

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANA ELISABETE LIMBERGER

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DA ARGAMASSA  
ARMADA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE TELAS DE  
SUSTENTAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO  
2015

ADRIANA ELISABETE LIMBERGER

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO MECÂNICO DA ARGAMASSA  
ARMADA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE TELAS DE  
SUSTENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri

TOLEDO

2015



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Toledo  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 003

### **Avaliação do Comportamento Técnico da Argamassa Armada Utilizando Diferentes Tipos de Telas de Sustentação**

por

**Adriana Elisabete Limberger**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h00min do dia **02 de Junho de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

---

Prof. Me. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Me. Marcelo Guimarães Ribeiro  
(UTFPR – TD)

---

Prof. Dr. Gilberto Da Cunha Gonçalves  
(UTFPR – TD)

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri  
(UTFPR – TD)  
Orientadora

---

Visto da Coordenação  
Prof. Dr Lucas Boabaid Ibrahim  
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço acima de tudo a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela infraestrutura oferecida através do Laboratório de Materiais de Construção Civil, juntamente com os seus professores e técnicos.

Aos técnicos do laboratório Claudia Regina Bernardi Baldin e Marcos Vinicius Schlichting, pela constante disponibilidade em ajudar.

Agradeço especialmente à orientadora Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Elizabete Yukiko Nakanishi Bavastri, pela sua dedicação e boa vontade ao orientar, transmitindo o conhecimento de maneira paciente durante todas as fases deste trabalho.

Aos meus pais, pelo constante apoio, paciência e compreensão durante toda a minha vida.

Aos meus colegas de classe que passaram por essa fase junto comigo. A Thiago Peiter, pela parceria na realização de alguns ensaios. Especialmente a Gabriel Rech dos Santos, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

E agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desta graduação e para a realização deste trabalho.

## RESUMO

LIMBERGER, Adriana Elisabete. **Avaliação do Desempenho Mecânico da Argamassa Armada Utilizando Diferentes Tipos de Telas de Sustentação**. 2015. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Toledo, 2015.

O presente trabalho apresenta a avaliação do desempenho mecânico da argamassa armada utilizando diferentes tipologias de telas de sustentação. Dentre esses métodos, destaca-se a caracterização do agregado, do aglomerante, da argamassa no estado fresco e endurecido. Em relação à argamassa armada, foram realizados ensaios para avaliar seu desempenho mecânico, através de uma placa padrão, com um tipo mais comum de tela de sustentação, e placas armadas com tipos de telas alternativos. Além disso, avaliaram-se placas sem telas de sustentação de diferentes espessuras. Concluiu-se que a melhor tela de sustentação é a tela com abertura de malha pequena, que apresentou os melhores desempenhos em relação à absorção por capilaridade, à resistência ao impacto e à resistência à flexão. Verificou-se também que o aumento da espessura da placa proporciona melhores resultados de absorção por imersão.

Palavras-chave: Argamassa Armada. Telas de Sustentação. Desempenho Mecânico.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de painel tipo sanduíche em argamassa armada.....	18
Figura 2 – Representação gráfica dos deslocamentos .....	19
Figura 3 – À esquerda, componentes de escada drenante, e à direita, componente para contenção de encostas .....	21
Figura 4 – À esquerda, creche com cobertura em argamassa armada em Bonjoá – Salvador, e à direita, perspectiva da casca da cobertura da creche .....	22
Figura 5 – Aplicação da primeira camada de argamassa na estrutura de uma cisterna.....	25
Figura 6 – Execução das placas para a parte superior da cisterna .....	26
Figura 7 – Concepção da cisterna depois de finalizada .....	26
Figura 8 – Tela de malha hexagonal .....	36
Figura 9 – Tela de malha quadrada entrelaçada .....	37
Figura 10 – Tela soldada de malha quadrada .....	37
Figura 11 – Tela soldada de malha retangular .....	38
Figura 12 – Tela losangular de aço expandido.....	38
Figura 13 – Telas utilizadas nas placas: 1º tela plástica (A); 2º tela com pequena abertura de malha (B); 3º tela com média abertura de malha (Padrão); 4º tela com grande abertura de malha (C).....	41
Figura 14 – Amostras dos grãos de agregados retidos em cada peneira de serie normal .....	42
Figura 15 – Agregado contendo água após o processo de lavagem .....	43
Figura 16 – Frasco de Chapman contendo o agregado miúdo .....	44
Figura 17 – Recipiente contendo o agregado no estado solto .....	46
Figura 18 – Recipiente contendo o agregado compactado .....	46
Figura 19 – Recipiente contendo o agregado miúdo após adição das quantidades pré-estabelecidas de água .....	47
Figura 20 – Absorção de água. (1º) agregado úmido; (2º) agregado seco; (3º) agregado saturado superfície seca .....	49
Figura 21 – Tubos de ensaio contendo as soluções preparadas .....	50
Figura 22 – Frascos de Le Chatelier contendo a amostra de aglomerante.....	51
Figura 23 – Recipiente contendo o aglomerante após realização do ensaio de massa específica para o estado solto.....	52
Figura 24 – Aparelho de Vicat após moldagem da pasta.....	53
Figura 25 – Aparelho de Vicat - Início da pega .....	54
Figura 26 – Aparelho de Vicat – Fim da pega .....	55
Figura 27 – Argamassa após a retirada do molde.....	56
Figura 28 – Argamassa compactada no estado fresco .....	57
Figura 29 – Corpos de prova de argamassa após moldagem.....	58
Figura 30 – Forma de madeira .....	58
Figura 31 – À esquerda, placa moldada para espessura de 2 cm sem a adição de tela, no estado fresco; ao centro, placa de argamassa armada parcialmente moldada no estado fresco; à direita, placa em argamassa de 6 cm de altura após cura.....	59

Figura 32 – Pesagem da placa e do corpo-de-prova na balança hidrostática.....	61
Figura 33 – Corpos-de-prova totalmente imersos em água .....	63
Figura 34 – Ensaio de absorção por capilaridade .....	63
Figura 35 – Ensaio de Absorção por capilaridade: à esquerda, placa de argamassa de 2 cm de espessura com tela; à esquerda placa de argamassa de 6 cm de espessura sem tela.....	64
Figura 36 – Equipamento de ensaio de impacto de corpo duro .....	65
Figura 37 – Ruptura de tração na flexão e compressão.....	66
Figura 38 – Equipamento de ensaio de flexão das placas .....	67
Figura 39 – Ensaio de flexão nas placas de argamassa .....	67
Figura 40 – Distribuição granulométrica da areia natural (amostra 1 e 2) .....	70
Figura 41 - Curva de inchamento da areia 1 .....	75
Figura 42 - Curva de inchamento da areia 2 .....	75
Figura 43 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 6 mm.....	79
Figura 44 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 4 mm.....	80
Figura 45 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 0,5 mm.....	81
Figura 46 – Resultados do ensaio de absorção para todos os corpos-de-prova.....	84
Figura 47 – Resultados de índice de vazios para todos os corpos-de-prova .....	85
Figura 48 – Resistências médias à tração e à compressão dos corpos-de-prova nas diferentes idades .....	88
Figura 49 – Absorção por imersão para as placas de argamassa (16x16xespessuras cm) .....	90
Figura 50 – Absorção por imersão para os corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm) .....	91
Figura 51 – Migração de água para os corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm) .	91
Figura 52 – Absorção por capilaridade para as placas sem tela (25x25xespessura cm) .....	92
Figura 53 – Migração de água para os corpos-de-prova de argamassa sem tela (25x25x6 cm).....	92
Figura 54 – Telas de sustentação .....	93
Figura 55 – Absorção por capilaridade para a placa com tela (25x25x2 cm) .....	94
Figura 56 – Absorção por capilaridade para as placas com tela (25x25x2 cm) e para a placa sem tela de 2 cm de espessura .....	94
Figura 57 – Placa de argamassa sem tela após a ruptura por impacto .....	96
Figura 58 – Placa de argamassa com tela após fissuração .....	97
Figura 59 – Placa de argamassa armada após a ruptura.....	98
Figura 60 – Energia potencial para fissuração e ruptura das placas de argamassa com e sem telas .....	99
Figura 61 – Ensaio de Flexão.....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para Argamassa.....	24
Tabela 2 – Argamassa – determinação da absorção de água por capilaridade.....	35
Tabela 3 – Massa mínima por amostra de ensaio.....	43
Tabela 4 – Granulometria da areia ( amostra 1).....	69
Tabela 5 – Granulometria da areia (amostra 2).....	70
Tabela 6 – Determinação de finos por lavagem.....	72
Tabela 7 – Determinação da massa específica da areia.....	73
Tabela 8 – Massa específica unitária no estado solto e compactado para duas amostras.....	74
Tabela 9 – Determinação da absorção de água da areia.....	76
Tabela 10 – Massa específica do Cimento Portland CPV ARI.....	77
Tabela 11 – Massa específica unitária do Cimento Portland (CPV ARI) no estado solto.....	78
Tabela 12 – Índice de Consistência Normal.....	79
Tabela 13 – Índice de consistência.....	82
Tabela 14 – Massa específica da argamassa.....	83
Tabela 15 – Propriedades dos corpos-de-prova (4x4x16cm) de argamassa.....	84
Tabela 16 – Propriedades dos corpos-de-prova (25x25xespessura) de placas sem tela.....	84
Tabela 17 – Propriedades dos corpos-de-prova (25x25x2cm) de placas com tela...84	
Tabela 18 – Resistência à tração e à compressão dos corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm) aos 7 dias.....	86
Tabela 19 – Resistência à tração e à compressão dos corpos-de-prova prismáticos (4x4x16) aos 28 dias.....	87
Tabela 20 – Absorção por imersão corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm).....	89
Tabela 21 – Absorção por imersão placas sem telas (25x25xespessuras cm).....	89
Tabela 22 – Absorção por capilaridade para as placas de argamassa armada (25x25x2 cm).....	93
Tabela 23 – Ensaio de impacto: altura e quantidade de golpes para a fissuração e a ruptura para as placas de argamassa de diferentes espessuras.....	96
Tabela 24 – Altura e quantidade de golpes para a fissuração e a ruptura para as placas de argamassa armada.....	97
Tabela 25 – Energia potencial para as placas de argamassa sem tela.....	98
Tabela 26 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa sem tela (25x25xespessuras cm).....	100
Tabela 27 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa com tela (25x25x2 cm).....	101
Tabela 28 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa com tela (25x10x2 cm).....	103



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo Geral.....	12
1.2.2	Objetivos Específicos.....	13
1.3	DELIMITAÇÃO .....	13
1.4	HIPÓTESE.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1	HISTÓRICO DA ARGAMASSA ARMADA .....	14
2.2	CONCEITUAÇÃO.....	15
2.3	ARGAMASSA ARMADA.....	16
2.3.1	Projeto e Produção de Sistemas e Componentes em Argamassa Armada para Edificações (MARCELLINO, 1991).....	16
2.3.2	Casas Populares em Argamassa Armada (MACHADO JR., 1991).....	18
2.3.3	Residência Pré-Fabricada de Argamassa Armada como Unidade Básica de Agrovila (GARCIA, 2012).....	20
2.3.4	Pré-fabricados em Argamassa Armada: Material, Técnica e Desenho de Componentes Desenvolvidos por Lelé (TRIGO, 2009).....	21
2.3.5	Argamassa Armada: Projeto Estrutural e Dimensionamento com Telas Soldadas (HANAI, 1996).....	23
2.3.6	Pequenas Construções em Argamassa Armada (SCHISTEK, 2005) .....	25
2.4	PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA .....	27
2.4.1	Agregado .....	27
2.4.2	Composição Granulométrica .....	28
2.4.3	Determinação do Teor de Material Pulverulento.....	28
2.4.4	Massa Específica.....	29
2.4.5	Massa Unitária.....	29
2.4.6	Determinação do Inchamento da Areia.....	30
2.4.7	Absorção de Água .....	31
2.4.8	Aglomerantes.....	31
2.5	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO .....	32
2.5.1	Massa Específica.....	32
2.5.2	Trabalhabilidade e Índice de Consistência .....	33
2.6	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO .....	33
2.6.1	Capacidade de Absorver Deformações .....	34
2.6.2	Absorção de Água .....	34
2.7	TELAS DE SUSTENTAÇÃO.....	35
2.7.1	Telas de Aço de Malha Hexagonal .....	36
2.7.2	Telas de Aço de Malha Quadrada Entrelaçada .....	36
2.7.3	Telas de Aço Soldadas.....	37
2.7.4	Telas de Aço Expandidas .....	38
3	METODOLOGIA .....	40

3.1	TIPOLOGIAS DE TELAS DE SUSTENTAÇÃO .....	40
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO E DO AGLOMERANTE .....	41
3.2.1	NBR NM 248/2003 Agregados: Determinação da Composição Granulométrica .....	42
3.2.2	NBR NM 46/2003 Agregados – Determinação do Material Fino que Passa Através da Peneira 75 µm, por Lavagem .....	42
3.2.3	NBR 9776/1987 Agregados - Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do Frasco Chapman.....	44
3.2.4	NBR NM 45/2006 Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios .....	45
3.2.5	NBR 6467/2006 Agregados - Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo - Método de Ensaio .....	47
3.2.6	NBR NM 30/2001 Agregado miúdo - Determinação da Absorção de Água....	48
3.2.7	NBR NM 49/2001 Agregado Fino - Determinação de Impurezas Orgânicas..	50
3.2.8	NBR NM 23/2001: Cimento Portland e outros Materiais em Pó - Determinação da Massa Específica.....	51
3.2.9	Massa Específica do Aglomerante no Estado Solto .....	52
3.2.10	NBR NM 43/2003 – Cimento Portland – Determinação da Pasta de Consistência Normal.....	53
3.2.11	NBR NM 65/2003 – Cimento Portland – Determinação do Tempo de Pega...	54
3.3	ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO .....	55
3.3.1	NBR 13276/2005 Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência .....	55
3.3.2	NBR 9833/2008 Concreto fresco - Determinação da Massa Específica, do Rendimento e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico.....	56
3.4	ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO .....	57
3.4.1	Moldagem de Corpos de Prova Prismáticos de Argamassa .....	57
3.4.2	Moldagem das Placas de Argamassa Armada .....	58
3.4.3	Determinação da Absorção de Água, Porosidade, Massa específica Seca e Massa Específica Saturada .....	60
3.4.4	NBR 9778/2005 Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica .....	62
3.4.5	NBR 9779/2012 Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.....	63
3.4.6	NBR 15845/2010 - Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro.....	65
3.4.7	NBR 13279/2005 – Argamassa – Tração na Flexão e Compressão .....	66
3.4.8	Ensaio de Ruptura à Flexão das Placas de Argamassa com e sem Telas.....	67
4	RESULTADOS .....	69
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO E DO AGLOMERANTE .....	69
4.1.1.	Agregado miúdo: composição granulométrica .....	69
4.1.2.	Agregado miúdo: finos por lavagem .....	72
4.1.3.	Agregado miúdo: massa específica (Frasco de Chapman) .....	73
4.1.4.	Agregado miúdo: massa unitária nos estados solto e compactado .....	73
4.1.5.	Agregado miúdo: inchamento .....	74
4.1.6.	Agregado miúdo: absorção de água .....	76
4.1.7.	Agregado miúdo: impurezas orgânicas.....	77
4.1.8.	Aglomerante: massa específica.....	77

4.1.9. Aglomerante: massa unitária no estado solto .....	78
4.1.10 Aglomerante: pasta de consistência normal .....	78
4.1.11 Aglomerante: tempo de pega.....	80
4.2 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA DO ESTADO FRESCO.....	81
4.2.1. Índice de consistência.....	81
4.2.2. Massa Específica.....	82
4.3 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	83
4.3.1. Absorção de Água, Porosidade, Massa específica Seca e Massa Específica Saturada .....	83
4.3.2. Ruptura dos corpos-de-prova de argamassa prismáticos (4x4x16cm) .....	86
4.3.3. Absorção de água por imersão .....	88
4.3.4. Absorção de água por capilaridade .....	90
4.3.5. Resistência ao impacto de corpo duro.....	95
4.3.6. Ruptura das placas de argamassa com e sem telas .....	100
5. CONCLUSÃO .....	104
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
Referências Bibliográficas .....	108

## 1 INTRODUÇÃO

A argamassa armada, por sua versatilidade de utilização em diversos componentes, apresenta-se como uma boa alternativa tecnológica. Mesmo sendo uma tecnologia antiga, é evidente a trajetória de exploração de suas possibilidades ao longo dos anos, proporcionando o melhoramento do seu desempenho e o aprofundamento de conhecimento quanto às suas propriedades.

