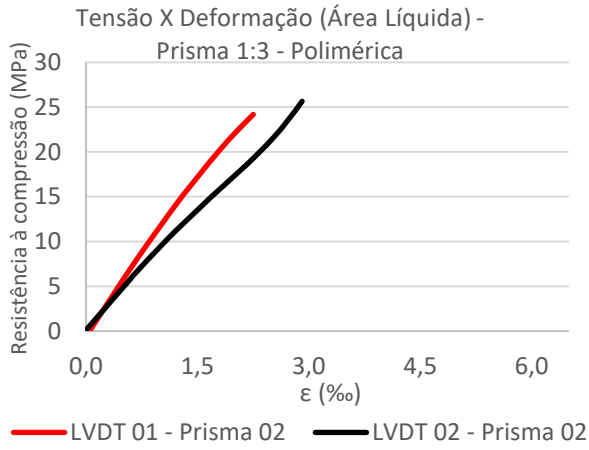
Argamassa polimérica			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	15,41	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	17,96		
3	14,27		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{14{,}27 + 15{,}41}{1-1} - 17{,}96 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 14{,}27 = 11{,}42\ MPa$			
$f_{ek,3} = 11{,}42\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 15{,}88 = 13{,}50\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 11{,}42\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM2			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	15,69	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	12,53		
3	14,45		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{12{,}53 + 14{,}45}{1-1} - 15{,}69 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 12{,}53 = 10{,}02\ MPa$			
$f_{ek,3} = 10{,}02\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 14{,}22 = 12{,}09\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 10{,}02\ MPa}$			
Argamassa mista convencional – AM1			
Elemento (Prisma)	Resistência à compressão (MPa)	n	$i = \frac{n}{2}(par)\ ou\ \frac{n-1}{2}\ (ímpar)$
1	11,17	3,0	$i = \frac{3-1}{2} = 1{,}0$
2	16,49		
3	15,85		
$f_{ek,1} = 2 * \frac{11{,}17 + 15{,}85}{1-1} - 16{,}49 = 0$			
$f_{ek,2} = 0{,}80 * 11{,}17 = 8{,}94\ MPa$			
$f_{ek,3} = 8{,}94\ MPa$			
$f_{ek,4} = 0{,}85 * 14{,}51 = 12{,}33\ MPa$			
$\boldsymbol{f_{ek,est} = 8{,}94\ MPa}$			

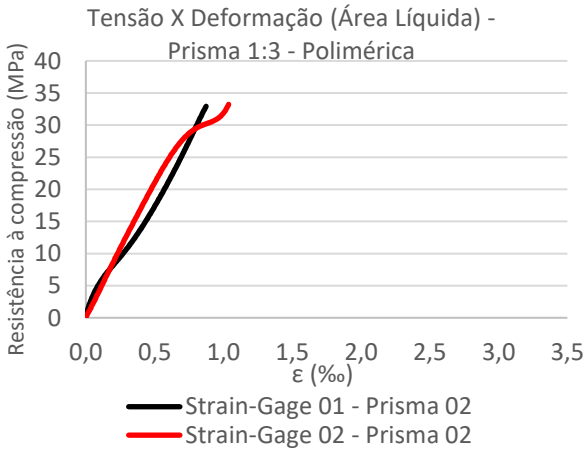
APÊNDICE J. Fase 01 Prismas – LVDTs e Strain-Gages

Prisma 01 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2

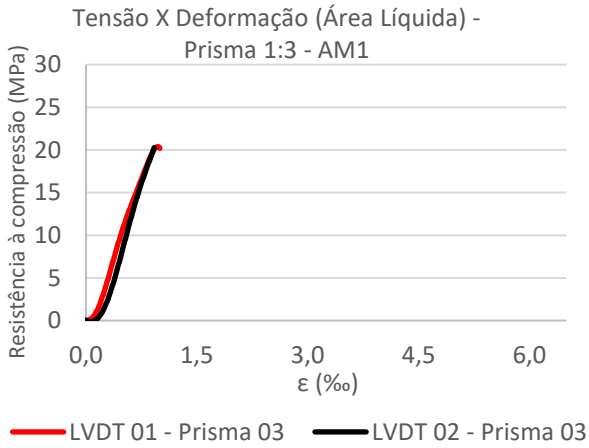


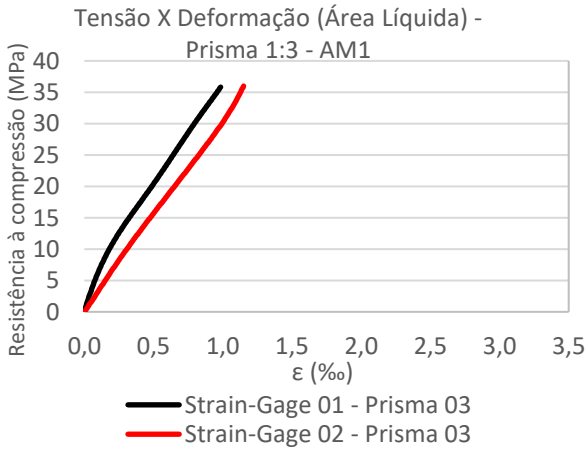
Prisma 02 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



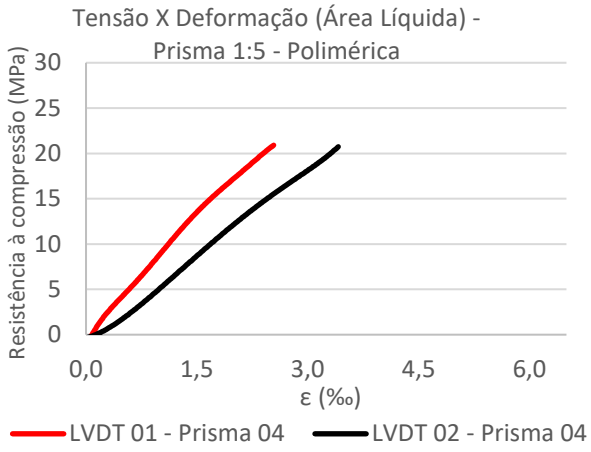


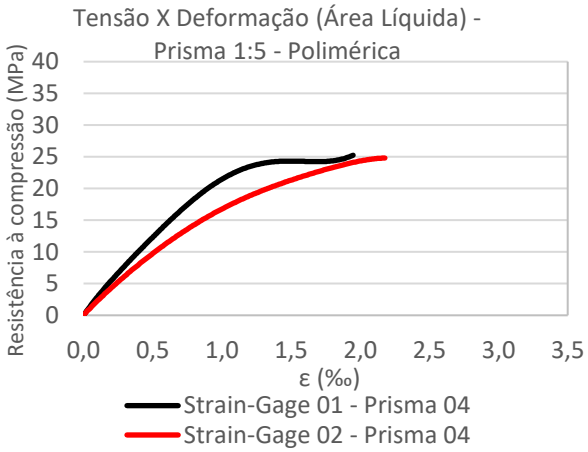
Prisma 03 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



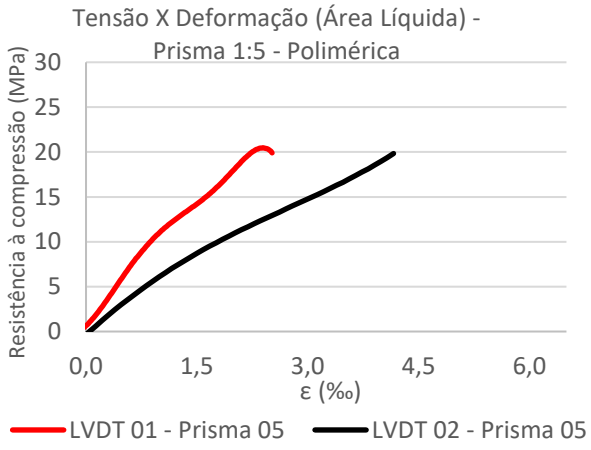


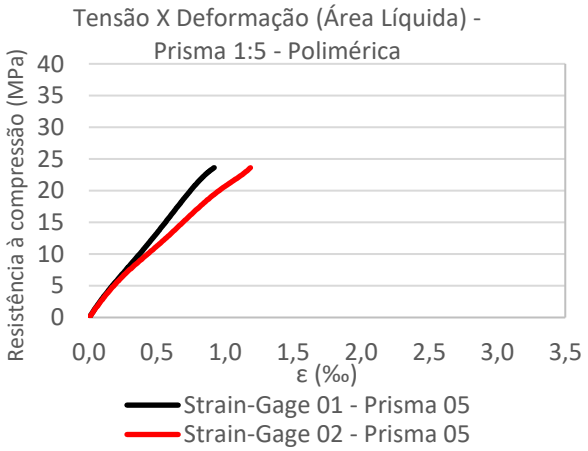
Prisma 04 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



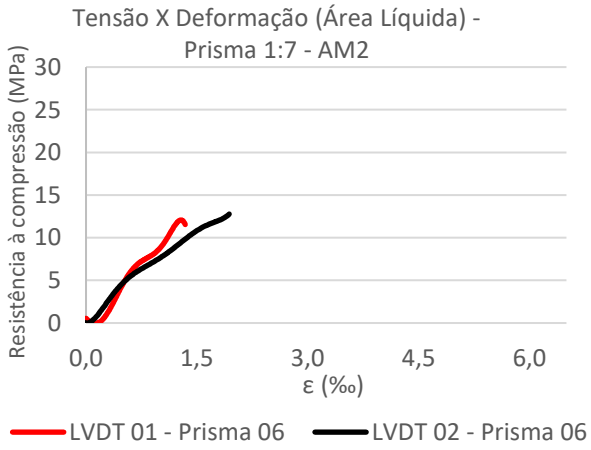


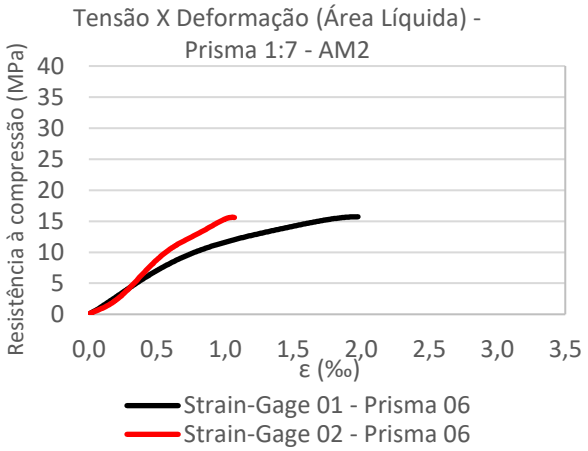
Prisma 05 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