As possibilidades amplas de aplicação da tecnologia permitem que a argamassa armada apresente-se como sistema construtivo, compondo projetos residenciais e de pequenas edificações nos seus diversos elementos estruturais, nos elementos de vedação, nos pisos e coberturas, dando características de leveza à estrutura.

Por possuir propriedades adequadas de impermeabilidade e flexibilidade, a argamassa armada foi disseminada ao longo dos anos, sob o título de ferrocimento, nas áreas de Construção Naval e, recentemente, em obras de saneamento.

No Brasil, o estudo e conhecimento da argamassa armada foram introduzidos pela Escola de Engenharia de São Carlos, na Universidade de São Paulo, nos anos 60, desenvolvendo estruturas de coberturas que antecederam o desenvolvimento de elementos pré-fabricados de concreto protendido e telhas de fibrocimento estruturais. Alguns anos depois, João Filgueiras Lima, conhecido por Lelé, desenvolveu inúmeros projetos e trabalhos técnicos envolvendo argamassa armada pré-fabricada de qualidade arquitetônica, o que contribuiu significativamente para o aprimoramento da tecnologia (HANAI, 1996, p. 4).

Apesar das inúmeras aplicações da argamassa armada, o seu potencial como material ainda não é totalmente explorado, e a sua consolidação ainda é relutante, por decorrência da falta da disseminação dessa tecnologia de maneira adequada e ordenada ao público profissional.

Dessa forma, o trabalho aqui desenvolvido pretende contribuir para a divulgação do conhecimento da tecnologia, além de realizar caracterização dos materiais constituintes e executar a argamassa armada com a utilização de

tipologias alternativas de telas de sustentação, a fim de verificar seu desempenho mecânico.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Por ser um material versátil, as diferentes utilizações da argamassa armada interferem na consideração de diferentes tipos de solicitações de carregamento, os quais provocam diferentes efeitos na estrutura. Parte dessas solicitações é absorvida pelas telas de sustentação, contribuindo na garantia do adequado comportamento do elemento.

Tendo em vista essa situação, a possibilidade de utilização de diferentes tipos de telas de sustentação pode apresentar-se como alternativa, desde que não prejudiquem as solicitações impostas, permitindo a adequação dos elementos de acordo com a necessidade. Desta forma, uma das adequações que se propõe é a possibilidade de diminuir a espessura de placas em argamassa armada, conferindo leveza e esbeltez à estrutura, além de contribuir para a diminuição na quantidade de materiais utilizados para a sua confecção. Ainda, propõe-se

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar diversos tipos de telas de sustentação utilizadas na argamassa armada, com a finalidade de verificar seu desempenho mecânico.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos a serem alcançados nesta pesquisa destacam-se:

- a) Analisar variadas telas de sustentação para utilização em argamassa armada;
- b) Caracterizar os materiais constituintes da argamassa;
- c) Averiguar as propriedades da argamassa no estado fresco e no estado endurecido;
- d) Verificar seu desempenho mecânico em placas de argamassa armada com as diferentes tipologias de telas de sustentação.

### 1.3 DELIMITAÇÃO

A presente pesquisa propõe a avaliação entre diferentes tipos de telas de sustentação que compõe placas em argamassa armada, no que se refere ao seu comportamento mecânico. Desta forma, as diferentes tipologias de tela respeitarão a máxima proximidade de bitolas conforme disponibilidade na região, variando-se a geometria, e, conseqüentemente, a abertura de malha.

### 1.4 HIPÓTESE

Pretende-se verificar qual a influência das diferentes tipologias de telas na argamassa armada, e também qual o tipo de malha que melhora o desempenho mecânico.

Além disso, planeja-se avaliar a possibilidade da diminuição da espessura das placas de argamassa armada e verificar qual a sua influência no desempenho final.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO DA ARGAMASSA ARMADA

A origem da argamassa armada ainda é desconhecida. Compreende-se seu surgimento em meados do século XIX, simultaneamente por alguns estudiosos. Em 1849, Joseph Monier (1823-1906), um jardineiro francês, incorporou malhas de barras de ferro em vasos para jardins. Wilkinson (1819-1902), de nacionalidade inglesa, desenvolveu vigas de concreto reforçado para a construção, utilizando barras de aço nos locais de maior tensão. Thaddeus Hyatt (1816-1901), na mesma época, contribuiu com a racionalização de teorias referentes ao concreto armado, nos Estados Unidos. Finalmente, em 1848, Joseph Louis Lambot (1818-1887) construiu pequenas embarcações com uma rede de barras metálicas encaixadas juntas com cimento hidráulico, nomeando de *ferrocimento* (BALLARIN, 1999, p. 10).

Após a concepção de Lambot, quase cem anos se passaram sem alguma aplicação considerável da técnica. Segundo Hanai (1996, p. 4), somente no século seguinte, a partir de 1940, o ferrocimento passou a ser utilizado notoriamente na Construção Civil e Naval. Em 1946, Pier Luigi Nervi (1891-1979), engenheiro italiano, produziu obras antológicas de Engenharia e Arquitetura, utilizando o ferrocimento em elementos pré-moldados que conferiram características de leveza à estrutura.

O primeiro registro de aplicação da argamassa armada no Brasil foi nos anos 60, conforme afirma Campos (1994, p. 9), na EESC/USP-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, numa cobertura plana de 1.000 m<sup>2</sup>. Na mesma universidade, consolidou-se o Grupo de São Carlos, os quais desenvolviam pesquisas que visavam adaptar o material às condições locais.

Em 1979, o arquiteto João Filgueiras Lima (1932-2014), conhecido pelo apelido Lelé, aplicou em Salvador – BA a técnica da argamassa armada industrializada em obras de saneamento básico. Depois levou a tecnologia para o Rio de Janeiro, onde construiu uma série de escolas (TRIGO, 2009, p. 22). Foi, no

entanto, com o desenvolvimento de uma rede de hospitais denominada Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS), que o arquiteto tomou maior notoriedade no cenário nacional da argamassa armada, sendo considerado hoje a maior referência brasileira no tema.

## 2.2 CONCEITUAÇÃO

Originalmente, chamou-se de ferrocimento às telas metálicas armadas envolvidas em agregado miúdo e aglomerante. A partir da disseminação do conceito em diversos países, inúmeras inovações tecnológicas ocorreram, desde a adaptação à construção naval até a utilização em projetos de piscinas e reservatórios.

Alguns pesquisadores consideram a argamassa armada, de certa forma, como um material diferente do concreto armado. Produto da composição de materiais parecidos com os do concreto armado, o comportamento mecânico da argamassa armada, para eles, é sinérgico, ou seja, a mistura dos materiais apresenta comportamento diferente do que os materiais constituintes (BALLARIN, 1999, p. 10).

Com o desenvolvimento na qualidade de alguns materiais, a conceituação da argamassa armada evoluiu, caracterizando-a como um tipo particular de concreto armado, ou microconcreto, definição que é intimamente ligada à sua origem.

Define-se argamassa armada como sendo, portanto, um material constituído de argamassa de cimento e areia envolvendo armaduras de telas de sustentação de aço com abertura pré-determinada e limitada, com a finalidade de absorção de esforços de tração propiciando uma configuração de finas fissuras com pouco espaçamento entre elas (HANAI, 1996, p. 8).

A argamassa é constituída por cimento e agregado miúdo, geralmente na proporção de 1:2 ou 1:3 e a relação água/cimento (a/c) varia de 0,35 a 0,45, o que conduz a consumos de cimento na faixa de 500 e 680 kg/m<sup>3</sup> (HANAI, 1996, p. 20). As espessuras das telas utilizadas, normalmente, variam de 1,5 a 4,0 cm, com



cobrimentos de armaduras da ordem de 5 a 7 mm. As taxas de armadura variam desde valores em torno de 80 kg/m<sup>3</sup>, para elementos não estruturais, até valores próximos a 250 kg/m<sup>3</sup> para peças com fins estruturais (BALLARIN1999, p. 31).

## 2.3 ARGAMASSA ARMADA

As diversas aplicações da argamassa armada requerem um desenvolvimento específico adequado associado à disseminação ordenada de conhecimentos. Dessa forma, faz-se importante conhecer os trabalhos desenvolvidos nesta área, a fim de adquirir e empregar da melhor maneira os conceitos estabelecidos e adquirir parâmetros adequados de comparação.

### 2.3.1 Projeto e Produção de Sistemas e Componentes em Argamassa Armada para Edificações (MARCELLINO, 1991)

O objetivo do trabalho produzido pelo autor foi o de desenvolver e sugerir diversas alternativas de projeto e produção em argamassa armada de sistemas e componentes para edificações, apresentando procedimentos de projeto, definindo componentes e sistemas, além de alternativas de formas estruturais disponíveis e viáveis para aplicação em processos de produção.

Com isso, o autor pretendeu sensibilizar as pequenas e médias empresas "ao uso da argamassa armada em componentes e sistemas de peso relativamente baixo, por isso denominados de sistemas leves, em relação aos seus similares de concreto armado ou protendido". Pelo fato de o sistema ser leve, os equipamentos, mão-de-obra e materiais não demandariam grandes investimentos, o que facilitaria a adaptação a esse tipo de produção.

Uma das etapas para se atingir o objetivo proposto consiste na caracterização dos sistemas e componentes construtivos no que diz respeito à

industrialização da construção e suas implicações. Sistematizar um processo implica numa elaboração maior das atividades a serem realizadas, e por tanto um trabalho maior, que resulta num elevado nível de industrialização. Para isso, fazem-se necessárias alterações significativas no tratamento do sistema, a constar a alteração no comportamento dos profissionais envolvidos, na mudança do conceito "projeto-construção" para o de "projeto-produção-execução"; industrialização progressiva; necessidade de providências para assegurar o nível constante de atividades.

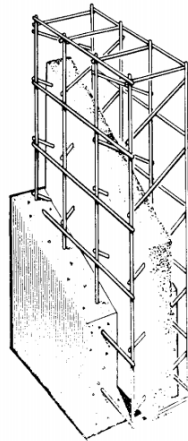
Esse processo de sistematização é validado através do desenvolvimento de etapas de produção em pé de obra, em pequena, média e grande escala. Para a execução de cada etapa, os elementos e métodos construtivos são detalhados, através de recomendações dos parâmetros de qualidade dos materiais constituintes da argamassa armada em conformidade com as normalizações, e da análise estrutural.

Além disso, foram desenvolvidos projetos estruturais para os componentes básicos de uma edificação, como a cobertura, o forro, as vigas, os pilares, os pisos, os painéis de vedação, e outros componentes complementares, observando suas particularidades quanto às solicitações de carregamentos de projeto e dimensionando de maneira adequada com a tecnologia proposta. Os parâmetros de desempenho econômico também são avaliados, realizando-se uma estimativa do custo dos elementos que compõe a argamassa armada.

Por fim, foi realizado um projeto de uma unidade escola com a tecnologia, confirmando que a tecnologia pode ser aplicada de maneira satisfatória nas edificações, sendo mais uma das alternativas do concreto estrutural. Entretanto, para que o projeto seja executado de maneira satisfatória, deve-se haver um controle sistemático dos materiais constituintes e do processo executivo. Assim, uma das alternativas para esse controle estaria na implantação de sistemas construtivos industrializados.

### 2.3.2 Casas Populares em Argamassa Armada (MACHADO JR., 1991)

Neste trabalho apresentou-se a argamassa armada aplicada às edificações populares, construídas em painéis tipo sanduíche (Figura 1), com placas de face pré-moldadas em argamassa armada e núcleo de espuma rígida de poliuretano como componente de vedação. A união entre os painéis também foi realizada através de elementos de ligação em argamassa armada. O telhado é composto de telhas de fibrocimento, o que contribui para caracterizar a estrutura como sendo leve.

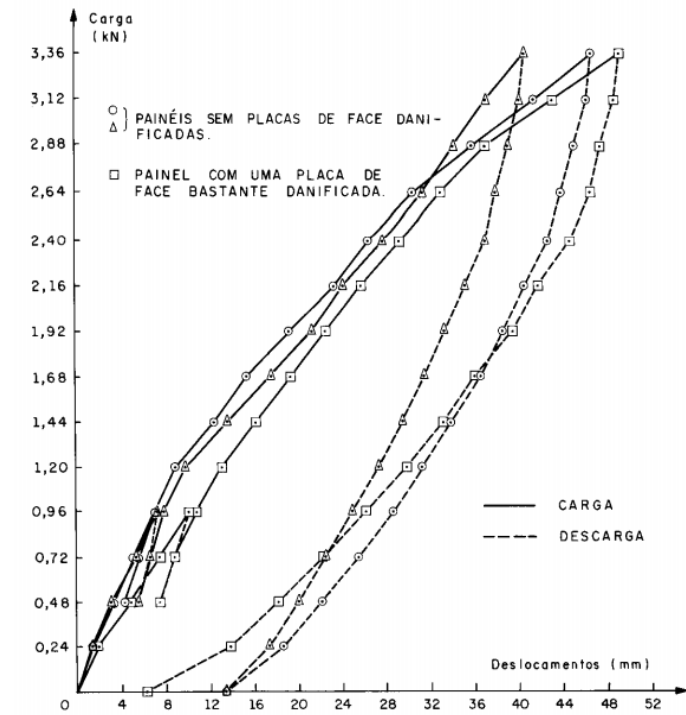


**Figura 1 – Esquema de painel tipo sanduíche em argamassa armada**  
**Fonte: Machado Jr. (1991, p. 13).**

A argamassa empregada nos painéis possuía traço de 1:2,5 (cimento:areia) em massa, com fator de água/cimento 0,45, com o cimento CP-32 de várias procedências e areia média. O consumo de cimento foi de aproximadamente 580 kg/m<sup>3</sup>, e a argamassa continha boa qualidade em relação à trabalhabilidade, à impermeabilidade e a resistência mecânica à compressão.

Foram desenvolvidos dois tipos de painéis, o primeiro com face avariada, apresentando fissuração e degradação, e de núcleo de poliuretano rígido, e o segundo de face em perfeito estado, executado com alta precisão de medidas e controle de materiais. A armadura utilizada corresponde a telas soldadas com fios de 2,76 mm de diâmetro, recortadas e incorporadas nas posições e comprimentos adequados.

Quanto à análise dos painéis em relação a solicitações de vento, através de ensaios de flexão, ambos apresentaram comportamentos semelhantes, diferenciando-se entre si somente por decorrência dos deslocamentos, conforme se observa no gráfico da Figura 2.



**Figura 2 – Representação gráfica dos deslocamentos**  
 Fonte: Machado Jr. (1991).

Nos painéis de face avariada, os deslocamentos foram maiores. Em contrapartida, a flecha residual foi menor nesses painéis, pelo fato de que não houve o aparecimento de novas fissuras, mas sim o acréscimo de abertura das fissuras já existentes, acompanhando as deformações da armadura.

Após as análises dos painéis isolados, desenvolveu-se um protótipo baseado em projeto arquitetônico pré-definido. Para a execução das paredes, utilizaram-se painéis sanduíche em perfeito estado, a maioria deles com telas soldadas e dois deles com telas de aço expandido. Observou-se comportamento semelhante dos dois tipos de painéis. Analisando economicamente, a tela de aço expandido apresentou valor 30% inferior à tela soldada, o que poderia ser analisado como alternativa viável de substituição e diminuição dos custos.

Em relação ao conforto térmico, concluiu-se que o sistema possui sua maior eficiência em regiões onde a amplitude das temperaturas não seja exagerada. Além disso, concluiu-se que as paredes em argamassa armada comporta-se perfeitamente a ação das chuvas, mesmo em exposição contínua a umidade.

### 2.3.3 Residência Pré-Fabricada de Argamassa Armada como Unidade Básica de Agrovila (GARCIA, 2012)

Em decorrência da alta demanda de agrovilas, uma solução construtiva rápida e de baixo custo foi o desenvolvimento de uma residência pré-fabricada em argamassa armada como unidade básica de agrovila. As casas foram constituídas de painéis sanduíche, o qual visou melhorar as qualidades térmicas com a ajuda de materiais isolantes em seu núcleo. As análises foram realizadas partindo do geral para o particular, ou seja, desde a agrovila, passando pela residência e terminando com o sistema construtivo.

Na primeira etapa, apresentou-se a concepção urbana de uma agrovila, considerando tanto a produção como os espaços habitáveis para os trabalhadores e suas famílias, estimulando o progresso da população através da promoção de conforto e bem estar através das atividades realizadas nesses espaços.

Na segunda etapa, desenvolveram-se três projetos arquitetônicos distintos, onde foram avaliadas suas vantagens e desvantagens. Posteriormente, foi desenvolvida uma nova proposta de projeto arquitetônico, que contemplava as vantagens dos três anteriores, contribuindo para o “trabalho em equipe” por meio da convivência entre vizinhos, coerente com a proposta definitiva da agrovila.

Para a etapa de desenvolvimento dos projetos das residências da agrovila, foram analisados três estudos com diferentes painéis. A partir desses estudos, algumas características foram encontradas, como: a espessura das placas está diretamente relacionada com ocorrências sísmicas, e tem influência direta na armação; o peso, as dimensões e a forma do painel influenciam no processo de montagem, ocorrendo, em alguns casos, a necessidade de estruturas auxiliares que

possam encarecer a obra; componentes do sistema como pilares e vigas podem exigir bastante trabalho e tempo, o que descaracteriza o conceito dos pré-fabricados; a instalação de portas e janelas necessita de alternativas de placas; as juntas precisam de acabamento; e os componentes estruturais possuem dimensões maiores do que os do sistema convencional.

#### 2.3.4 Pré-fabricados em Argamassa Armada: Material, Técnica e Desenho de Componentes Desenvolvidos por Lelé (TRIGO, 2009)

Neste trabalho foram documentadas e analisadas informações sobre projetos e processos desenvolvidos pelo arquiteto João Filgueiras de Lima (1932-2014), conhecido por Lelé, enfocando o desempenho nas fases de produção, montagem e uso final de elementos pré-moldados em argamassa armada.

Para documentar adequadamente as informações, inicialmente percorreu-se sobre as experiências do arquiteto com o tema, dando destaque aos experimentos em argamassa armada. O primeiro trabalho desenvolvido por Lelé se deu na realização de projetos de urbanização da cidade de Salvador, buscando componentes leves e de fácil manuseio e transporte. Dessa forma, foram fabricadas peças para canais de drenagem, escadas e contenção de encostas, conforme a Figura 3.



**Figura 3 – À esquerda, componentes de escada drenante, e à direita, componente para contenção de encostas**  
Fonte: Trigo (2009, p. 34).

Cerca de dois anos depois, o arquiteto inicia seus estudos para concepção de coberturas em argamassa armada de unidades escolares, seguidas por coberturas de unidades de creches (Figura 4).



**Figura 4 – À esquerda, creche com cobertura em argamassa armada em Bonjóá – Salvador, e à direita, perspectiva da casca da cobertura da creche**

**Fonte: Trigo (2009, p. 91).**

As cascas da cobertura são duplas, tendo apenas a casca inferior função estrutural, e vencem vãos transversais de 1,875 m, 2,5 m, 3,125 m e 3,75 m. Segundo João Filgueiras de Lima, a casca foi a estrutura mais econômica já produzida em argamassa armada, com um grande potencial de evolução.

Posteriormente, fundou e estendeu suas contribuições para o Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS), destinado à produção e manutenção de elementos pré-fabricados em argamassa armada para estruturas mistas de hospitais da Rede Sarah. Nesse Centro, Lelé amadureceu sua ideia quanto à racionalização da construção, buscando o aprimoramento do seu trabalho, avançando, a cada recomeço devido a eventuais dificuldades, no processo de industrialização da construção do país. Para isso, era primordial o controle de qualidade da produção:

“O controle de qualidade se dá em todas as etapas e globalmente, desde o projeto, passando à produção, montagem até seu uso final. O resultado dessa coerência no conjunto é a obtenção de um produto industrializado de qualidade, reconhecido pelos setores envolvidos com a evolução e a inovação da construção civil.”

Quanto aos aspectos técnicos dos componentes em argamassa armada apresentados no trabalho, o autor afirma que um ponto vulnerável da estrutura é quanto à resistência ao fogo dos parafusos de ligação, que, por não possuírem proteção contra essa avaria, podem levar a estrutura ao colapso. Entretanto, todos

os outros materiais dos componentes são incombustíveis, e não liberam gases tóxicos quando decompostos termicamente.

Quanto à estanqueidade, concluiu-se que a baixa permeabilidade da argamassa armada não garantiu a impermeabilidade da estrutura, pois a mesma apresenta pontos frágeis de ligações, por decorrência da aderência entre a argamassa de ligação e as cascas, que poderia ser prejudicada se houvesse variações volumétricas provenientes de grandes gradientes de temperatura.

Finalmente, conclui-se que a argamassa armada é uma tecnologia adequada para a pré-fabricação e construção industrializadas. Sua aplicação depende do contexto social, econômico e tecnológico da construção civil favorável à industrialização. Além disso, as experiências de Lelé com pré-fabricação contribuíram para a "evolução da construção civil não simplesmente pelo uso das tecnologias pré-fabricadas como principalmente pela postura inovadora e experimental sobre elas".

#### 2.3.5 Argamassa Armada: Projeto Estrutural e Dimensionamento com Telas Soldadas (HANAI, 1996)

Os focos deste trabalho foram o projeto estrutural e o dimensionamento das estruturas e componentes de argamassa armada em seu estudo, demonstrando os procedimentos técnicos necessários à produção de elementos em argamassa armada para a Construção Civil.

Um importante fator para a diferenciação da argamassa armada em relação ao concreto armado está na limitação das dimensões dos agregados, na espessura de cobertura da armadura relativamente menor do que a do concreto e a necessidade de armadura de distribuição em todas as partes do componente.

Quanto às dimensões dos elementos e seus materiais constituintes, destacaram-se a pequena espessura de componentes construtivos, na ordem de 20 a 60 mm; em relação aos agregados, entende como diâmetro máximo característico igual a 9,5 mm; para o cobertura, o autor estabelece valores entre 6 e 12 mm.



Quanto às taxas de armadura, o autor enfatiza que, quanto mais se diminui o diâmetro da armadura, maior a aderência. Além disso, quanto maior a taxa de armadura, melhor o controle de fissuração. Como a fratura de qualquer elemento submetido a forças de tração e compressão ocorre pelo processo de microfissuração interna, a presença de elementos de reforço muito próximo aos outros obstaculiza a propagação da fissuração, garantindo um bom desempenho. Assim, o autor constata que “estruturas e componentes estruturais de argamassa armada têm sido executados com consumos de aço da ordem de 100 - 180 kg/m<sup>3</sup>”.

Ainda, são indicados alguns parâmetros para a argamassa, conforme estão expressos abaixo (Tabela 1):

**Tabela 1 – Parâmetros para Argamassa**

Parâmetro	Valor
Relação agregado/cimento	2 - 3,2
Relação água/cimento	0,35 - 0,45
Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )	500 - 680
Diâmetro espalhado de adensamento (mm)	160 - 250
Resistência à compressão simples aos 28 dias (MPa)	30 - 60
Resistência à tração simples (MPa)	03/mai
Módulo de deformação longitudinal (MPa)	30 - 45
Coefficiente de permeabilidade (cm/s)	< 10 <sup>-11</sup>
Absorção	< 8%
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )	2200 - 2400

**Fonte: Hanai (1996)**

Nos itens seguintes de seu trabalho, o autor menciona as características de fixação de dimensões e arranjo de armaduras, no que se refere ao cobrimento, às tolerâncias dimensionais, às limitações geométricas relativas às telas de aço, aos arranjos típicos de armadura, entre outros, conforme a NBR 11173.

Por fim, foi exposta a metodologia de cálculo para o dimensionamento e esforços resistentes e para os estados limites últimos e de utilização.

### 2.3.6 Pequenas Construções em Argamassa Armada (SCHISTEK, 2005)

Além de ser aplicada como sistema construtivo em edificações, a argamassa armada é empregada em obras de pequeno porte como em reservatórios, cisternas, obras de saneamento, coberturas, entre outros. A seguir, sintetiza-se a possibilidade de emprego da argamassa armada.

#### a) Cisternas de Tela Galvanizada de Alambrado

Devido à propriedade de baixa permeabilidade da argamassa armada, é conveniente utilizar desse material para a construção de cisternas. A Figura 5 ilustra a concepção de uma cisterna, com uma tela de alambrado sendo revestida com uma primeira camada de argamassa.



**Figura 5 – Aplicação da primeira camada de argamassa na estrutura de uma cisterna**  
Fonte: Schistek (2005, p. 4).

Para assegurar a aderência e sustentação da argamassa na tela, foi utilizada uma malha fina do tipo sacaria. Após a primeira camada, aplicaram-se mais três camadas com função de vedação.

A tela apresentou dimensões de dois metros de altura, de malha de 15 x 5 cm, de arame galvanizado de 3 mm de diâmetro e uma resistência à ruptura de 65 a 70 kgf/mm<sup>2</sup>.

Para a concepção a parte superior da cisterna, utilizou-se 17 seguimentos de placa, com armação de espessura de 25,4 mm, conforme a Figura 6.



**Figura 6 – Execução das placas para a parte superior**  
**Fonte: Schistek (2005, p. 5).**

A fixação das placas foi realizada através de escoras de madeira, e foram fixadas entre si e rejuntadas para garantir a estanqueidade. A Figura 7 ilustra a concepção da cisterna depois de finalizada.



**Figura 7 – Concepção da cisterna depois de finalizada**  
**Fonte: Schistek (2005, p.6).**

Possuindo uma capacidade de aproximadamente 60 mil litros, através de avaliação de custos, verificou-se que o custo total para a construção da cisterna foi suficientemente baixo, inferior ao das cisternas comumente utilizadas.

## 2.4 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DA ARGAMASSA

### 2.4.1 Agregado

Agregado é um material particulado sem coesão e atividade química, constituído de partículas que cobrem uma extensa gama de tamanhos. Ele é classificado de acordo com a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente (BAUER, 2012, p. 63).

Outra definição para agregados é o que consta na NBR 9935 (ABNT, 2011, p. 2), que define agregado como um material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto, já o agregado natural é um material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem e, por fim, o agregado artificial como sendo um material granular resultante de processo industrial envolvendo alterações mineralógica, química ou físico-química da matéria-prima original, para isso como agregado em concreto ou argamassa.

O controle de qualidade do agregado utilizado é importante, segundo Petrucci (1998, p. 38), por desempenhar um importante papel nas argamassas, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista técnico, exercendo influências benéficas importantes, como o aumento da resistência ao desgaste, entre outros. Além disso, os agregados de boa qualidade possuem resistência mecânica superior à pasta aglomerante.

A caracterização do agregado miúdo engloba a análise da composição granulométrica, a massa específica ou absoluta, a massa específica unitária no estado solto e compactado, a absorção de água, a determinação da umidade, a determinação de material pulverulento entre outras.

#### 2.4.2 Composição Granulométrica

A classificação do agregado de acordo com a sua dimensão é realizada através do ensaio de composição granulométrica. O ensaio tem por finalidade definir qual a porcentagem da massa total que contém o agregado nas suas diferentes faixas de tamanhos.

Essas faixas estão padronizadas na NBR NM 248 (ABNT, 2003, p. 2), através de séries de peneiras (normal e intermediária) com aberturas que variam de maneira crescente geometricamente.

As características importantes a serem analisadas a partir do ensaio de granulometria são a dimensão máxima característica e o módulo de finura.

A dimensão máxima característica pode ser definida como:

“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” (NBR NM 248, ABNT, 2003, p.2).

Já o módulo de finura pode ser definido como sendo “a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100” conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009, p.4).

#### 2.4.3 Determinação do Teor de Material Pulverulento

A determinação da quantidade de material pulverulento em uma amostra é realizada através da quantificação do material mais fino que a abertura de malha da peneira de 75  $\mu\text{m}$ , por meio de lavagem. Essa determinação pode ser realizada por dois procedimentos, um deles utilizando apenas água para a operação de lavagem e, o outro, utilizando um agente umectante que facilite a liberação do material fino aderido ao material mais grosso (NBR NM 46, ABNT, 2003, p.2).

A importância da determinação desse teor é descrita por Petrucci (1998, p. 58):

O material pulverulento (argilas e siltes) tem dois inconvenientes principais: recobrimo aos grãos do agregado, prejudica a aderência; por outro lado, tendo grande superfície específica, exige água em demasia na aplicação, aumentando, assim, a relação água/cimento, acarretando perda de resistência (PETRUCCI, 1998, p. 58)

#### 2.4.4 Massa Específica

A massa específica dos grãos do agregado é a relação entre a massa por unidade de volume, excluindo os vazios permeáveis e impermeáveis. Seu valor é utilizado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas (BASTOS, 2002, p. 11).

Segundo a NBR 9775 (ABNT, 2011, p. 2), sua determinação pode ser feita por meio do ensaio com Frasco de Chapman para agregados miúdo, que é realizado inserindo-se água (200 cm<sup>3</sup>) neste e posteriormente a amostra do agregado. A leitura do nível atingido indica o volume água deslocado pelo agregado fornecendo o dado para o cálculo da massa específica.

#### 2.4.5 Massa Unitária

A massa específica unitária é definida pela relação entre a massa do agregado e o seu volume. Através dessa propriedade, podem-se converter as composições das argamassas e concretos em massa para volume e vice-versa (BASTOS, 2002, p. 11).

Segundo Neville (1997), a massa unitária pode variar de acordo com:

A massa unitária depende da distribuição do tamanho e forma das partículas, isto é, partículas de um mesmo tamanho podem ser adensadas até um determinado limite, mas caso partículas menores sejam incorporadas, preenchendo os vazios existentes entre as partículas maiores, haverá um aumento significativo da massa unitária do material adensado (NEVILLE, 1997).

Para determinar a massa específica unitária, então, dispõe-se de dois procedimentos de ensaio, os quais determinam os índices para o estado solto e para

o estado compactado do agregado. O ensaio no estado solto consiste na medição da massa de um recipiente vazio e após o seu enchimento com agregado e sem compactação. Para o estado compactado, mede-se o volume do recipiente vazio e posteriormente inserem-se camadas pré-definidas e adensadas (compactadas), medindo-se novamente a massa. Desses procedimentos emergem os dados necessários para o cálculo da massa específica unitária. Ambos os procedimentos são realizados conforme as recomendações dadas na NBR NM 45 (ABNT, 2006, p. 4).