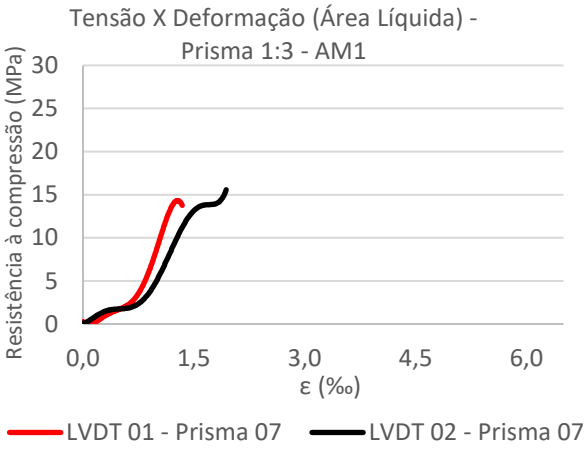


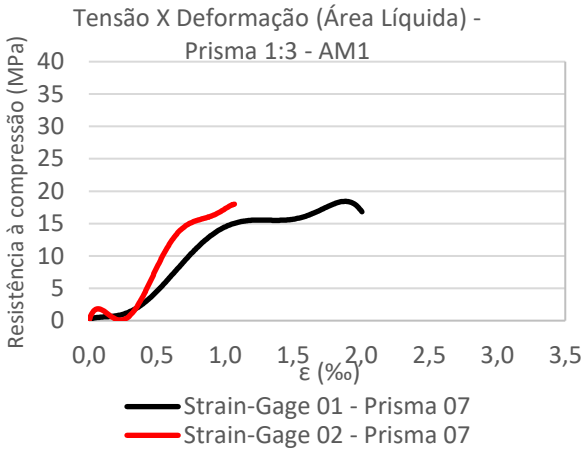
Prisma 06 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM2



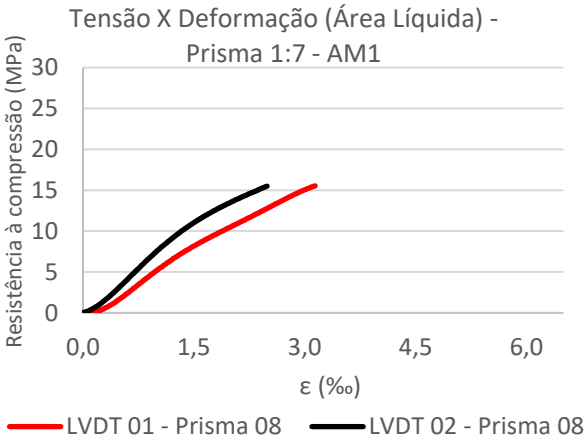


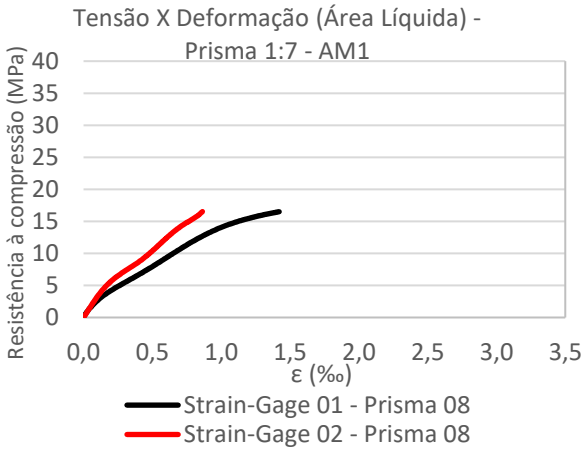
Prisma 07 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



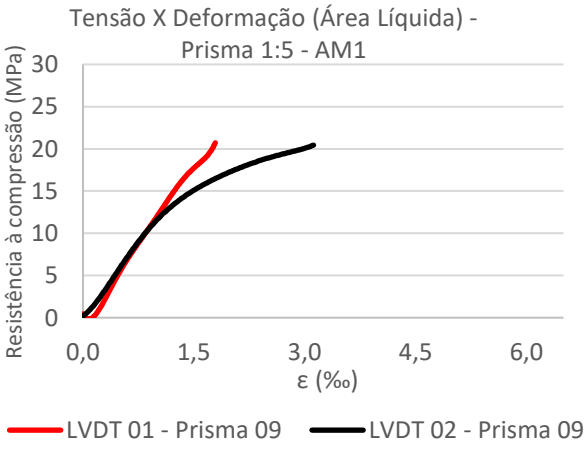


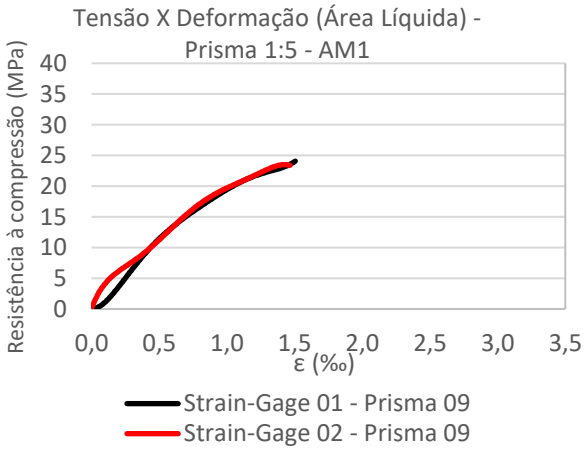
Prisma 08 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



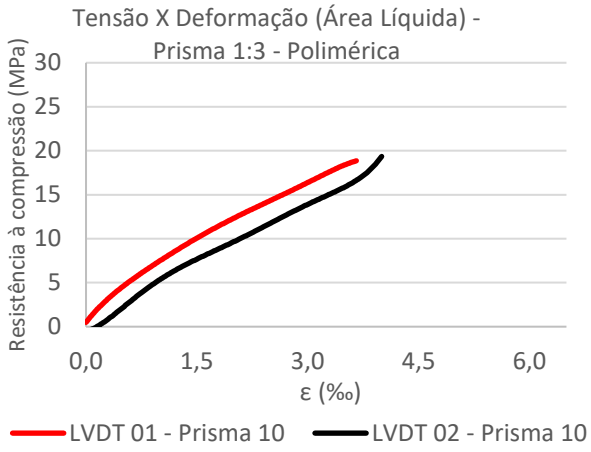


Prisma 09 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1

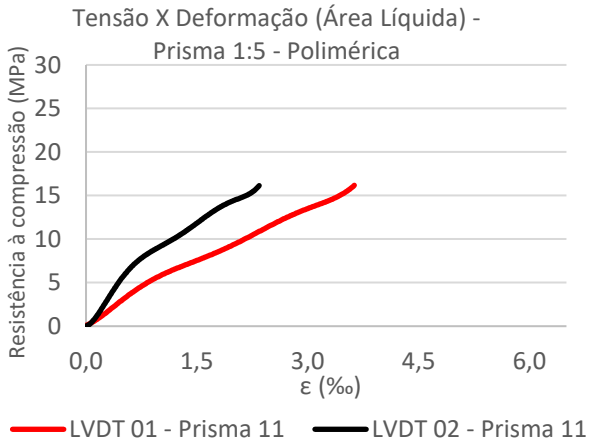




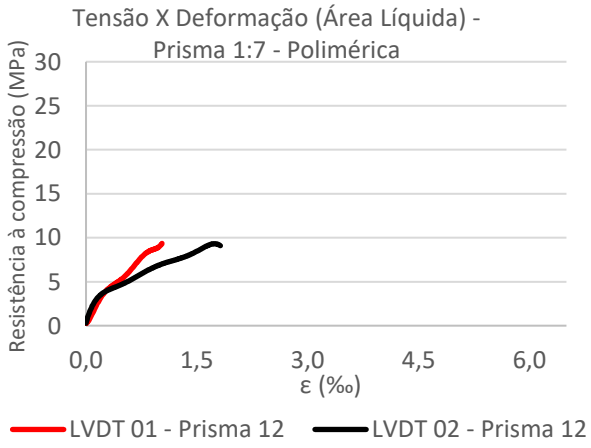
Prisma 10 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica



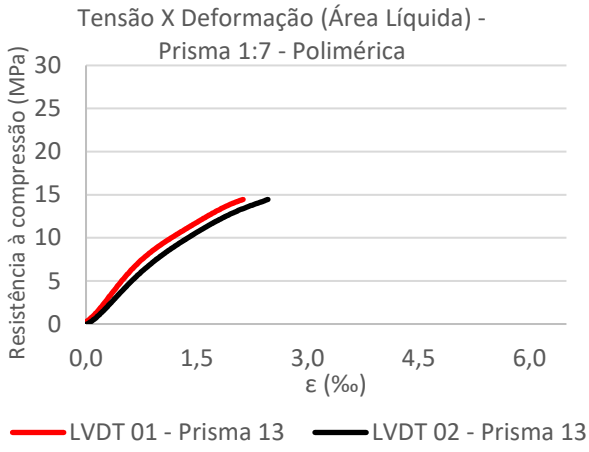
Prisma 11 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica

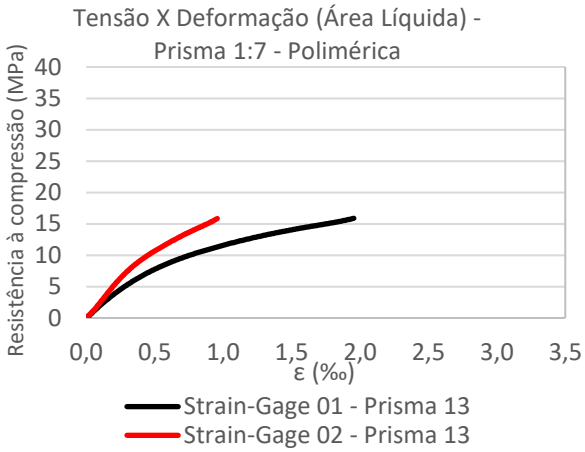


Prisma 12 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica

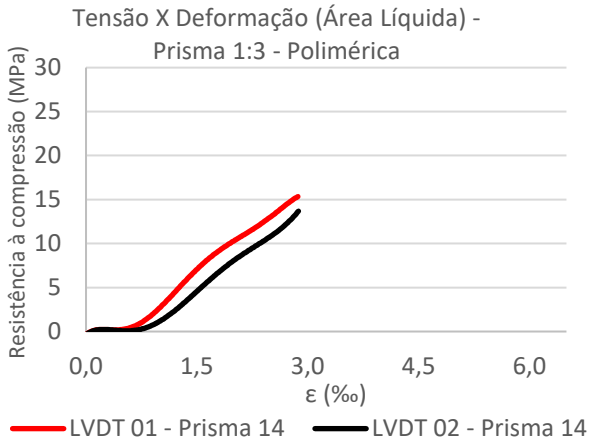


Prisma 13 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica

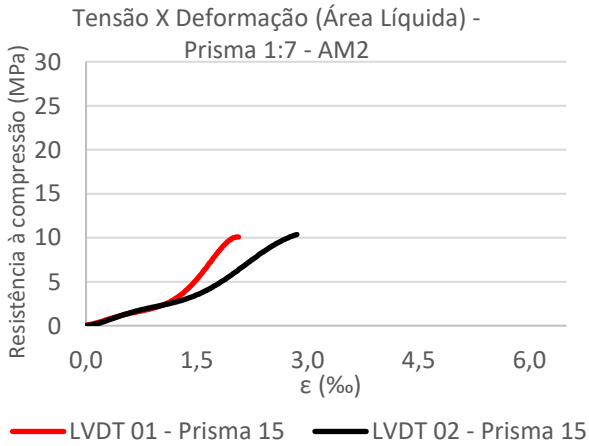




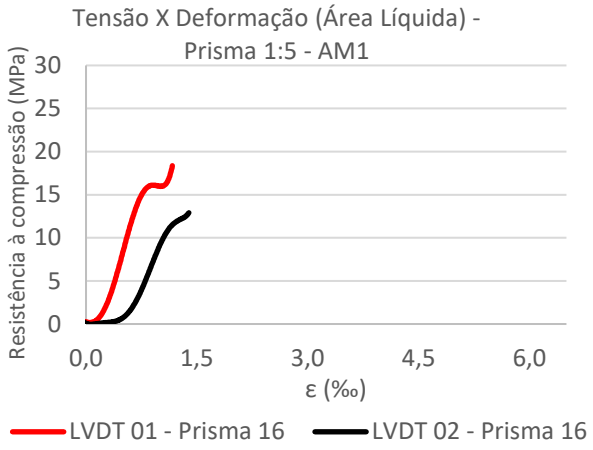
Prisma 14 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica



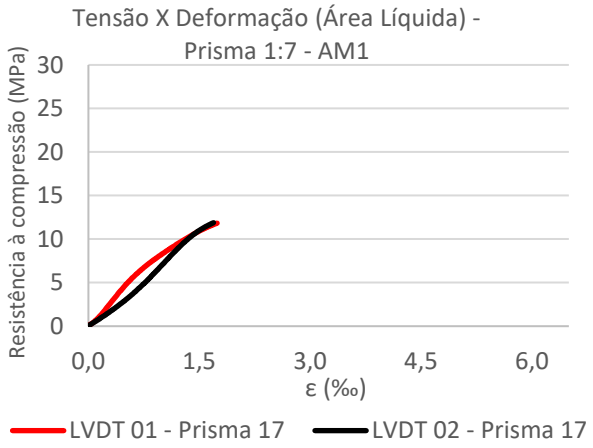
Prisma 15 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



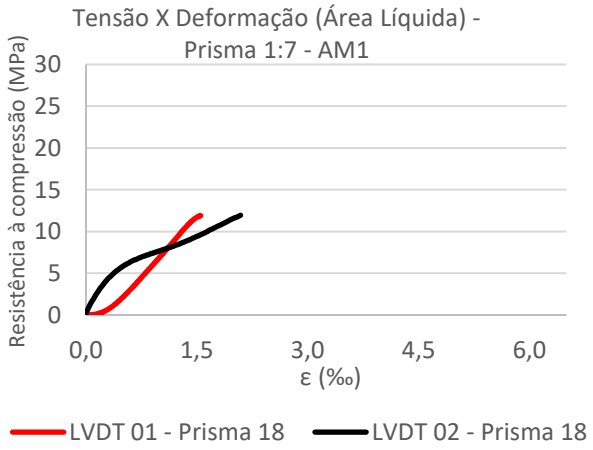
Prisma 16 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



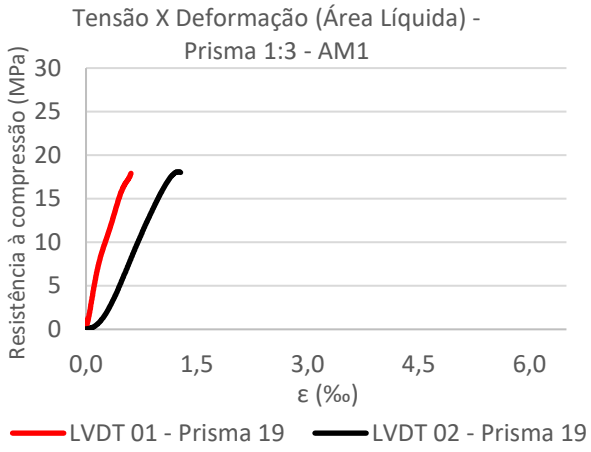
Prisma 17 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



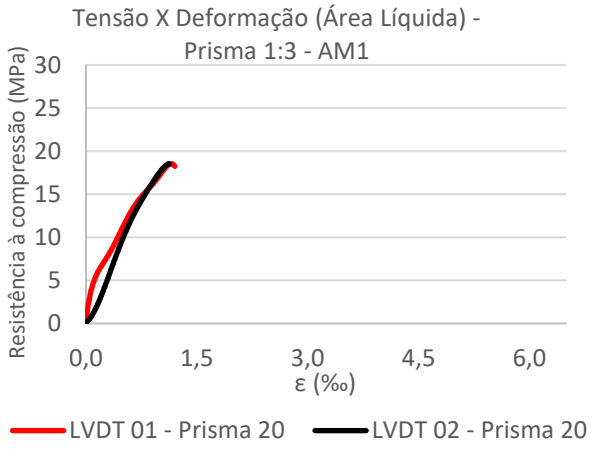
Prisma 18 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



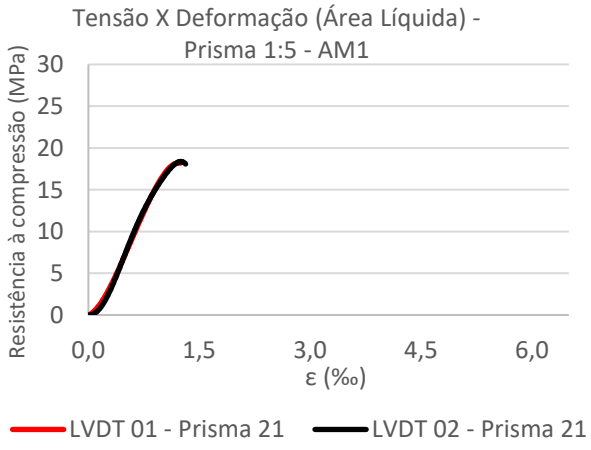
Prisma 19 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



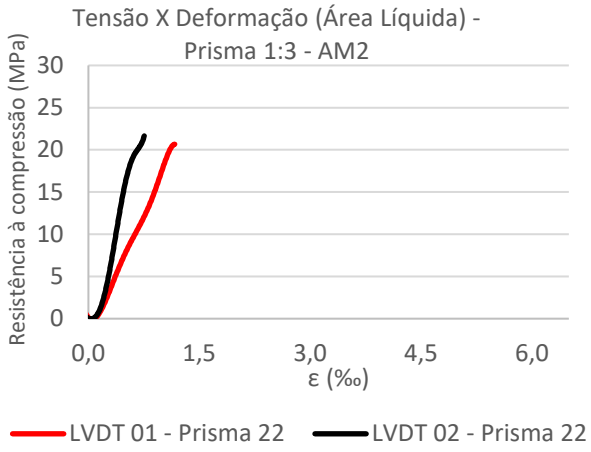
Prisma 20 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



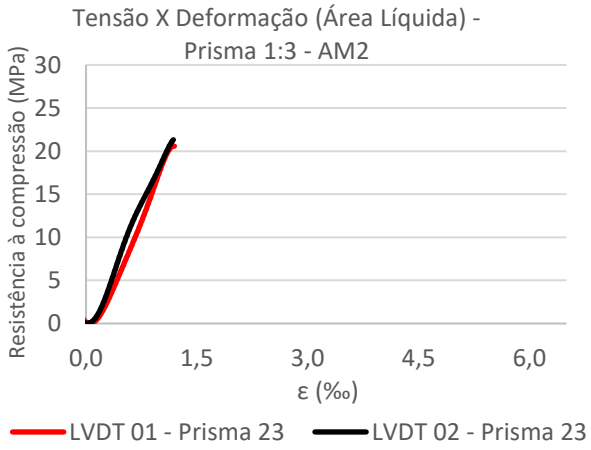
Prisma 21 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