#### 2.4.6 Determinação do Inchamento da Areia

Segundo a NBR 6467 (ABNT, 2006, p. 1) o inchamento da areia é um fenômeno de variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre, fator que influencia na massa unitária. Esse fenômeno deve ser previsto, de forma a controlar o material empregado para que ele responda de acordo com o esperado e conjuntamente aos outros componentes da argamassa.

Por isso, é importante determinar o comportamento das amostras de agregado no que diz respeito ao inchamento, e esse comportamento pode ser previsto através de método de ensaio, que objetiva determinar o coeficiente de inchamento.

Bastos (2002, p. 12) salienta que o coeficiente de inchamento é definido pelo quociente entre o volume úmido e o volume seco da mesma massa de agregado. A partir do momento em que o coeficiente de inchamento possa ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio, o teor de umidade acima é considerado como sendo a umidade crítica. Ainda, o coeficiente de inchamento médio é definido como o valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e aquele correspondente à umidade crítica.

#### 2.4.7 Absorção de Água

De acordo com a NBR NM 30 (ABNT, 2001, p. 1), a absorção de água ocorre através da ocupação dos poros permeáveis de um corpo sólido por um líquido. Além disso, pode ser definido também como o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa em estado seco.

#### 2.4.8 Aglomerantes

O Cimento Portland é definido como um produto obtido através da pulverização do Clínquer, constituído de silicatos hidráulicos de cálcio, contendo certa proporção de sulfato de cálcio natural, podendo ainda possuir adições de determinadas substâncias que possam modificar as suas propriedades e facilitar o seu emprego (BAUER, 2012, p. 35).

Conforme a NBR 11578 (ABNT, 1991, p. 2), com a adição dessas substâncias, o Cimento Portland passa a ser composto. A adição é realizada durante a pulverização do Clínquer, e os materiais adicionados podem ser pozolânicos, escórias granulares de alto-forno e/ou materiais carbonáticos, em teores pré-definidos.

Para a produção da argamassa armada deste trabalho, utilizou-se o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial CP V ARI, que apresenta como definição, segundo a NBR 5733 (ABNT, 1991, p. 2):

Aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais carbonáticos (NBR 5733, ABNT, 1991, p. 2).

Dentre as propriedades do aglomerante, podem ser enumeradas a massa específica, a perda ao fogo e a resistência à compressão.



## 2.5 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A matriz básica do material argamassa armada é produzida com a utilização exclusiva do Cimento Portland como aglomerante. Nela não se aplica nenhum outro tipo de aglomerante, como, por exemplo, a cal. Cimento e água formam uma pasta que, através de reações químicas, endurece, aglomerando as partículas do agregado miúdo e constituindo a argamassa (FREIRE e BERALDO, 2003, p. 155).

A argamassa é um dos elementos mais importantes no desempenho da argamassa armada. Além de moldar-se nas fôrmas aos elementos estruturais, contribui para a resistência do conjunto e atua na proteção dos elementos internos (armadura) contra a ação de intempéries, que podem provocar corrosão.

Entretanto, só se pode garantir o bom desempenho da argamassa se sua composição for rigorosamente controlada, garantindo a qualidade dos materiais constituintes. Além disso, devem-se considerar as características do comportamento físico, químico e mecânico no estado fresco e endurecido, pois elas influenciam significativamente na qualidade final do produto.

Algumas das propriedades da argamassa no estado fresco são a massa específica e a trabalhabilidade.

### 2.5.1 Massa Específica

Define-se como massa específica real ou absoluta a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, sem considerar os vazios. Quando considerado o volume de vazios existentes na amostra, caracteriza-se como massa específica unitária ou aparente.

De acordo com Hanai (1996, p. 20), os valores de massa específica empregados comumente no Brasil estão no intervalo entre 2200 e 2400 kg/m<sup>3</sup>.

### 2.5.2 Trabalhabilidade e Índice de Consistência

A trabalhabilidade é uma propriedade da argamassa de avaliação qualitativa, não havendo ainda ensaios específicos que a meçam diretamente. Entretanto, foram realizadas numerosas tentativas a fim de relaciona-la com alguma grandeza física facilmente mensurável, de forma a oferecer informações úteis para sua caracterização e padronização (NEVILLE, 1982, p. 196).

Qualitativamente, o comportamento mais importante da trabalhabilidade é a consistência, que traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes, tendo em vista a uniformidade e compacidade da argamassa e o bom rendimento da execução (BAUER, 2012, p. 271).

O ensaio de consistência, descrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005, p.3), é uma das tentativas de associar a trabalhabilidade a uma grandeza física. O ensaio consiste na moldagem da argamassa em um tronco de cone e na submissão a uma série de golpes em uma mesa de consistência, sendo que o espalhamento ótimo da argamassa ao final da série de golpes deve apresentar diâmetro de  $225 \pm 5$  mm.

## 2.6 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Algumas das propriedades da argamassa no estado endurecido são a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e ao desgaste, a permeabilidade e a durabilidade.

### 2.6.1 Capacidade de Absorver Deformações

A capacidade de absorver deformações é caracterizada pelo comportamento do material quando solicitado, no que se refere à capacidade de suportar as solicitações sem haver a ruptura, através de deformações e pequenas fissurações que não prejudiquem o desempenho estrutural da peça.

Hanai (1996, p. 21), afirma que pelo fato de as argamassas possuírem normalmente mais cimento do que os concretos de mesma resistência, espera-se que o módulo de deformação longitudinal das argamassas seja inferior ao do concreto. Dessa forma, a NBR 11173 (ABNT, 1990, p. 8) estima que o módulo de deformação das argamassas seja igual a 80% do valor calculado para o concreto.

Quanto melhor a capacidade de absorver deformações da argamassa, menor a possibilidade de haver fissuras que comprometam a permeabilidade da estrutura.

### 2.6.2 Absorção de Água

Existem dois principais métodos para a determinação de absorção de água na argamassa, sendo eles: absorção através de imersão, pela NBR 9778 (ABNT, 2009, p. 4), e absorção por capilaridade, com a NBR 9779 (ABNT, 2012, p. 2).

Milani e Nakamura (2009, p. 37), utilizando um traço de 1:2,57:0,50, (cimento:areia:agua/cimento) realizaram ensaios de absorção de água por imersão e capilaridade, obtendo os valores contidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Argamassa – determinação da absorção de água por capilaridade

Amostra	Massa Saturada Superfície Seca (g)	Massa Seca em Estufa (g)	Massa imerso (t = 10 min) (g)	Massa imerso (t = 90 min) (g)	Absorção por Imersão	Absorção por capilaridade (10 min)	Absorção por capilaridade (90 min)
CP 01	537,45	478,56	482,23	488,48	12,3%	0,8%	2,1%
CP 02	538,72	478,24	483,02	491,92	12,6%	1,0%	2,9%
CP 03	533,21	476,27	481,54	487,31	12,0%	1,1%	2,3%
Valor Médio	536,46	477,69	482,26	489,24	12,3%	1,0%	2,4%

Fonte: Adaptado de Milani e Nakamura (2009, p. 37).

## 2.7 TELAS DE SUSTENTAÇÃO

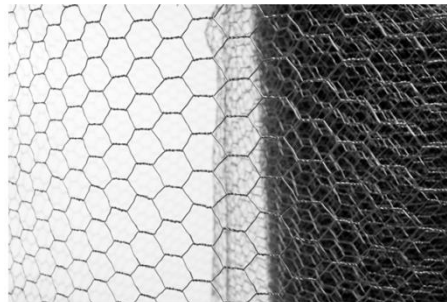
Existem dois tipos de armaduras, normalmente, utilizadas em argamassa armada. A primeira delas é armadura difusa, que é constituída por fios de pequeno diâmetro ou lâminas de pequena espessura, com espaçamentos pequenos e distribuídos uniformemente na argamassa. O segundo tipo de armadura é a discreta, possuindo função de esqueleto (arcabouço metálico rígido formado por tubos e barras de aço que servem de suporte à armadura difusa), e/ou de armadura complementar, com a função de acrescentar a armadura difusa para resistir aos esforços solicitantes (CHAMELETE, 1999, p. 10).

Segundo Campos (1994, p. 16), a armadura difusa é a armadura característica e principal da argamassa armada. Além disso, Hanai (1987) *apud* Campos (1994, p. 6) afirma que se pode atribuir à armadura difusa as funções principais de resistência aos esforços de tração, e a limitação na abertura de fissuras ou de microfissuras (para o caso da utilização de telas com espaçamentos pequenos).

Os tipos mais usuais de telas metálicas que constituem a armadura difusa são as telas de aço de malha hexagonal, as telas de aço de malha quadrada entrelaçada, as telas de aço soldadas, telas de aço expandidas e outros tipos especiais de telas.

### 2.7.1 Telas de Aço de Malha Hexagonal

A tela de aço hexagonal (Figura 8) é produzida através do entrelaçamento de arames galvanizados formando malhas hexagonais. É utilizada normalmente na construção de viveiros para animais e aves, e sua disponibilidade no mercado é abundante.

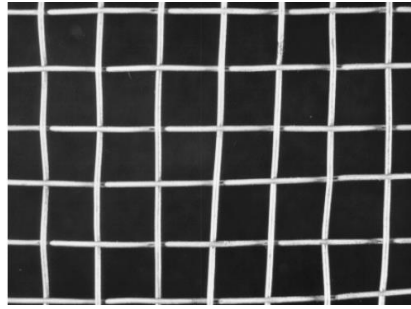


**Figura 8 – Tela de malha hexagonal**  
**Fonte: Avitol (2014).**

A geometria desse tipo de tela em conjunto com o processo de entrelaçamento dos fios provoca um módulo de deformação aparente mais baixo, diminuindo o controle quanto à fissuração. Além disso, deve-se levar em consideração na disposição construtiva que a rigidez e a resistência da malha são menores em sua direção transversal do que em sua direção longitudinal (CHAMELETE, 1999, p. 12).

### 2.7.2 Telas de Aço de Malha Quadrada Entrelaçada

A tela de aço de malha quadrada é composta de arames entrelaçados entre si, formando malhas quadradas, conforme a Figura 9.



**Figura 9 – Tela de malha quadrada entrelaçada**  
**Fonte: Chamelete (1991, p. 13).**

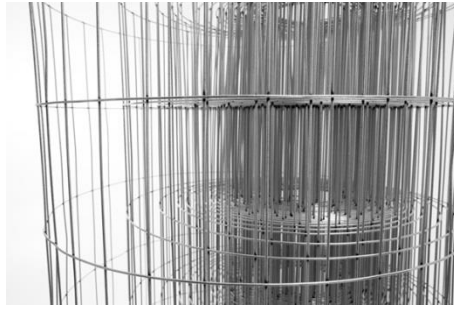
Uma particularidade desse tipo de tela é a ondulação dos fios longitudinais, que, quando sujeitos a esforços de tração, tendem à retificação, provocando pontos localizados de acréscimo de tensão, o que pode contribuir na diminuição da eficiência quanto à fissuração (CHAMELETE, 1991, p. 13).

### 2.7.3 Telas de Aço Soldadas

As telas soldadas são constituídas de fios retilíneos dispostos perpendicularmente entre si, que são eletrosoldados em seus pontos de contato, formando malhas quadradas ou retangulares, conforme as Figuras 10 e 11.



**Figura 10 – Tela soldada de malha quadrada**  
**Fonte: Avitol (2014).**



**Figura 11 – Tela soldada de malha retangular**  
**Fonte: Avitol (2014).**

De acordo com Chamelete (1991, p. 16), As telas soldadas possuem módulo de deformação maior, igual ao dos fios, conferindo ação mais efetiva no controle das fissurações do que outras telas mais flexíveis. Além disso, a orientação dos fios em direções perpendiculares, permite que a disposição construtiva seja realizada nos eixos principais dos esforços, melhorando o comportamento da estrutura.

#### 2.7.4 Telas de Aço Expandidas

As telas de aço expandidas são produzidas a partir de chapas finas de aço que são perfuradas e expandidas perpendicularmente. Possuem formatos hexagonais ou losangulares, conforme a Figura 12.



**Figura 12 – Tela losangular de aço expandido**  
**Fonte: Telmetal (2014).**

A tela de metal expandido orientada em direção perpendicular à expansão da chapa possui características de resistência equivalentes às da tela soldada.

Entretanto, na direção na qual ocorre a expansão da chapa, a resistência é inferior. Mesmo assim, esse tipo de tela apresenta eficiência adequada no controle de fissuração, além de apresentar alta resistência ao impacto (CHAMELETE, 1991, p. 17).

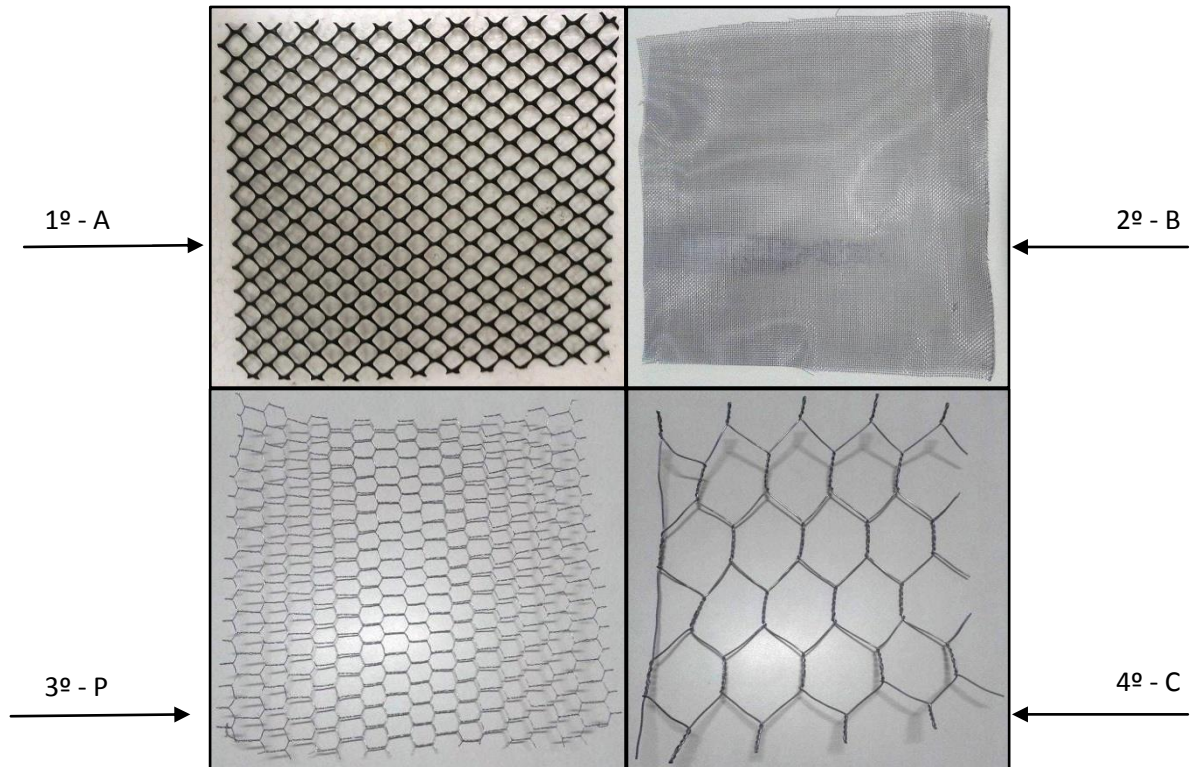


### 3 METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos propostos, verificaram-se as tipologias de telas de sustentação disponíveis na região. Posteriormente, realizou-se a caracterização dos materiais constituintes da argamassa armada, ou seja, do agregado e do aglomerante. Após a caracterização, executaram-se corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) em argamassa com traço de 1:3:0,6, avaliando-se as suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Por último, realizou-se a verificação do desempenho mecânico de placas de argamassa armada (25x25cm) utilizando os diferentes tipos de telas de sustentação. Os ensaios em placas de argamassas foram realizados sem e com telas, tendo 4 diferentes espessuras para as placas sem telas (2cm, 3cm, 6cm e 9cm) e, para as placas (25x25x2cm) com argamassa armada utilizou-se apenas a espessura de 2cm, variando 4 tipos de telas. A seguir, serão descritos sucintamente os procedimentos da realização dos ensaios feitos no decurso deste.