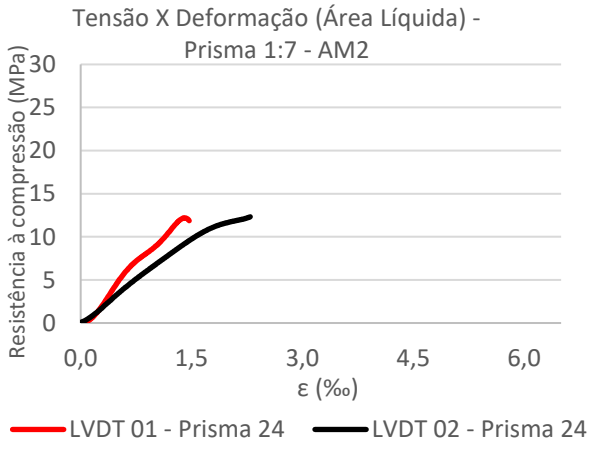
Prisma 22 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



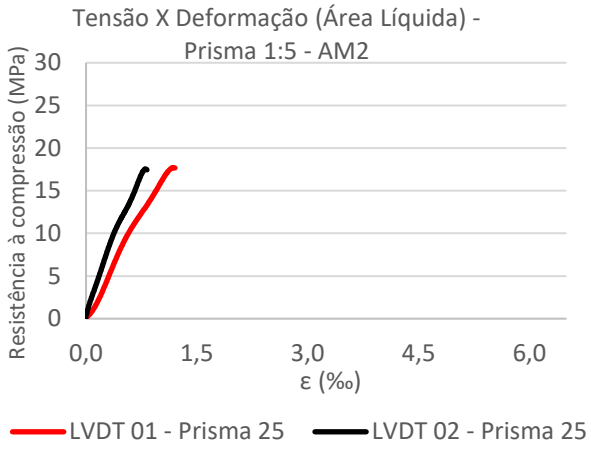
Prisma 23 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



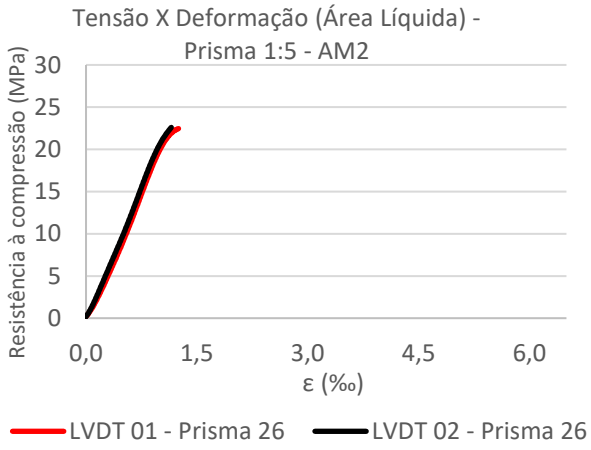
Prisma 24 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2

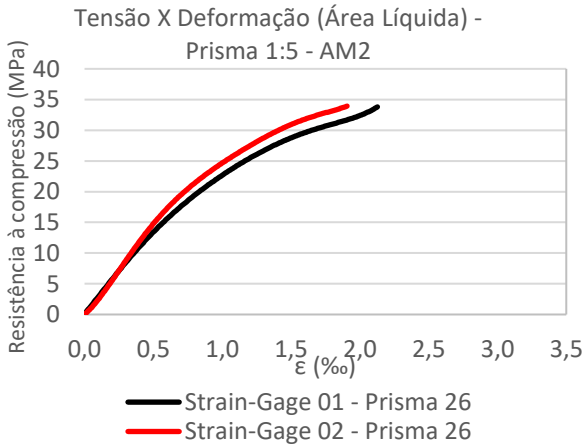


Prisma 25 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2

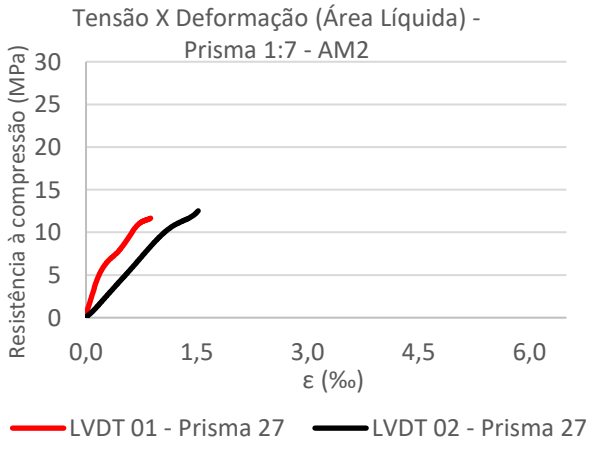


Prisma 26 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM2



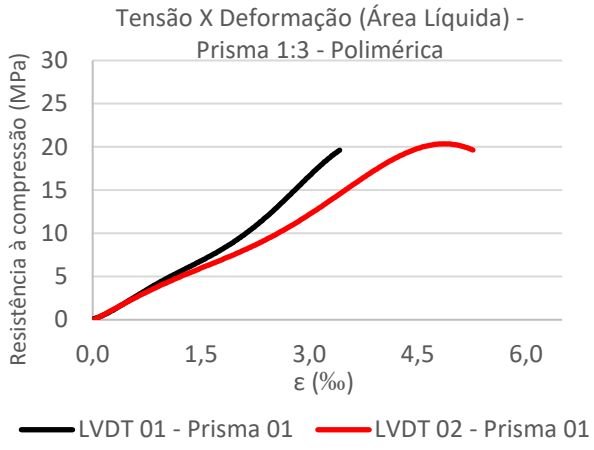


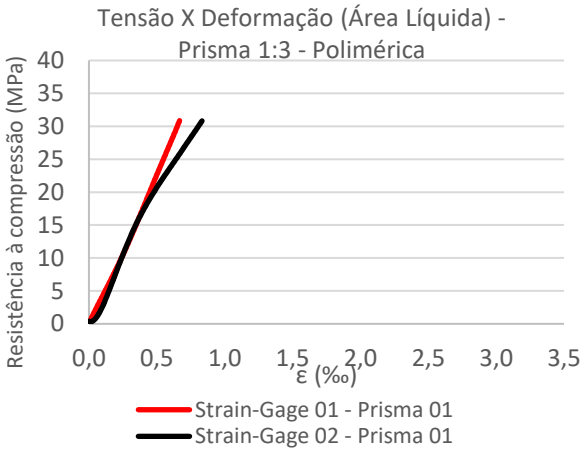
Prisma 27 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



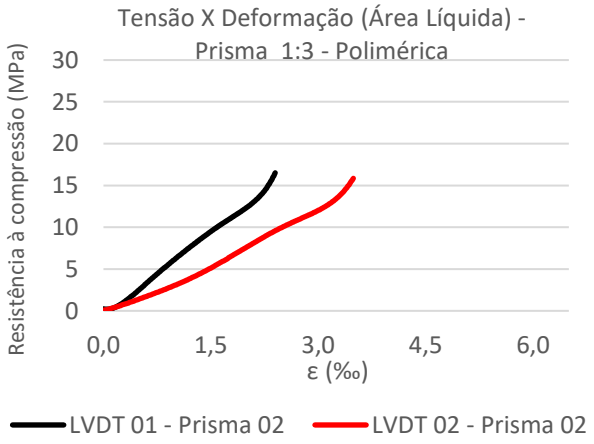
APÊNDICE K. Fase 02 Prismas – LVDTs e Strain-Gages

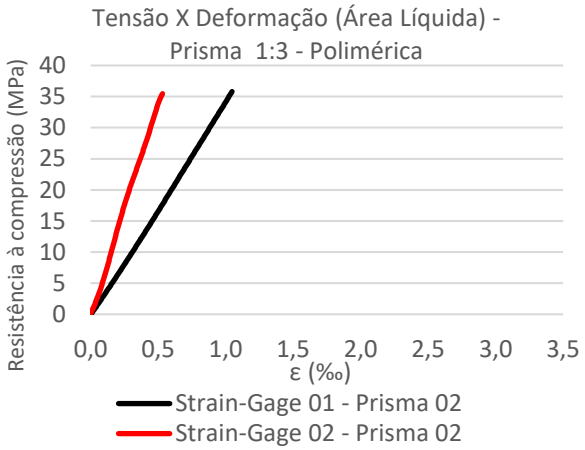
Prisma 01 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



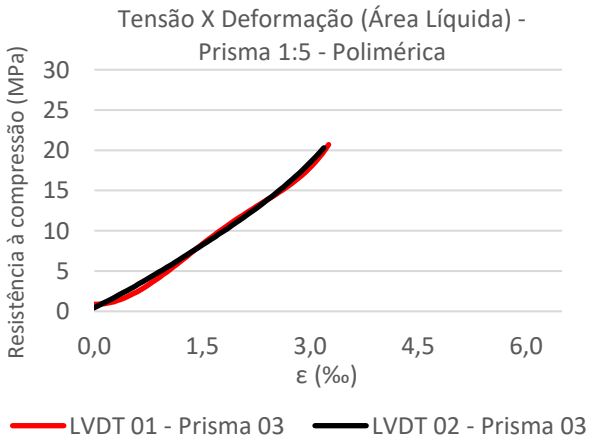


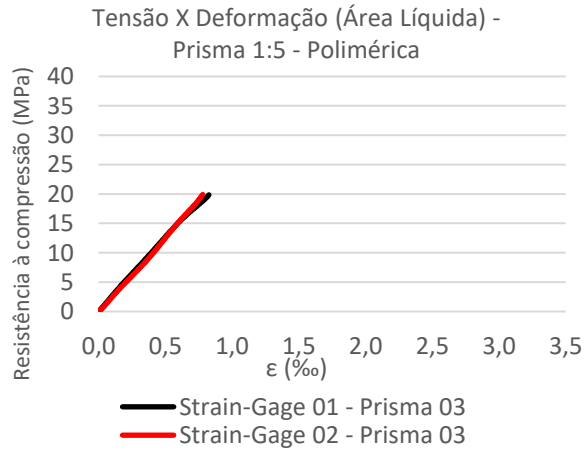
Prisma 02 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



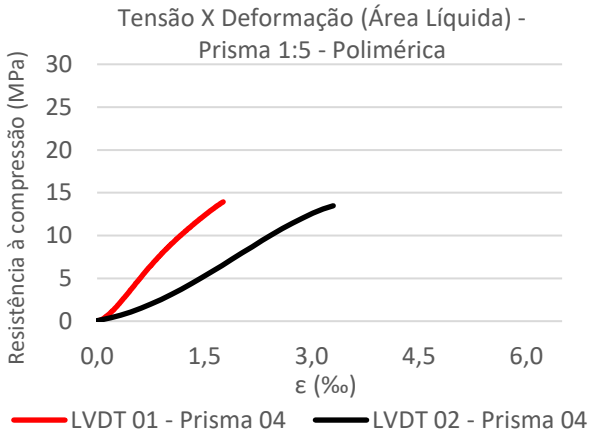


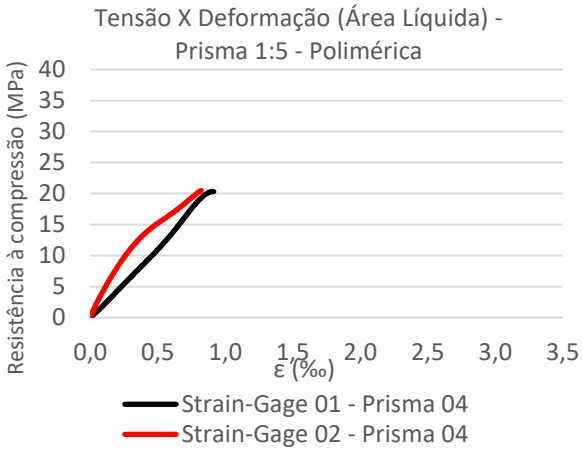
Prisma 03 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



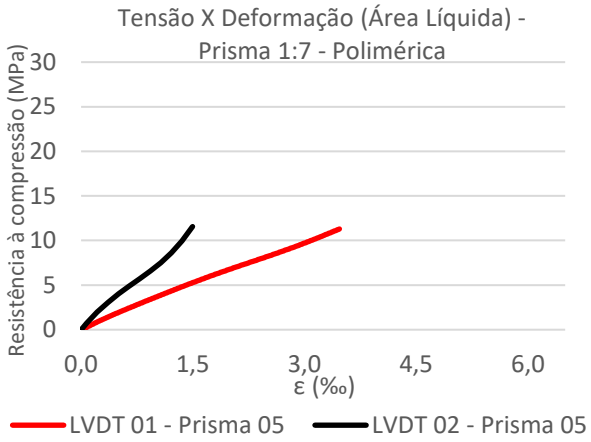


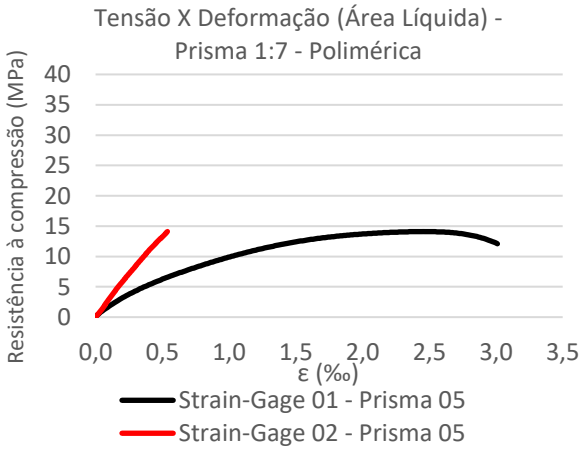
Prisma 04 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



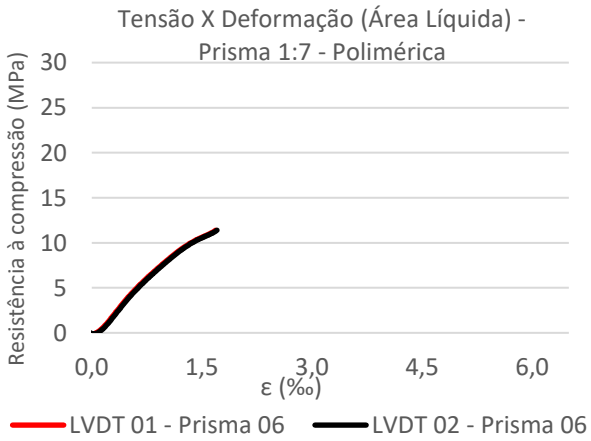


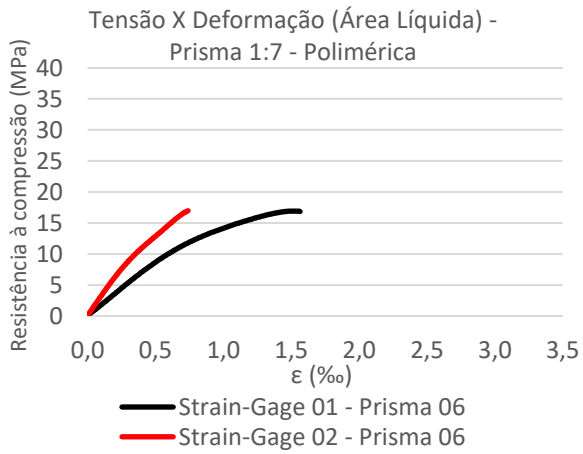
Prisma 05 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



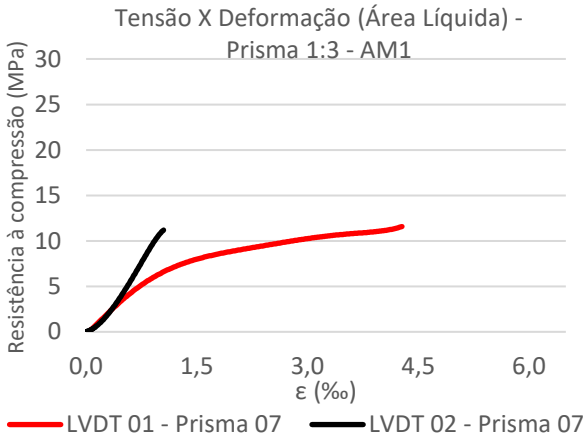


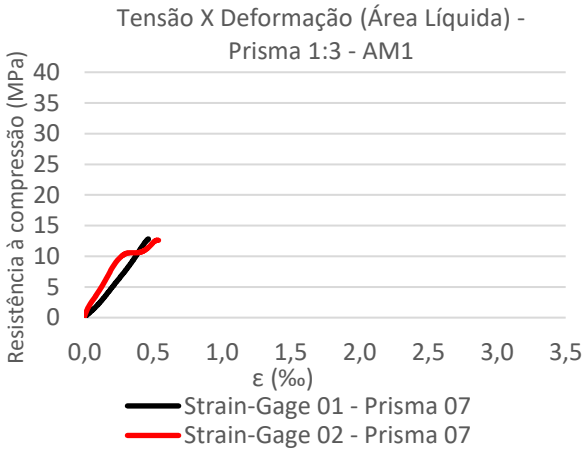
Prisma 06 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Polimérica



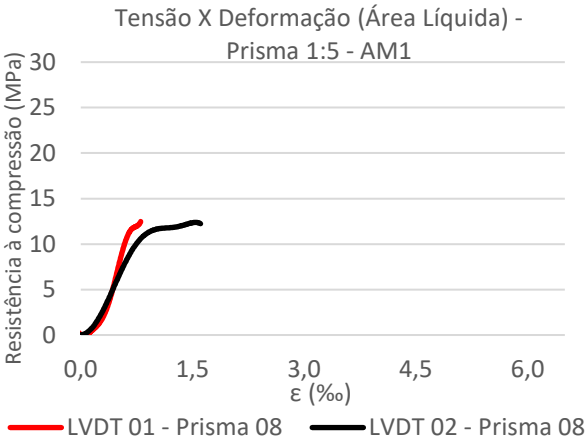


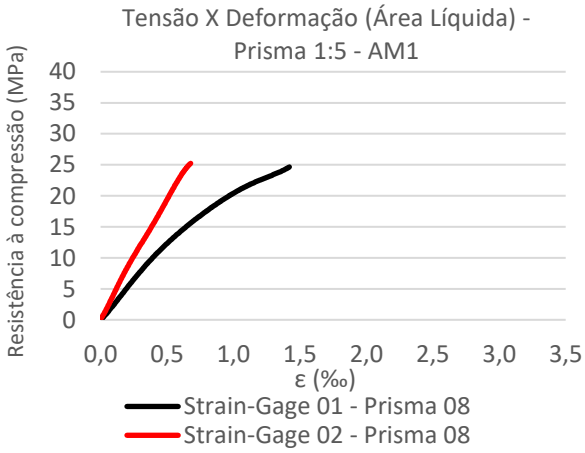
Prisma 07 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