#### 3.1 TIPOLOGIAS DE TELAS DE SUSTENTAÇÃO

Para a determinação das tipologias de telas a serem utilizadas para a execução da argamassa armada, verificou-se a disponibilidade na região. Constatou-se a abundância em tipologias de telas, apresentando alta gama de variação de aberturas de malha, geometria e bitolas. Sendo assim, optou-se por avaliar o desempenho da argamassa armada utilizando as tipologias de telas apresentadas na Figura 13.



**Figura 13 – Telas utilizadas nas placas: 1º tela plástica (A); 2º tela com pequena abertura de malha (B); 3º tela com média abertura de malha (Padrão); 4º tela com grande abertura de malha (C)**

Para comparação nos diversos ensaios entre as telas, decidiu-se que a tela com configuração, conforme Figura 13 (3ª – P), será utilizada como padrão, ou de referência, pois esta tipologia de tela é a mais comum, chamada popularmente de tela de “galinheiro”.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO E DO AGLOMERANTE

O agregado miúdo utilizado na composição da argamassa foi obtido conforme disponibilidade na região. As caracterizações realizadas foram a composição granulométrica, a determinação do teor de material pulverulento, a massa específica, a massa específica unitária, a determinação do inchamento e a absorção de água que serão sucintamente discriminadas a seguir.

### 3.2.1 NBR NM 248/2003 Agregados: Determinação da Composição Granulométrica

Para a determinação da granulometria do agregado, utilizou-se como aparelhagem a balança, a estufa, a série normal de peneiras, bandejas, escovas ou pincéis, entre outros, conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003, p. 2).

Como a dimensão máxima nominal do agregado não ultrapassou 9,5 mm, a massa mínima da amostra do ensaio foi de 1,0 kg. Após a determinação da massa individual dos grãos, conforme os procedimentos de ensaio descritos na NBR NM 248 (ABNT, 2003, p. 3) foram determinadas a porcentagem média retida em cada peneira e a porcentagem média retida acumulada. Com isso, determinou-se a dimensão máxima característica (DMC) do agregado e o módulo de finura (MF). A Figura 14 ilustra os grãos dos agregados retidos em cada peneira.



**Figura 14 – Amostras dos grãos de agregados retidos em cada peneira de serie normal**

### 3.2.2 NBR NM 46/2003 Agregados – Determinação do Material Fino que Passa Através da Peneira 75 $\mu\text{m}$ , por Lavagem

A NBR NM 46 (ABNT, 2003, p. 4) determina o teor de material pulverulento do agregado, e a massa mínima necessária para a realização do ensaio foi definida de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3 – Massa mínima por amostra de ensaio**

Dimensão máxima nominal (mm)	Massa mínima (g)
2,4	100,0
4,8	500,0
9,5	1000,0
19,0	2500,0
37,5 ou superior	5000,0

Fonte: NBR NM 46 (ABNT, 2003, p. 3).

Como a dimensão máxima nominal do agregado não ultrapassou 9,5 mm, a massa utilizada no ensaio foi de 1000,0 gramas. Após os procedimentos de ensaio por lavagem (apenas utilizando-se água), os resultados do ensaio contemplaram a porcentagem de material mais fino que ficou retida pela peneira de 75  $\mu\text{m}$ . A Figura 15 ilustra a areia após o processo de lavagem.



**Figura 15 – Agregado contendo água após o processo de lavagem**

Observa-se na Figura 15 que a água sobre a areia apresenta coloração clara, indicando o fim do processo de lavagem. Em seguida, o material foi levado para secagem em estufa ( $T=105^{\circ}\text{C}$ ) ficando por 24 horas, para então, verificar o peso seco da areia que ficou retido pela peneira 75  $\mu\text{m}$ .

### 3.2.3 NBR 9776/1987 Agregados - Determinação da Massa Específica de Agregados Miúdos por meio do Frasco Chapman

Para determinar a massa específica por meio do Frasco de Chapman, coletou-se 500 g de material úmido.

O método de ensaio consistiu na colocação de água no frasco de Chapman até a divisão de 200 cm<sup>3</sup>, conforme indica a NBR 9776 (ABNT, 1987, p.2) deixando-o em repouso para que a água das paredes do frasco escorra. Em seguida, introduziu-se no frasco a amostra de agregado miúdo, efetuando-se a leitura, após a estabilização do conjunto, do nível de água deslocado atingido no frasco, conforme a Figura 16.



**Figura 16 – Frasco de Chapman contendo o agregado miúdo**

Assim, com os valores iniciais e finais do volume deslocado de água devido à introdução da massa de agregado foi possível calcular a massa específica, utilizando-se a equação (1) (NBR 9776, ABNT, 1987):

$$\gamma = M/V = 500/(L - 200) \quad (1)$$

Onde:

$\gamma$ : massa específica do agregado miúdo, em g/cm<sup>3</sup>;

$L$ : leitura do frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

### 3.2.4 NBR NM 45/2006 Agregados - Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios

A quantidade de amostra utilizada neste ensaio foi definida de acordo com a capacidade do recipiente utilizado, de 6,41 dm<sup>3</sup>. Obteve-se 150% do total de amostra requerida para encher o recipiente, sendo a amostra manipulada sem que houvesse segregação (NBR NM 45, ABNT, 2003, p. 3).

A determinação da massa unitária foi realizada através de dois procedimentos: para o estado solto e para o estado compactado. A formulação utilizada para os cálculos, tanto para o estado solto quanto para o compactado, é expressa a seguir (2) (NBR NM 45, ABNT, 2003):

$$\gamma = m/V = ((m_1 + m_2 + m_3)/3)/V \quad (2)$$

Onde:

$\gamma$ : massa unitária do agregado miúdo, em g/cm<sup>3</sup>;

$m$ : massa do agregado miúdo, em g;

$V$ : volume do recipiente, em cm<sup>3</sup>.

No estado solto, a amostra foi despejada homoganeamente até o limite do recipiente, a partir de uma altura padrão. Após isso, o recipiente foi rasado e então a massa do conjunto pesada (Figura 17).



**Figura 17 – Recipiente contendo o agregado no estado solto**

No estado compactado, a amostra foi despejada em três camadas iguais no recipiente. Cada camada recebeu 25 golpes com a haste metálica padrão, com o objetivo de compactar a amostra (Figura 18). Ao final, o conjunto foi rasado e pesado.



**Figura 18 – Recipiente contendo o agregado compactado**

Por último, com os valores do volume do recipiente e das massas (solta e compactada) realizaram-se os cálculos para determinar as massas unitárias soltas e compactadas.

### 3.2.5 NBR 6467/2006 Agregados - Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo - Método de Ensaio

A quantidade de amostra requerida para a realização deste ensaio foi igual ao dobro do volume do recipiente.

O método de ensaio consistiu na secagem da amostra e posterior inserção de quantidades controladas de água, para obter os valores de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12% de umidade. Após cada adição de água, a amostra era despejada no frasco a partir de uma altura definida (15 cm), até a sua borda, e o conjunto inteiro era pesado (Figura 19).



**Figura 19 – Recipiente contendo o agregado miúdo após adição das quantidades pré-estabelecidas de água**

Após a pesagem de cada amostra para todas as porcentagens de umidade, calcularam-se os parâmetros necessários (equação 3) para a elaboração do gráfico da curva de inchamento, que fornecem os valores de coeficiente de umidade e inchamento crítico (NBR 6467, ABNT, 2006).

$$V_h/V_s = \gamma_s/\gamma_h \cdot ((100 + h)/100) \quad (3)$$

Onde:



$V_h$ : volume do agregado com um determinado teor de umidade (h), em  $\text{cm}^3$ ;

$V_s$ : volume do agregado seco em estufa, em  $\text{cm}^3$ ;

$\frac{V_h}{V_s}$ : coeficiente de inchamento do agregado;

$\gamma_s$ : massa unitária do agregado seco em estufa, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$\gamma_h$ : massa unitária do agregado com um determinado teor de umidade (h), em  $\text{g/cm}^3$ ;

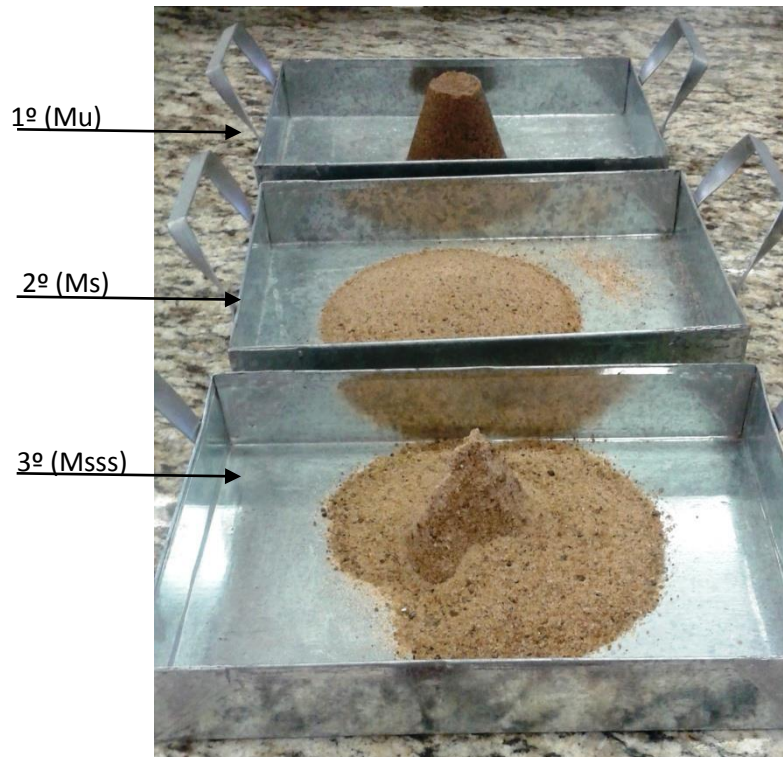
$h$ : teor de umidade.

### 3.2.6 NBR NM 30/2001 Agregado miúdo - Determinação da Absorção de Água

A absorção de água foi obtida através de ensaio que possui como aparelhagem principal um molde tronco-cônico metálico e uma haste de compactação. Em relação às amostras, a NBR NM 30 (ABNT, 2001, p. 1), utilizou-se a quantidade de aproximadamente 1,0 kg.

Inicialmente, preparou-se a amostra, imergindo o material com água por 24 horas. Depois, estenderam-se os grãos em uma superfície plana, submetendo-os a ação de uma suave corrente de ar quente, para assegurar uma secagem uniforme. Posteriormente, colocou-se metodicamente o agregado no mini molde tronco cônico, sem comprimi-lo, aplicando-se 25 golpes no final. Após, retirou-se o molde e assim fez-se a observação da amostra sem o cone. Quando a amostra desmoronou parcialmente, o agregado foi caracterizado como saturado superfície seca (NBR NM 30, ABNT, 2001, p. 2).

A Figura 20 apresenta as três condições de umidades possíveis de se obter no ensaio. Na primeira a massa esta em uma condição úmida ( $M_u$ ), na segunda numa condição seca ( $M_s$ ) e na terceira numa condição saturada superfície seca ( $M_{ss}$ ), respectivamente.



**Figura 20 – Absorção de água. (1º) agregado úmido; (2º) agregado seco; (3º) agregado saturado superfície seca.**

Quando atingida a condição de saturada superfície seca, a amostra foi pesada. Depois, a amostra foi seca em estufa a 105 °C/24h e pesada novamente. Os valores das massas (saturada superfície seca e seca após ensaio) foram utilizados para o cálculo da absorção de água do agregado miúdo, conforme a equação (4) (NBR NM 30, ABNT, 2001, p. 2).

$$A = (m_s - m)/m * 100 \quad (4)$$

Onde:

$A$ : absorção de água, em porcentagem;

$m_s$ : massa ao ar da amostra na condição saturada e de superfície seca, em g;

$m$ : massa da amostra seca em estufa, em g.

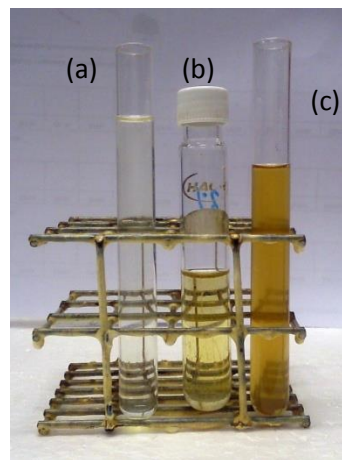
Realizaram-se duas repetições, e os resultados não diferiram em mais do que 0,05% entre si (NBR NM 30, ABNT, 2001, p. 3).

### 3.2.7 NBR NM 49/2001 Agregado Fino - Determinação de Impurezas Orgânicas

Para a determinação das impurezas orgânicas encontradas no agregado miúdo, foram preparadas soluções padrão contendo ácido tânico e hidróxido de sódio, a fim de determinar diferentes colorações a partir de diferentes teores de ácido orgânico. Essa solução foi deixada em repouso por 24 horas em um ambiente escuro, sem contato com o agregado miúdo.

Simultaneamente, outra solução foi preparada contendo apenas hidróxido de sódio (3%), agora em contato com o agregado miúdo, também deixada em repouso por 24 horas em ambiente escuro. Findo o repouso, a solução foi filtrada e introduzida em um tubo de ensaio para análise visual.

A Figura 21 ilustra a diferença de coloração entre a solução padrão e a solução filtrada após o contato com o agregado miúdo.



**Figura 21 – Tubos de ensaio contendo as soluções preparadas**

O tubo de ensaio da Figura 21 (a) contém uma quantidade mínima de ácido tânico. O tubo de ensaio da Figura 21 (b) contém a quantidade de ácido tânico limitada a 300 ppm. Já o tubo de ensaio da Figura 21 (c) contém a solução filtrada em contato com o agregado miúdo.

### 3.2.8 NBR NM 23/2001: Cimento Portland e outros Materiais em Pó - Determinação da Massa Específica

A massa específica do Cimento Portland foi determinada com o auxílio do frasco volumétrico de Le Chatelier. O procedimento de ensaio consistiu em encher o frasco com quantidade pré-definida (na escala entre 0 a 1,0 cm<sup>3</sup>) de líquido não reagente (gasolina) e deixá-lo em banho de água para adequação de temperaturas.

Depois, inseriu-se uma quantidade de cimento (60 g), termorregulando a temperatura novamente. Intercalado aos procedimentos, mediram-se os volumes de líquido deslocado atingido no frasco, obtendo informações para o cálculo da massa específica (NBR NM 23, ABNT, 2001, p. 2). A Figura 22 apresenta o frasco volumétrico com a amostra.



**Figura 22 – Frascos de Le Chatelier contendo a amostra de aglomerante**

Com os resultados das leituras, utilizou-se a equação (5) para calcular o valor da massa específica (NBR NM 23, ABNT, 2001).

$$\rho = m/V = 60/(L_f - L_i) \quad (5)$$

$\rho$ : massa específica do cimento, em g/cm<sup>3</sup>;

$m$ : massa do cimento, em g;

$V$ : volume do recipiente, em  $\text{cm}^3$ .