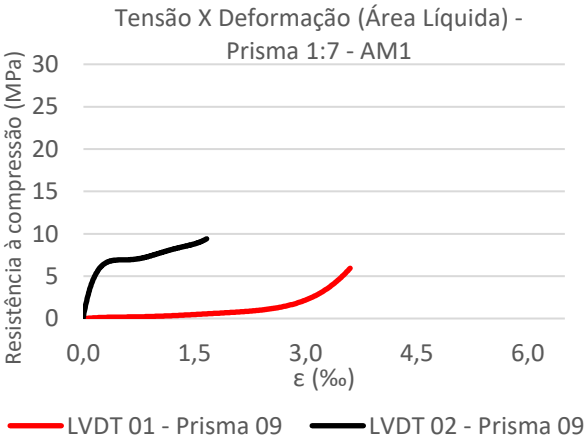


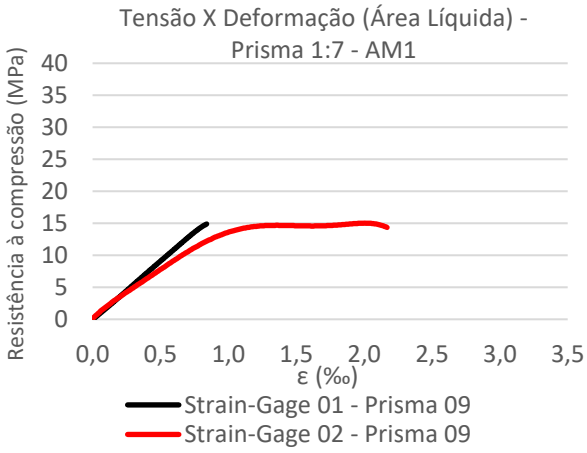
Prisma 8 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



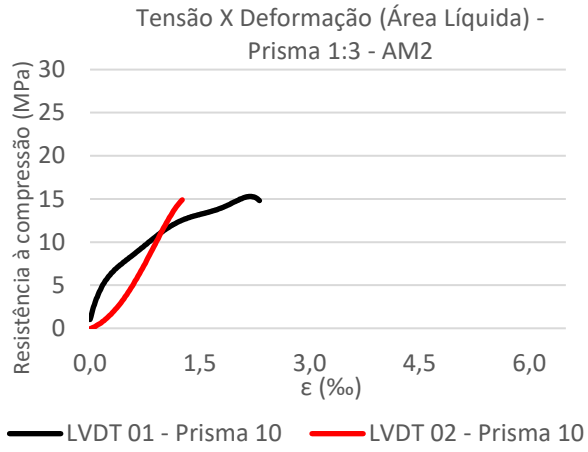


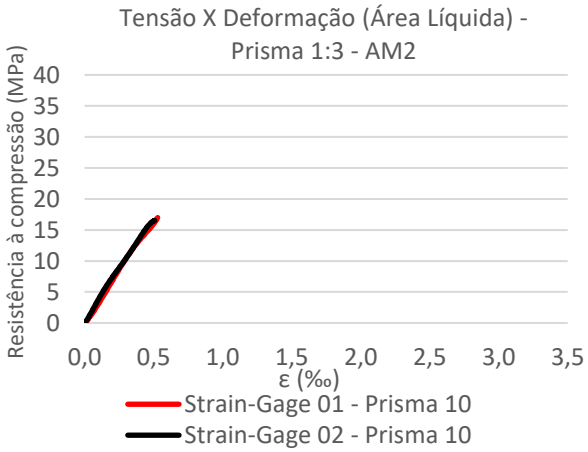
Prisma 9 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM1



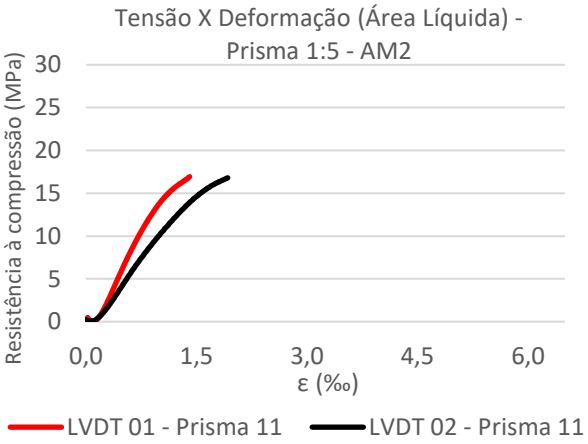


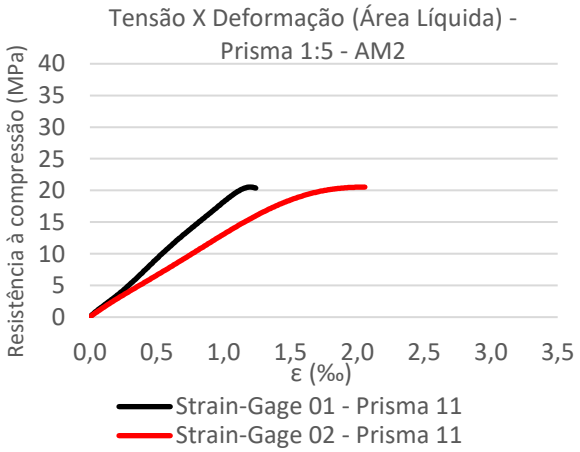
Prisma 10 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM2



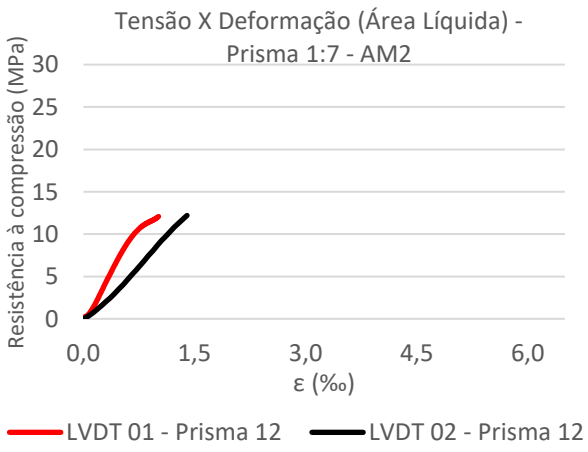


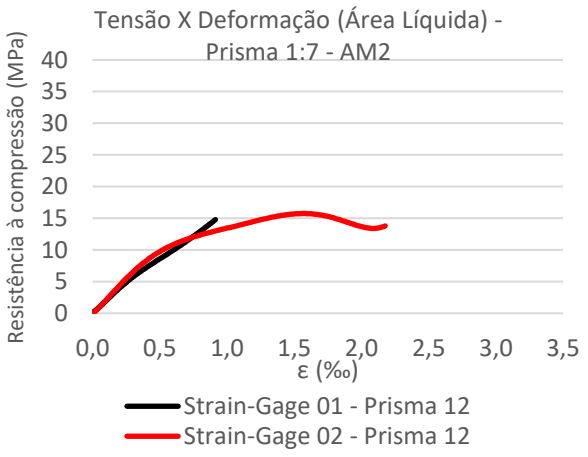
Prisma 11 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM2



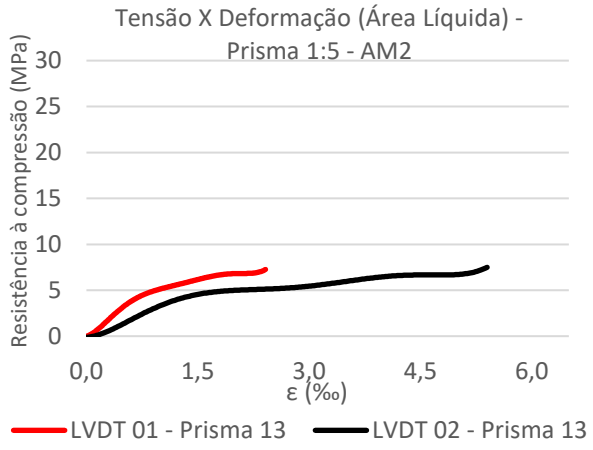


Prisma 12 – Ensaio com LVDT e Strain-Gage – Argamassa Mista – AM2

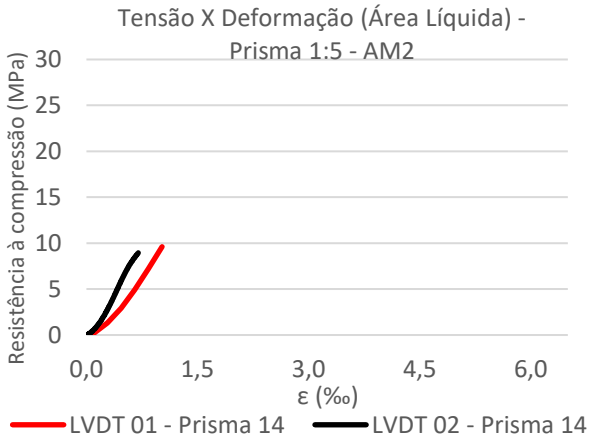




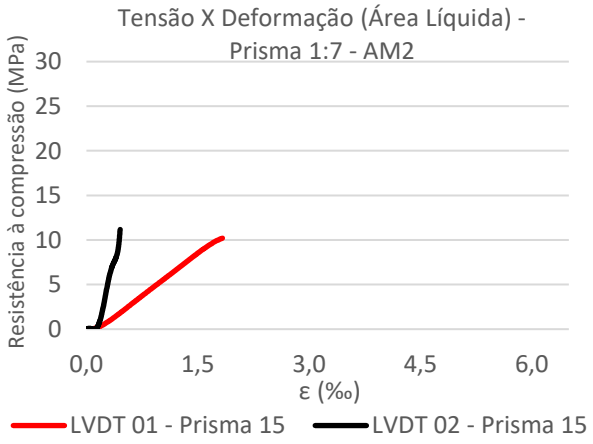
Prisma 13 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



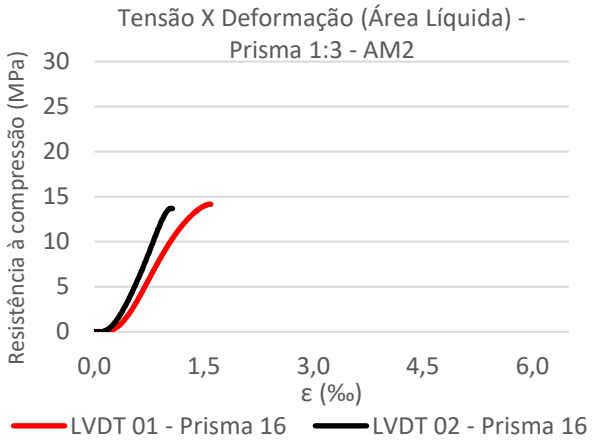
Prisma 14 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