O aglomerante, antes da realização do ensaio foi peneirado em peneira de abertura de malha de 297  $\mu\text{m}$ . Repetiu-se o ensaio duas vezes, e, entre os dois resultados individuais, a diferença não ultrapassou  $0,02 \text{ g/cm}^3$  (NBR NM 23, ABNT, 2001, p. 4).

### 3.2.9 Massa Específica do Aglomerante no Estado Solto

A determinação da massa específica do aglomerante no estado solto foi realizada seguindo-se os mesmos procedimentos para o agregado miúdo. Desta forma, em um recipiente com dimensões conhecidas, despejou-se o aglomerante de forma homogênea a partir de uma altura pré-estabelecida (aproximadamente 15  $\text{cm}$ ) e constante. Depois de cheio, o recipiente foi rasado e, então pesado (Figura 23).



**Figura 23 – Recipiente contendo o aglomerante após realização do ensaio de massa específica para o estado solto**

Os resultados obtidos permitiram determinar a massa específica do aglomerante no estado solto.

### 3.2.10 NBR NM 43/2003 – Cimento Portland – Determinação da Pasta de Consistência Normal

A pasta de consistência normal é determinada quando a sonda de Tetmajer do aparelho de Vicat penetra pelo interior da pasta de cimento e, fica distante do fundo  $6 \pm 1$  mm. A massa de cimento que compôs a pasta foi de 500 g, e a quantidade de água foi determinada através de tentativas, aproximando-se de uma relação água/cimento de 0,3.

Depois de misturada a pasta para determinada quantidade de água, inseriu-se a mesma no molde tronco cônico do aparelho, posicionando sua base maior sobre a placa da base.

Após a preparação do molde sobre a base, soltou-se a sonda de Tetmajer, cuidando para que o aparelho não estivesse submetido a nenhuma vibração. Passados 30 segundos da sonda solta sobre a pasta de cimento, travou-se o aparelho e, então, se efetuou a leitura na escala graduada. Várias repetições da mistura da pasta de cimento foram efetuadas, até que a sonda de Tetmajer atingiu a pasta e ficou distante do fundo  $6 \pm 1$  mm. Atingida esta leitura no aparelho de Vicat de  $6 \pm 1$  mm, a pasta de cimento é dita pasta com consistência normal. A Figura 24 apresenta o conjunto do ensaio.



**Figura 24 – Aparelho de Vicat após moldagem da pasta**

### 3.2.11 NBR NM 65/2003 – Cimento Portland – Determinação do Tempo de Pega

O ensaio de tempo de pega permite medir qual o tempo necessário para o início da pega e para o fim da pega. A pasta utilizada no ensaio é composta por 500 gramas de cimento Portland (CPV ARI) e a mesma quantidade de água obtida no ensaio para determinação da pasta de consistência normal, anteriormente determinada pelo ensaio da NBR NM 43/2003 – Cimento Portland – Determinação da Pasta de Consistência Normal.

O procedimento de moldagem para a determinação do início da pega é semelhante ao procedimento para a determinação da pasta de consistência normal, posicionando a base maior do molde tronco cônico na placa base. O tempo de início de pega é determinado no momento em que a agulha de Vicat penetra pelo interior da pasta e fica a uma distância de  $4 \pm 1$  mm da placa base, conforme a Figura 25.



**Figura 25 – Aparelho de Vicat -  
Início da pega**

Para o ensaio para o fim da pega, a moldagem é realizada da mesma maneira do que para o início da pega, entretanto o molde tronco cônico é posicionado agora com a sua base menor na placa base do aparelho de Vicat, conforme a Figura 26.



**Figura 26 – Aparelho de Vicat –  
Fim da pega**

O tempo de fim de pega é determinado até o momento em que a agulha de Vicat com ponteira anular penetra 0,5 mm na pasta de cimento.

### 3.3 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Os procedimentos de ensaio brevemente descritos a seguir indicam as propriedades da argamassa no estado fresco.

#### 3.3.1 NBR 13276/2005 Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência

A argamassa de cimento (1:3:0,6) foi preparada de acordo com a caracterização dos materiais, apresentando 300 g de cimento, 900 gramas de areia e 180 ml de água. Após misturas dos insumos, a argamassa foi inserida dentro de um molde tronco-cônico apoiado sobre a mesa de consistência (*flow-table*), com as paredes do molde e a superfície da mesa previamente úmidas. O enchimento do



molde foi realizado em três camadas sucessivas, distribuindo-a uniformemente com golpes de soquete (NBR 13276, ABNT, 2005, p. 3). Depois de completado o volume do molde e rasado, o mesmo foi retirado (Figura 27), e em seguida, realizou-se 30 quedas padrão com a mesa em 30 segundos, para então obter-se o espalhamento da argamassa.



**Figura 27 – Argamassa após a retirada do molde**

O índice de consistência é obtido pela média de duas medições do diâmetro espalhado da argamassa sobre a mesa.

### 3.3.2 NBR 9833/2008 Concreto fresco - Determinação da Massa Específica, do Rendimento e do Teor de Ar pelo Método Gravimétrico

Para a determinação da massa específica da argamassa no estado fresco e, encheu-se um recipiente de volume conhecido com argamassa, traço 1:3:0,6 e adensou-o através de uma sequência pré-estabelecida de golpes de soquete (3 camadas com 25 golpes cada e 5 golpes na lateral externa quando totalmente preenchido). Em seguida, pesou-se o conjunto (Figura 28).



**Figura 28 – Argamassa compactada no estado fresco**

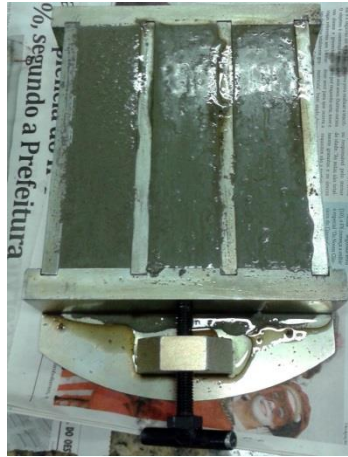
Os dados coletados para o cálculo da massa específica corresponderam à massa do recipiente com a argamassa, à massa do recipiente vazio e o volume do recipiente, conforme a NBR 9833 (ABNT, 2008, p. 4).

### 3.4 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

#### 3.4.1 Moldagem de Corpos de Prova Prismáticos de Argamassa

Os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) da argamassa foram moldados com quantidades determinadas a partir dos ensaios de caracterização. Respeitando-se o traço de 1:3, utilizou-se a quantidade de água determinada no ensaio de índice de consistência padrão, conforme a NBR 13276/2005 Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos - Preparo da Mistura e Determinação do Índice de Consistência.

A moldagem dos corpos de prova prismáticos (4x4x16cm) foi realizada inserindo-se três camadas por vez no molde (Figura 29). A cada camada inserida, 30 golpes eram dados utilizando-se a mesa de adensamento (*flow-table*), para a eliminação do ar incorporado.



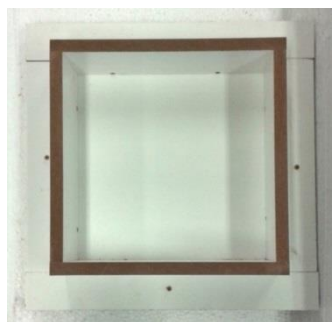
**Figura 29 – Corpos de prova de argamassa após moldagem**

Após a moldagem dos corpos de prova prismáticos, aguardou-se 24 horas para a desmoldagem. Depois, os corpos-de-prova foram inseridos em um tanque com água, onde permaneceram até as datas de realização dos ensaios de ruptura à flexão e compressão (7 e 28 dias), e para os ensaios de absorção (por imersão e capilaridade).

#### 3.4.2 Moldagem das Placas de Argamassa Armada

Para a moldagem dos corpos de prova (placas prismáticas) de argamassa (sem e com telas), utilizou-se o traço 1:3:0,6.

As formas desmontáveis utilizadas foram construídas em madeira, com área de base de 25x25 cm e altura máxima de 10 cm, conforme ilustrada na Figura 30.

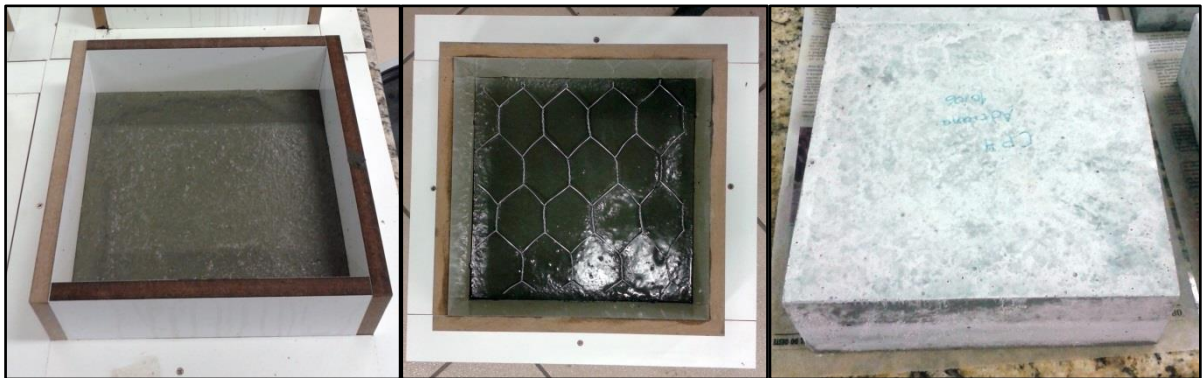


**Figura 30 – Forma de madeira**

Foram moldadas sete placas de argamassas sem tela para cada espessura. As espessuras utilizadas sem a tela foram de 2 cm, 3 cm, 6 cm e 9 cm (Figura 31). Para as placas de argamassas com as diferentes telas, foram moldadas também sete placas, no entanto, apenas a espessura menor foi utilizada, ou seja, somente a espessura de 2 cm (Figura 31). Ao final, totalizaram-se 56 placas de argamassas e os ensaios no estado endurecidos foram realizados após 28 dias de idade.

Para melhor entendimento e/ou nomenclatura das placas de argamassas, estas serão denominadas de placas com telas (25,0 x 25,0 x 2,0 cm), uma vez que essas placas de argamassa tiveram uma única dimensão, diferenciando apenas pelas tipologias de 4 telas inseridas na massa da argamassa. Já o corpo de prova de argamassa sem as telas, serão denominadas placas sem telas (25,0 x 25,0 x espessuras cm) uma vez que estas tiveram 4 variações nas espessuras de 2, 3, 6 e 9 cm, mantendo-se as mesmas dimensões de base (25,0 x 25,0 cm).

O preenchimento das formas de cada placa de argamassa (com ou sem telas) foi realizado em três camadas, e cada camada foi adensada com 25 golpes, utilizando-se a mesa de consistência (*flow-table*). Depois de moldadas, as placas permaneceram por 24 horas nas próprias formas até a secagem para as desformas.



**Figura 31 – À esquerda, placa moldada para espessura de 2 cm sem a adição de tela, no estado fresco; ao centro, placa de argamassa armada parcialmente moldada no estado fresco; à direita, placa em argamassa de 6 cm de altura após cura**

Assim, passadas as 24 horas a partir da moldagem de argamassas nas formas de madeira, as placas foram desmoldadas e colocadas em um tanque com água. Foram retiradas somente aos 28 dias para a realização dos ensaios de ruptura

à flexão, de absorções (imersão e capilaridade) e de ruptura por impacto de corpo duro.

### 3.4.3 Determinação da Absorção de Água, Porosidade, Massa específica Seca e Massa Específica Saturada

Após 28 dias, os corpos-de-prova, sendo as placas com 25,0 x 25,0 x espessura e os prismáticos de 4,0 x 4,0 x 16,0 cm, foram retirados do tanque de água, e alguns procedimentos foram então realizados para determinar o índice de absorção de água, a porosidade, a massa específica seca e a massa específica saturada.

O primeiro procedimento consistia em enxugar o corpo-de-prova (tanto para as placas quanto para os prismas de argamassa) para remover o excesso de umidade. Depois, o corpo-de-prova era pesado, determinando-se assim a massa saturada superfície seca.

O segundo procedimento consistia em determinar o volume do corpo-de-prova. Com o auxílio de um paquímetro, mediam-se as três dimensões do corpo-de-prova em três localizações diferentes.

O terceiro procedimento era a determinação da massa imersa dos corpos-de-prova (placas e prismas). Através de uma balança hidrostática, inseria-se individualmente o corpo-de-prova dentro de um recipiente cheio de água, conforme a Figura 32, de forma que ficasse completamente suspenso em água sem encostar ao fundo ou nas bordas do recipiente.



**Figura 32 – Pesagem da placa e do corpo-de-prova na balança hidrostática**

Por último, secavam-se os corpos-de-prova na estufa por 24 horas a temperatura de 105° C, até a constância da massa. Depois de retirados da estufa, esperava-se os corpos-de-prova esfriar, e o peso era medido novamente, caracterizando o peso seco do corpo-de-prova.

Esses dados foram compilados para posterior análise e determinação dos índices e parâmetros necessários. Abaixo se apresentam as equações para o cálculo desses parâmetros.

- Absorção

$$Abs = 100 * (m - m_s) / m_s \quad (6)$$

Onde:

*Abs*: absorção de água por imersão, em porcentagem;

*m*: massa imersa, em g;

*m<sub>s</sub>*: massa seca em estufa, em g.

- Porosidade ou Índice de Vazios

$$P = 100 * (m_{sat} - m_s) / (m_{sat} - m_i) \quad (7)$$

Onde:

*P*: porosidade ou índice de vazios, em porcentagem;

*m<sub>sat</sub>*: massa saturada, em g;

$m_i$ : massa imersa, pesada na balança hidrostática, em g.

- Massa Específica Seca

$$\gamma_s = m_s / (m_{sat} - m_i) \quad (8)$$

Onde:

$\gamma_s$ : massa específica seca, em g/cm<sup>3</sup>.

- Massa Específica Saturada

$$\gamma_{sat} = m_{sat} / (m_{sat} - m_i) \quad (9)$$

Onde:

$\gamma_{sat}$ : massa específica saturada, em g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.4.4 NBR 9778/2005 Argamassa e Concreto Endurecidos - Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica

A absorção de água por imersão foi medida através da inserção de corpos-de-prova em água. Após 28 dias da data de moldagem dos corpos-de-prova das argamassas, as amostras foram colocadas em estufa para secagem (T=105°C/24horas) e, depois, pesadas. O ensaio então se iniciou com a introdução de água que cobriu 1/3 do seu volume imerso, nas primeiras 4 horas, dois terços por mais quatro horas, e finalmente, a imersão total durante 64 horas, totalizando 72 horas (Figura 33).

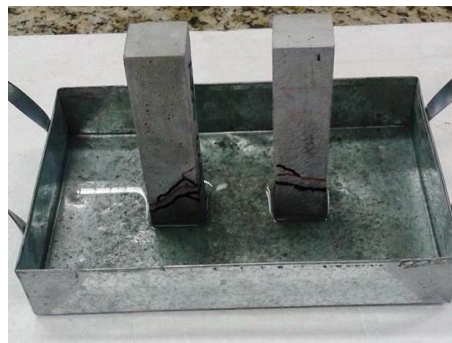


**Figura 33 – Corpos-de-prova totalmente imersos em água**

As medições das massas úmidas foram realizadas nos períodos de 24 horas, 48 horas e 72 horas após imersão em água. O ensaio foi realizado para cada espessura de placa de argamassa sem tela (placas com espessura de 2 cm, 3 cm, 6 cm e 9 cm) e para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) de argamassa.

#### 3.4.5 NBR 9779/2012 Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade consistiu em posicionar os corpos-de-prova sobre suportes, preenchendo-os com uma lâmina de água de 5 mm, que deve permanecer constante durante todo o ensaio, conforme recomendação da NBR 9779. A Figura 34 ilustra a etapa deste ensaio.

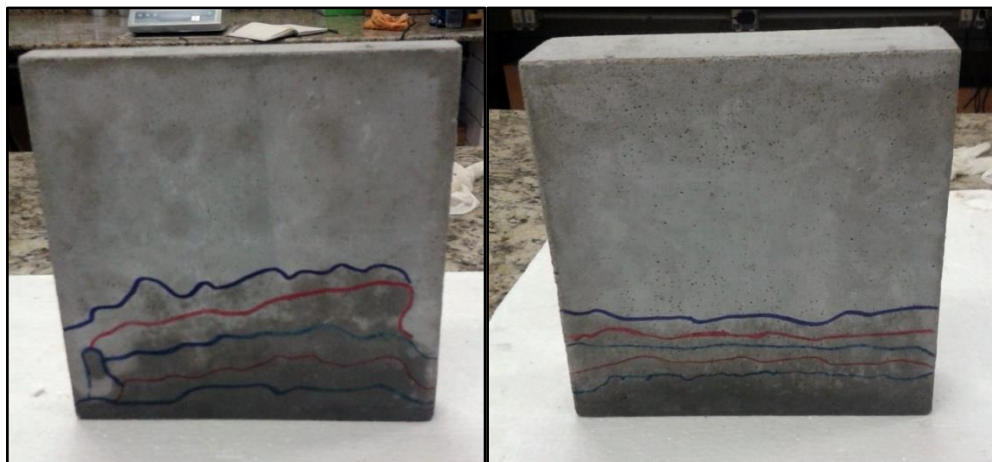


**Figura 34 – Ensaio de absorção por capilaridade**



Dessa configuração mediu-se a massa do corpo-de-prova em 3, 6, 24, 48 e 72 horas, a fim de determinar a absorção de água, dividindo-se o aumento da massa do corpo-de-prova pela sua área de seção transversal em contato com a lamina de água.

A absorção de água por capilaridade foi realizada para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) de argamassa, para as placas (25x25xespessuras cm) de argamassas de diferentes espessuras sem tela e para as placas de argamassa armada (25x25x2cm), conforme ilustração na Figura 35.



**Figura 35 – Ensaio de Absorção por capilaridade: à esquerda, placa de argamassa de 2 cm de espessura com tela; à esquerda placa de argamassa de 6 cm de espessura sem tela**

A formulação utilizada para o cálculo da absorção está apresentada abaixo (equação 10) (NBR 9779, ABNT, 2012):

$$C = (A - B)/S \quad (10)$$

Onde:

C: absorção de água por capilaridade, em g/cm<sup>2</sup>;

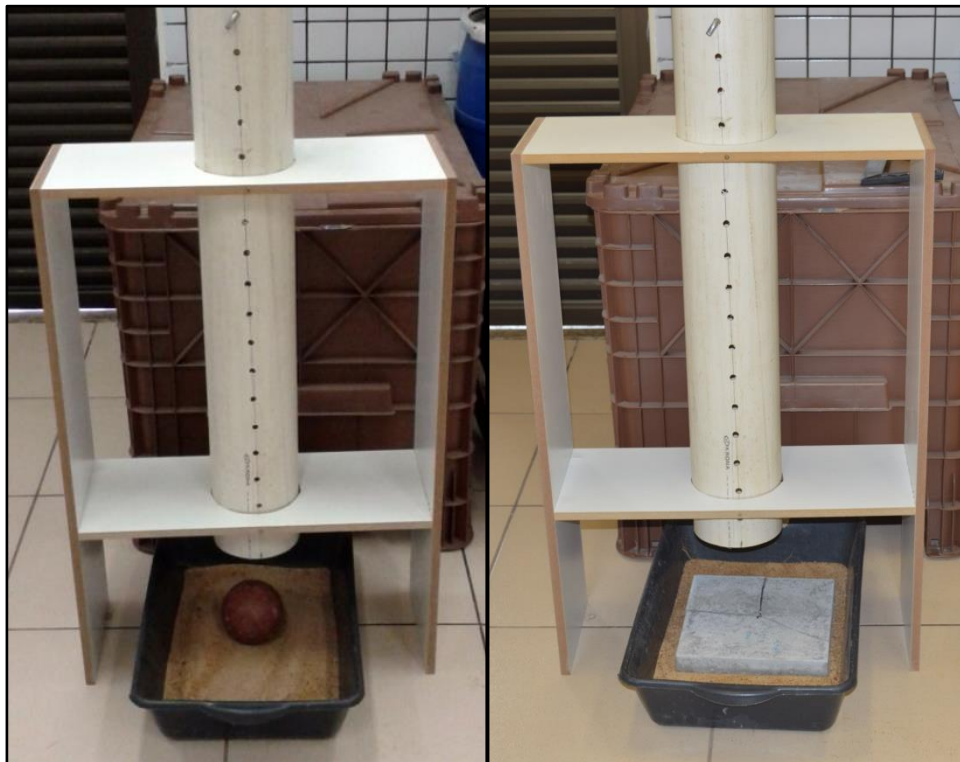
A: massa do corpo-de-prova que permanece com uma das faces em contato com a água durante um período de tempo especificado, em g;

B: massa do corpo-de-prova seco, em g;

S: área da seção transversal, em cm<sup>2</sup>.

### 3.4.6 NBR 15845/2010 - Rochas para Revestimento: Determinação da Resistência ao Impacto de Corpo Duro

Este ensaio objetivou determinar a capacidade do material de suportar ações mecânicas instantâneas (impacto). Sendo assim, o ensaio consistiu basicamente em simular a queda de um objeto sobre o material, sendo necessário medir apenas sua altura de queda para a obtenção da resistência do material (SOSSAI, 2006, p. 29). Para isso, utilizou-se o equipamento ilustrado na Figura 36.



**Figura 36 – Equipamento de ensaio de impacto de corpo duro**

O objeto de impacto utilizado na queda é uma esfera de massa igual 1,0 kg. As placas foram assentadas sob um colchão de areia. A altura inicial de queda foi de 20 cm, sendo acrescida em 5 cm até haver ruptura, fissuração ou lascamento (SOSSAI, 2006, p. 29).

Com os dados da altura de queda e do potencial gravitacional, determina-se qual a energia necessária para danificar a placa. Foram ensaiadas as placas com telas (25x25x2 cm) e as placas sem as telas (25x25xespessuras cm). A energia

potencial é calculada através da expressão a seguir (equação 11) (NBR 15845, ABNT, 2010):

$$E = (n^{\circ} \text{ de golpes} \cdot h \cdot m \cdot g) \quad (11)$$

Onde:

E = Energia Potencial (Joules);

h = altura de queda da esfera de aço (m);

m = massa da esfera de aço (kg);

g = aceleração gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

### 3.4.7 NBR 13279/2005 – Argamassa – Tração na Flexão e Compressão

Os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) de argamassa, foram rompidos aos 7 dias e aos 28 dias. Os ensaios de ruptura foram realizados para a determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão axial.

Para a resistência à tração na flexão, os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) foram posicionados nos dispositivos Rielen (marca Solotest) de apoio da prensa universal (marca Emic) para a realização de ensaios, conforme a Figura 37a. Depois da ruptura por tração na flexão, utilizaram-se as metades dos corpos-de-prova para realizar o ensaio de compressão axial, conforme ilustra a Figura 37b.



a) Ruptura à tração

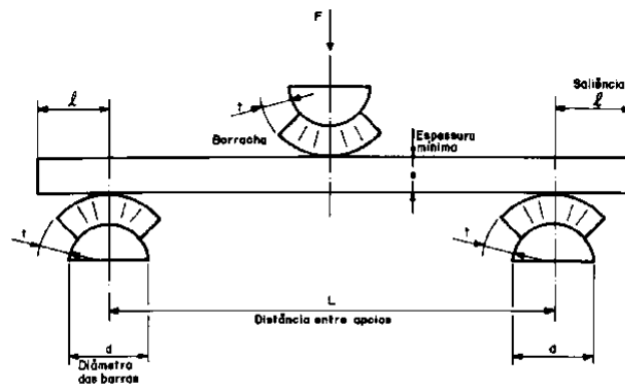
b) Ruptura à compressão

Figura 37 – Ruptura de tração e compressão

### 3.4.8 Ensaio de Ruptura à Flexão das Placas de Argamassa com e sem Telas

O ensaio de flexão para placas (25x25xespessuras cm) de argamassa não é normatizado pela ABNT. Assim, o ensaio foi adaptado semelhantemente aos ensaios de flexão em placas cerâmicas e rochas para revestimento, conforme as NBR 13818/1997 e NBR 12763/1992, respectivamente.

O ensaio consiste em aplicar uma carga central através de uma barra cilíndrica à placa que, por sua vez, está bi apoiada em apoios cilíndricos, conforme a Figura 38.



**Figura 38 – Equipamento de ensaio de flexão das placas**  
**Fonte: NBR 13818/1997 – Placas cerâmicas para revestimento: Especificações e Métodos de Ensaio**

A ruptura por flexão foi realizada para as placas de diferentes espessuras sem tela (25x25xespessuras cm) e para as placas contendo as diferentes tipologias de telas (25x25x2 cm). A Figura 39 ilustra uma placa de argamassa com tela sendo ensaiada.



**Figura 39 – Ensaio de flexão nas placas de argamassa**

Para calcular a carga de ruptura das placas, utilizou-se da formulação disponibilizada na NBR 13818/1997 – Placas cerâmicas para revestimento: Especificações e Métodos de Ensaio, dada pela equação (12):

$$CR = (F \cdot L)/b \quad (12)$$

Onde:

CR: carga de ruptura (N);

F: força de ruptura (N);

L: distância entre as barras de apoio (mm);

b: largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura (mm).

## 4 RESULTADOS

Após explanação sucinta da metodologia (vide capítulo 3) utilizada em cada ensaio, abaixo são apresentados os resultados obtidos, iniciando-se pelos resultados das caracterizações do agregado e do aglomerante, das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO E DO AGLOMERANTE

#### 4.1.1. Agregado miúdo: composição granulométrica

O ensaio de granulometria para areia natural foi realizado duas vezes (amostra 1 e amostra 2). Assim, as Tabelas 4 e 5 apresentam as aberturas de peneira e as porcentagens retidas para a primeira amostra e para a segunda amostra, respectivamente. Nessas, encontram-se também os valores determinados do módulo de finura (MF) e do diâmetro máximo característico (DMC).

**Tabela 4 – Granulometria da areia ( amostra 1)**

# Peneira (mm)	Massa (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)	% que passa
4,76	8,70	0,58%	0,58%	99,42%
2,38	41,60	2,77%	3,35%	96,65%
1,19	124,60	8,29%	11,64%	88,36%
0,59	264,00	17,57%	29,21%	70,79%
0,297	810,30	53,93%	83,14%	16,86%
0,149	241,50	16,07%	99,21%	0,79%
0,074	9,90	0,66%	99,87%	0,13%
Fundo	2,00	0,13%	100,00%	0,00%
<b>Total</b>	1502,60			
		<b>MF</b>	2,27	
		<b>DMC (mm)</b>	2,38	

Tabela 5 – Granulometria da areia (amostra 2)

# Peneira (mm)	Massa (g)	Massa retida (%)	Massa retida acumulada (%)	% que passa
4,76	0,76	0,05%	0,05%	99,95%
2,38	8,90	0,59%	0,65%	99,35%
1,19	92,21	6,16%	6,80%	93,20%
0,59	225,23	15,04%	21,85%	78,15%
0,297	863,81	57,70%	79,55%	20,45%
0,149	290,55	19,41%	98,95%	1,05%
0,074	13,53	0,90%	99,86%	0,14%
Fundo	2,16	0,14%	100,00%	0,00%
<b>Total</b>	1497,15			
		<b>MF</b>	2,08	
		<b>DMC (mm)</b>	2,38	

A partir das Tabelas 4 e 5 anteriores, pode-se determinar a distribuição granulométrica graficamente, conforme ilustrado na Figura 40. As linhas tracejadas indicadas nesta, representam os limites das 4 zonas recomendadas pela NBR 7211/2005.

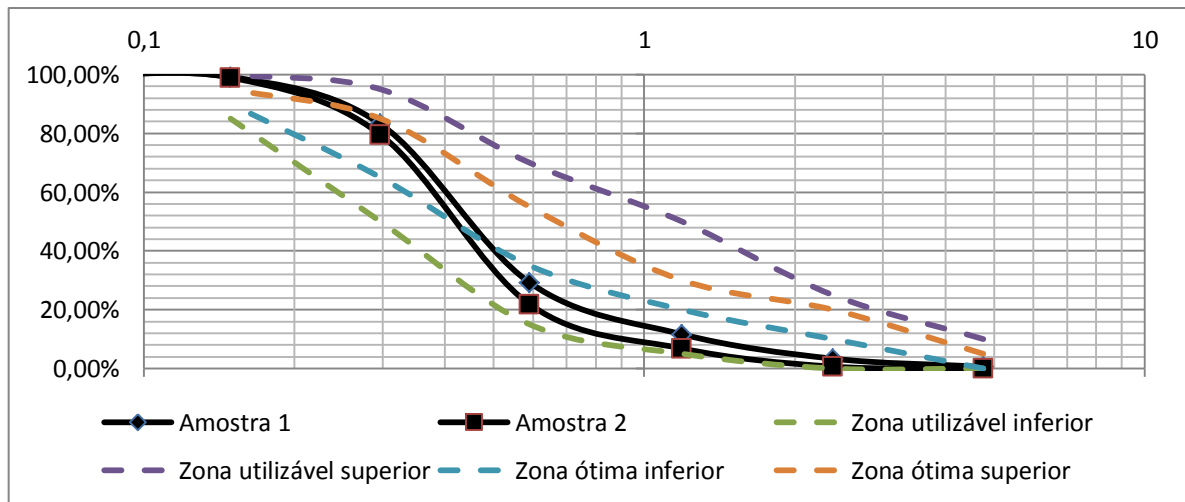


Figura 40 – Distribuição granulométrica da areia natural (amostra 1 e 2)

Para as duas areias a dimensão máxima característica (DMC) coincidiram, conforme procedimento determinado na NBR NM 248:2003 Agregados – Determinação da composição granulométrica. O valor encontrado para o DMC foi de 2,38 mm nas duas amostras. Além disso, o módulo de finura (MF) médio do agregado miúdo foi de 2,17, estando dentro dos limites da zona utilizável inferior e bastante próximo da zona ótima.

Observa-se na Figura 40, que nas duas areias ensaiadas, as distribuições dos grãos encontram-se dentro dos limites das zonas utilizáveis, dada pela NBR 7211/2005. Essa característica comprova a aplicabilidade direta do agregado miúdo, sem a necessidade de corrigir a distribuição dos grãos da areia utilizada, adquirida no comércio local.

No entanto, ao observar às formas das dimensões dos grãos desse agregado, a distribuição granulométrica pode ser caracterizada como sendo uniforme, ou seja, há grande quantidade de grãos com a mesma dimensão, fazendo com que o índice de vazios seja grande.