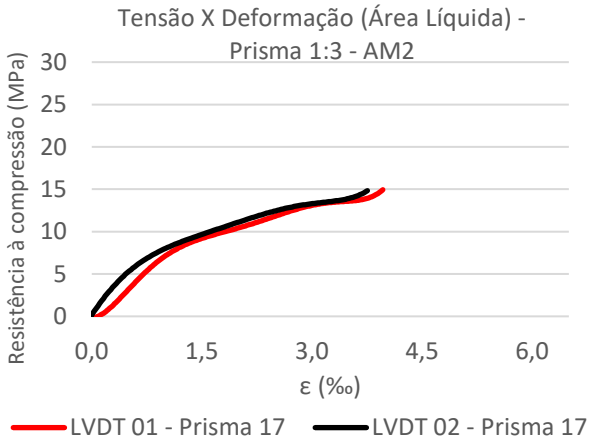
Prisma 15 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



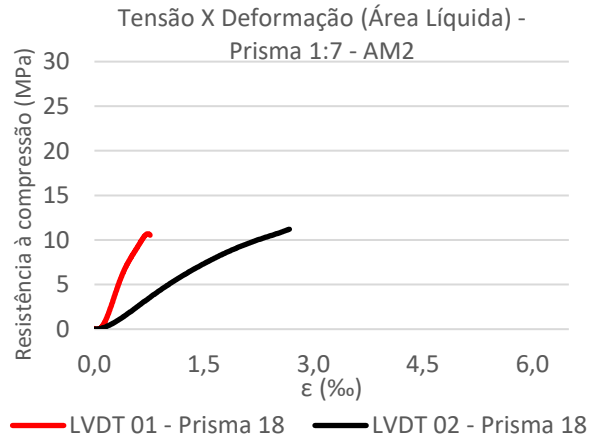
Prisma 16 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



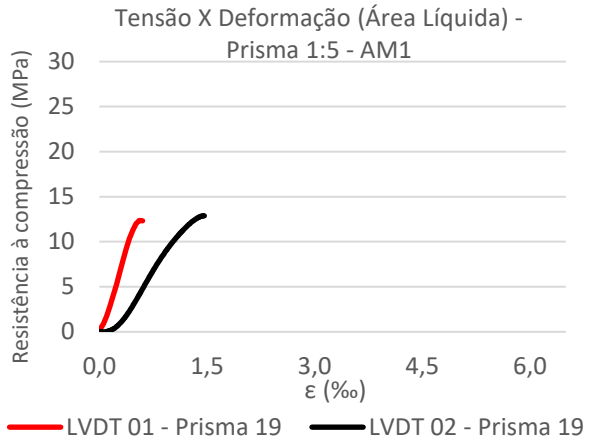
Prisma 17 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



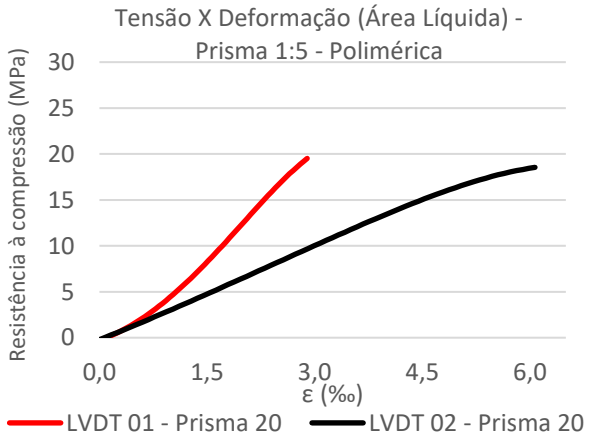
Prisma 18 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM2



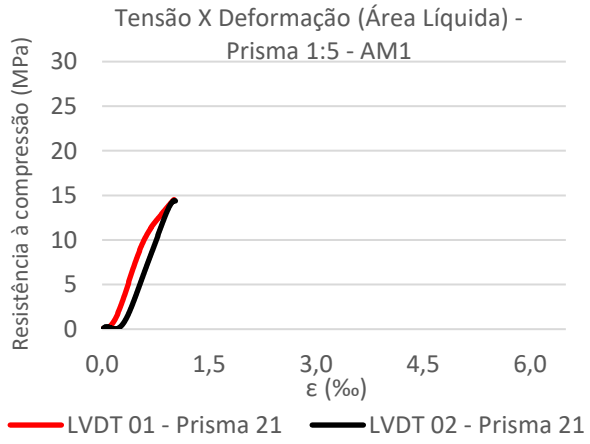
Prisma 19 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



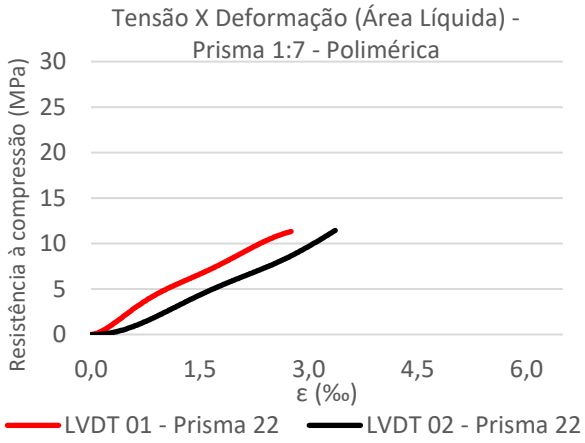
Prisma 20 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica



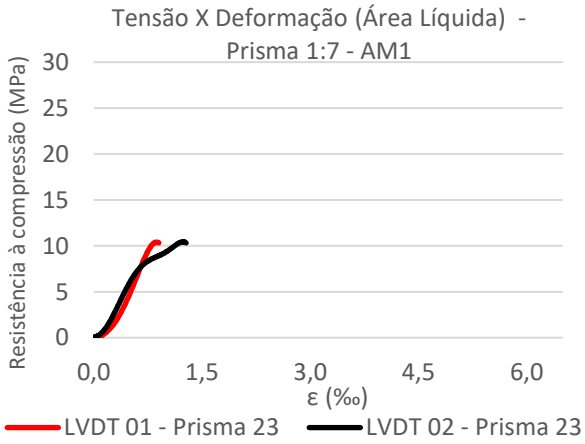
Prisma 21 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



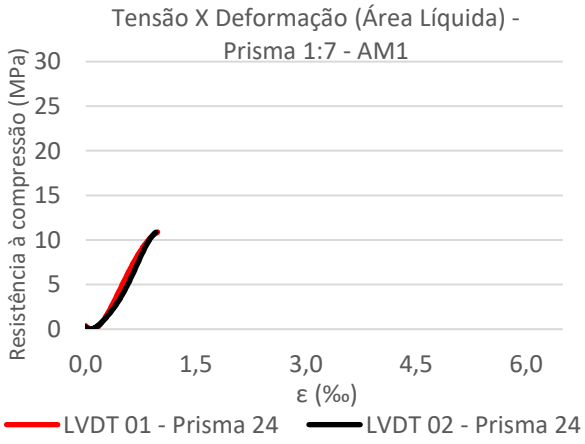
Prisma 22 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica



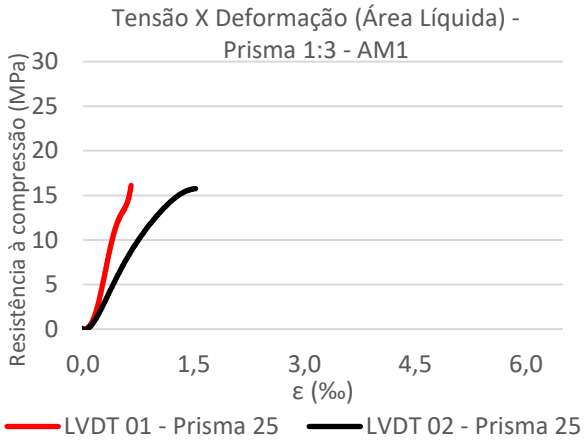
Prisma 23 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



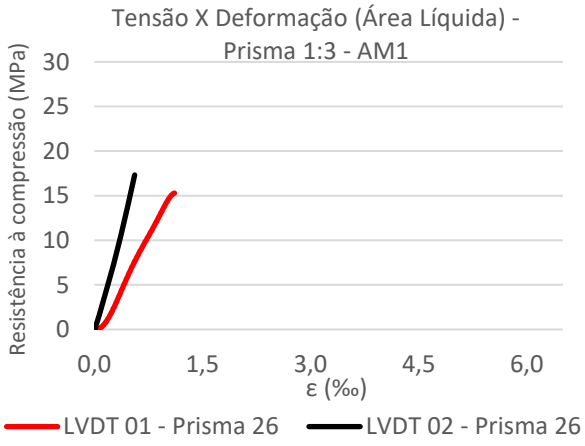
Prisma 24 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



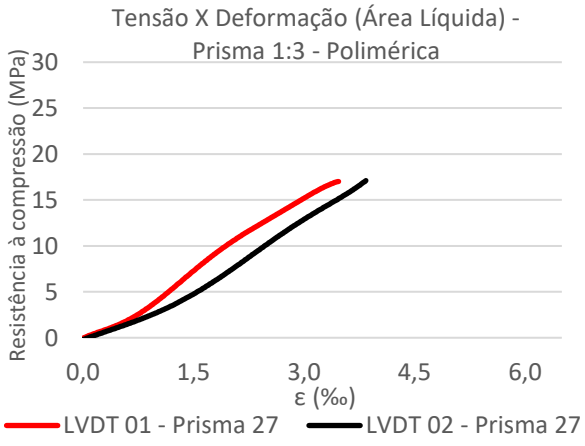
Prisma 25 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



Prisma 26 – Ensaio com LVDT – Argamassa Mista – AM1



Prisma 27 – Ensaio com LVDT – Argamassa Polimérica



ANEXOS

ANEXO A - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100
NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90				
NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20				
NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50				

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009)

ANEXO B - Limites da distribuição granulométrica do agregado graúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	**Porcentagem, em massa, retida acumulada**				
	Zona granulométrica $\frac{d}{D^a}$				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	2 - 25[b]	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15[b]	65[b] - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	45[b] - 65[b]	92 - 100	-	-
9,5 mm	2 - 15[b]	80[b] - 100	95 - 100	-	-
6,3 mm	45[b] - 65[b]	92 - 100	-	-	-
4,75 mm	80[b] - 100	95 - 100	-	-	-
2,36 mm	95 - 100	-	-	-	-

[a] Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

[b] Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

Fonte: ABNT NBR 7211 (2009)

ANEXO C - Item 8.2 da ABNT NBR 15961-2:2011 – Resistência característica

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

Onde:

$f_{ek,2} = \phi . f_{e(1)}$, sendo o valor de ϕ indicado na Tabela 2;

$f_{ek,3}$ é o maior valor entres $f_{ek,1}$ e $f_{ek,2}$;

$f_{ek,4} = 0,85 . f_{em}$;

f_{ek} é o menor valor entre $f_{ek,3}$ e $f_{ek,4}$.

Sendo:

$i = \frac{n}{2}$, se n for par;

$i = \frac{(n-1)}{2}$, se n for ímpar.

Onde:

$f_{ek,est}$	é a resistência característica estimada da amostra, expressa em megapascals (MPa);
$f_{e(1)}, f_{e(2)}, \ldots, f_{ei}$	são os valores de resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;
f_{em}	é a média de todos os resultados da amostra;
n	é o número de copos de prova da amostra.

Tabela 2 da NBR 15961-2:2011 - Valores de Ø em função da quantidade de elementos de alvenaria															
Nº de elementos	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16 e 17	18 e 19
Ø	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

Para ensaios com n maior ou igual a 20, a resistência característica deve ser calculada por:

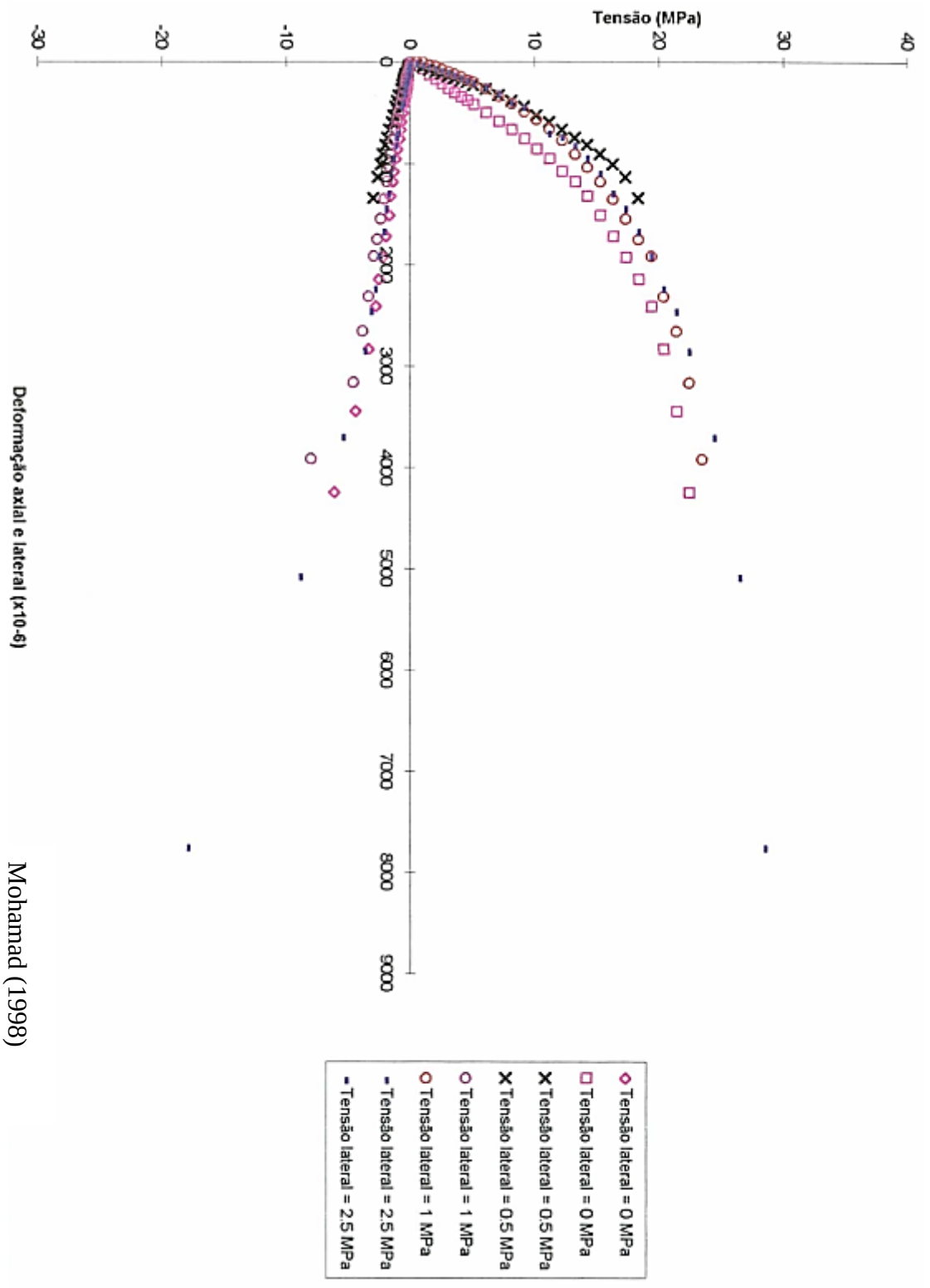
$$f_{ek} = f_{em} - 1{,}65\ S_n$$

Onde:

f_{em} é a resistência média dos exemplares

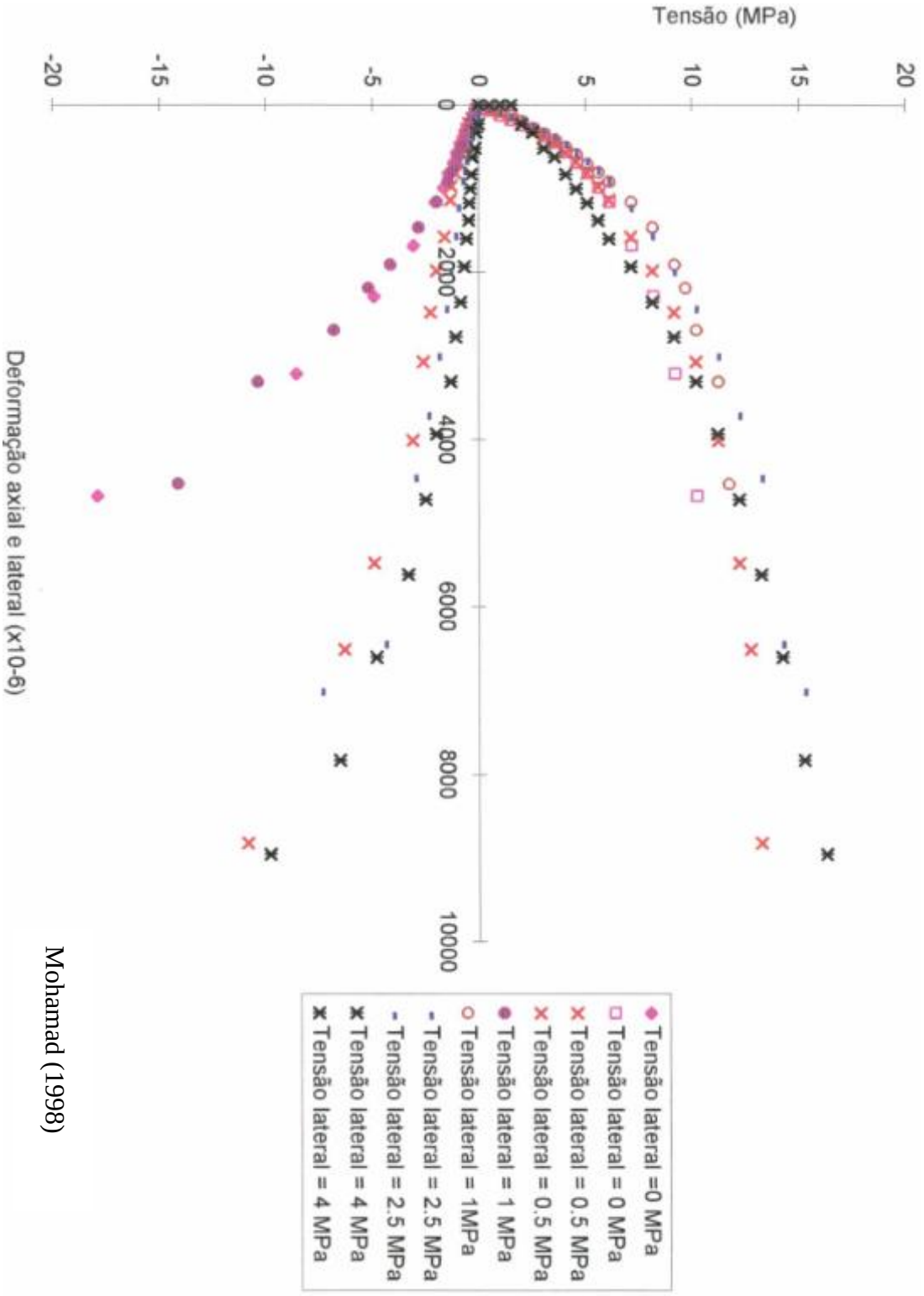
S_n é o desvio-padrão da amostra.

ANEXO D - Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:0,5:4,5, para diferentes níveis de tensões laterais



Mohamad (1998)

ANEXO E - Curva tensão x deformação da argamassa confinada triaxialmente de traço 1:1:6, para diferentes níveis de tensões laterais



Mohamad (1998)