Nakamura e Yurk (2010) caracterizaram o agregado miúdo, obtendo módulo de finura de 2,74 e dimensão máxima característica de 4,75 mm. Alberti e Wagner (2010), em sua caracterização de agregado miúdo, obtiveram módulo de finura igual a 2,06 e dimensão máxima característica de 2,38 mm. Já para Milani e Nakamura (2009), os quais trataram de argamassa armada em seu trabalho, obtiveram para a caracterização do agregado miúdo módulo de finura igual a 0,51 e dimensão máxima característica igual a 0,3 mm. O agregado miúdo caracterizado por Alberti e Wagner (2010) apresenta semelhança com o caracterizado no presente trabalho, diferenciando-se apenas pelo módulo de finura, que no trabalho dos autores está dentro da zona ótima utilizável, enquanto no presente trabalho o módulo de finura está apenas próximo da zona ótima utilizável.

Em todos os trabalhos supracitados, os autores utilizaram as areias naturais sem a realização da correção granulométrica desses, pois o objetivo deles, assim como neste, é na utilização do material disponível na localidade, sem corrigi-los, aproximando-se dos concretos e/ou argamassas confeccionados nas obras locais de cada região estudada pelos referidos autores.



#### 4.1.2. Agregado miúdo: finos por lavagem

Após a realização do ensaio de finos por lavagem com água, sendo 2 vezes para a obtenção dos resultados da massa seca após a lavagem, os resultados estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Determinação de finos por lavagem**

<b>Amostra</b>	<b>Massa seca Inicial (g)</b>	<b>Massa seca após lavagem (g)</b>	<b>Finos (g)</b>	<b>Finos (%)</b>
Amostra 1	1000,00	996,74	3,26	0,33%
Amostra 2	1000,00	994,22	5,78	0,58%
			Média	0,46%

Dessa forma, o resultado do ensaio é dado pela média aritmética de duas determinações, ou seja, a quantidade de finos que passa através da peneira 75  $\mu\text{m}$  é igual a 0,46% (vide Tabela 6).

Nakamura e Yurk (2010), em seu trabalho, obtiveram 3,62% de material pulverulento do agregado miúdo. Para Alberti e Wagner (2010), o material pulverulento resultou em 0,60%. Milani e Nakamura (2009), na caracterização do agregado miúdo, constataram 3,10% de finos. Dessa forma, a quantidade de finos determinada para o agregado do presente trabalho é baixa, o que implica a não influência significativa na relação água/cimento nas confecções das argamassas, não havendo, portanto, grandes prejuízos nas suas propriedades, pois maiores quantidades de finos demandam maiores quantidades de água, acarretando a diminuição da resistência mecânica.

#### 4.1.3. Agregado miúdo: massa específica (Frasco de Chapman)

A determinação da massa específica ( $\delta$ ) utilizando o Frasco de Chapman inicia-se introduzindo neste 200 cm<sup>3</sup> de água, e depois, 500 g de areia. Após as leituras dos volumes deslocados da água, obtidas na escala graduada no frasco, obtém-se a massa específica, conforme prescrito na NBR 9776/1987. Os resultados do ensaio de duas areias estão na Tabela 7.

**Tabela 7 – Determinação da massa específica da areia**

<b>Amostra</b>	<b>Água (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Agregado (g)</b>	<b>Leitura Final (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica <math>\delta</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Areia 1	200,00	500,00	389,00	2,65
Areia 2	200,00	500,00	388,00	2,66
			Média	2,66

O resultado da massa específica ( $\delta$ ), conforme Tabela 7, a partir de duas determinações, é igual à média aritmética das mesmas, valendo, portanto, 2,66 g/cm<sup>3</sup>.

Alberti e Wagner (2010) obtiveram um valor de 2,65 g/cm<sup>3</sup> de massa específica para o agregado miúdo. Para Milani e Nakamura (2009), a massa específica do agregado miúdo resultou 2,61 g/cm<sup>3</sup>. Dessa forma, o valor obtido para a massa específica absoluta do agregado miúdo estudado no presente trabalho apresenta um valor semelhante aos utilizados nos trabalhos dos referidos autores, pois em todos os trabalhos desenvolvidos utilizou-se areia natural.

#### 4.1.4. Agregado miúdo: massa unitária nos estados solto e compactado

Para a determinação da massa específica nos estados solto e compactado, realizaram-se três vezes o procedimento para cada amostra ensaiada. Com os

dados obtidos de massa, obtém-se o valor da massa unitária para o estado solto e compactado.

A Tabela 8 apresenta os valores de massa unitária para o estado solto e compactado.

**Tabela 8 – Massa específica unitária no estado solto e compactado para duas amostras**

Estado	Amostra	Massa 1 (g)	Massa 2 (g)	Massa 3 (g)	Volume do recipiente (cm <sup>3</sup> )	Massa unitária média (g/cm <sup>3</sup> )
Solto	Areia 1	4985,40	4962,40	4951,40	2950,30	1,69
	Areia 2	4962,00	5014,50	4969,40	2953,10	
Compactado	Areia 1	5154,90	5166,90	5177,80	2953,10	1,75
	Areia 2	5137,90	5148,50	5131,40	2950,30	

Observa-se que as massas unitárias no estado solto e compactado são próximas. Esse fato ocorre pois o agregado possui distribuição granulométrica uniforme, ou seja, o agregado possui grande quantidade de partículas da mesma dimensão, o que dificulta o preenchimento de todos os vazios por partículas de dimensões menores, provocando pouca alteração de massa unitária quando compactado.

#### 4.1.5. Agregado miúdo: inchamento

O ensaio é normalizado (NBR 6467/1987), e consiste em determinar o quanto a amostra de agregado miúdo “incha” com a adição de água, ou seja, a água adere aos grãos da areia provocando o afastamento entre eles, alterando o volume aparente. O método do ensaio consistiu em adicionar porcentagens de água a um determinado volume de areia seca e cada vez que fosse adicionado um tanto de água a amostra de agregado foi pesada.

O inchamento é classificado por dois índices, sendo a Umidade crítica (teor de umidade acima do qual o inchamento permanece praticamente constante) e do

coeficiente médio do inchamento (é a média dos coeficientes de inchamento nos pontos de umidade crítica e máxima observada). Após, os valores encontrados foram plotados em um gráfico (Figura 41 e 42) para a determinação do Coeficiente médio de inchamento e a Umidade crítica. Este ensaio foi realizado duas vezes para a areia natural e os valores determinados encontram-se nas Figuras 42 e 43.

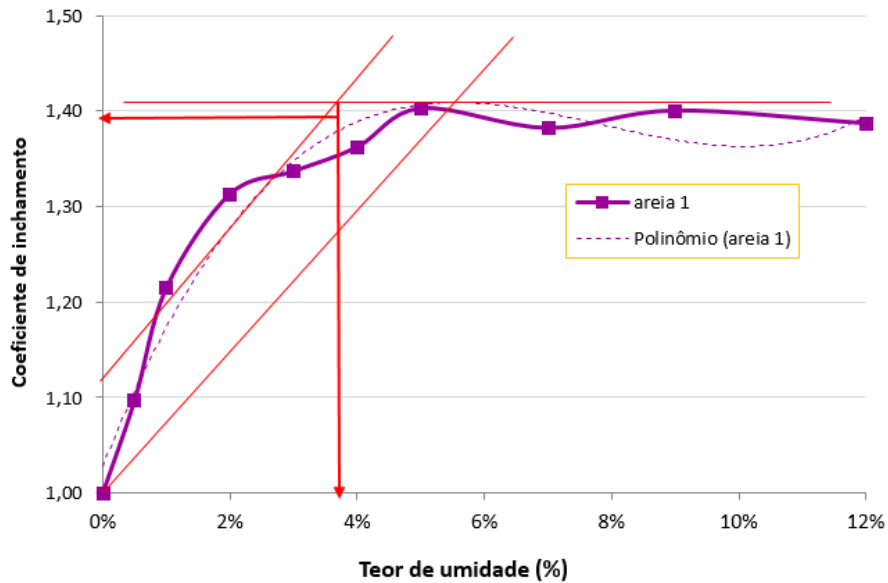


Figura 41 - Curva de inchamento da areia 1

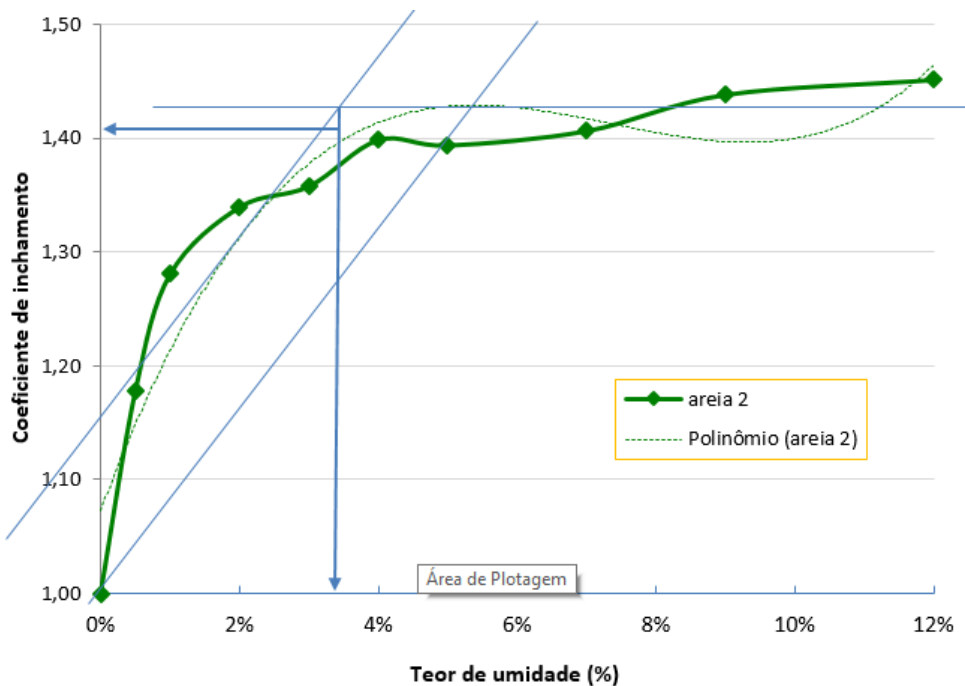


Figura 42 - Curva de inchamento da areia 2

Analisando as Figuras 41 e 42, encontra-se os valores do coeficiente de inchamento de 1,39 e 1,41 para a areia 1 e areia 2, respectivamente. O teor de umidade crítico é 3,7 e 3,5 para a areia 1 e areia 2, respectivamente. Fazendo-se a média dos valores entre a areia 1 e 2, tem-se que o coeficiente de inchamento médio é de 1,40 e a umidade crítica é de 3,6.

Tal valor significa que para a areia estudada ao atingir uma porcentagem de 3,6% de umidade a areia terá um volume aumentado em 40%. Assim sendo, é de fundamental análise deste parâmetro na dosagem de argamassas ou concretos quando se faz os cálculos das quantidades em volumes.

#### 4.1.6. Agregado miúdo: absorção de água

Os resultados para a absorção de água estão dados na Tabela 9.

**Tabela 9 – Determinação da absorção de água da areia**

<b>Amostra</b>	<b>Massa seca (g)</b>	<b>Massa saturada superfície seca (g)</b>	<b>Absorção (%)</b>
Areia 1	421,61	423,12	0,36%
Areia 2	426,04	427,80	0,41%
		Média	0,39%

O resultado da absorção de água pela areia natural, portanto, é igual à média aritmética dos dois valores calculados, valendo 0,39%.

Milani e Nakamura (2009) obtiveram para o agregado miúdo uma absorção de 0,7%. Já para Nakamura e Yurk (2010) a absorção calculada foi de 0,43%. Observa-se que os valores de absorção de água são bastante próximos, o que confirma a baixa absorvidade da umidade pelas areias ensaiadas.

#### 4.1.7. Agregado miúdo: impurezas orgânicas

Este ensaio tem análise visual, assim, após o repouso da solução ensaiada e da solução padrão por 24 horas em ambiente escuro, a cor obtida da solução com o agregado (areia) apresentou-se mais escura do que a cor da amostra padrão, vide Figura 21 (capítulo 3).

Desta forma, pode-se concluir que a quantidade de impurezas orgânicas presente no agregado miúdo é superior ao indicado pela NBR NM 49 – Agregado Fino – Determinação de Impurezas Orgânicas, ou seja, as amostras das areias indicam visualmente que existe uma porcentagem de matéria orgânica diluída na areia maior que 0,3 g/L (limite máximo recomendado pela NBR NM49). Então, para utilizar esta areia é necessário lavá-la, para retirar a quantidade de matéria orgânica impregnada nesta. No entanto, como em obras corriqueiras na região, utiliza-se a mesma areia sem lavagem, optou-se por não lavar a areia nos ensaios subsequentes.

#### 4.1.8. Aglomerante: massa específica

Após a introdução de 60 g de Cimento Portland (CPV ARI) no Frasco de Le Chatelier, que já continha o líquido não reativo no interior, efetuou-se a medida do deslocamento deste líquido.

Os resultados para dois ensaios consecutivos estão na Tabela 10.

**Tabela 10 – Massa específica do Cimento Portland CPV ARI**

<b>Amostra</b>	<b>Cimento (g)</b>	<b>Li (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Lf (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa específica <math>\delta</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Areia 1	60	0,85	20,9	2,99
Areia 2	60	0,5	20,6	2,99

O valor da massa específica é obtido pela média aritmética de duas determinações consecutivas. Como as duas determinações realizadas apresentaram o mesmo valor, a massa específica do cimento é, portanto, 2,99 g/cm<sup>3</sup>. Esta densidade está dentro da faixa de valores para a maioria dos cimentos Portland comprados no mercado, variando entre 2,8 a 3,15 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.9. Aglomerante: massa unitária no estado solto

A determinação da massa unitária no estado solto do cimento Portland (CPV ARI) utilizado neste trabalho respeita os mesmos procedimentos para a determinação da massa unitária do agregado miúdo. Portanto, os resultados estão apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11 – Massa específica unitária do Cimento Portland (CPV ARI) no estado solto**

<b>Amostra</b>	<b>Massa 1 (g)</b>	<b>Massa 2 (g)</b>	<b>Massa 3 (g)</b>	<b>Volume do recipiente (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
CP V(1)	790,10	776,41	773,74	985,44	0,79
CP V (2)	764,00	760,70	752,59	985,44	0,77
				Média	0,78

Sendo a média aritmética de duas determinações consecutivas, a massa específica unitária do cimento no estado solto vale, portanto, 0,78 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.10. Aglomerante: pasta de consistência normal

Os resultados dos ensaios para a determinação do índice de consistência normal da pasta de cimento, que determina a quantidade exata de água necessária

para que a sonda de Tetmajer penetre na pasta e fique a uma distância de  $(6 \pm 1)$  mm da placa base, estão na Tabela 12.

**Tabela 12 – Índice de Consistência Normal**

<b>Cimento (g)</b>	<b>Água (ml)</b>	<b>Penetração (mm)</b>
500,00	180,00	15,00
500,00	185,00	0,00
500,00	184,00	3,00
500,00	182,00	6,00

A Figura 43 ilustra o momento em que a sonda Tetmajer atinge os 6mm.



**Figura 43 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 6 mm**

A quantidade de água necessária para que a pasta atinja a característica de consistência normal foi de 182 ml. Sendo assim, para obter-se uma argamassa trabalhável, é necessário 36,40% de água em relação a quantidade de cimento.



#### 4.1.11. Aglomerante: tempo de pega

O ensaio de tempo de pega é dividido em duas partes: o de início da pega, quando a agulha de Vicat penetra até uma distância de  $(4 \pm 1)$  mm da placa base; e o de fim de pega, quando a agulha de Vicat penetra apenas 0,5 mm na pasta de cimento.

A quantidade de cimento utilizada no ensaio é de 500 g, e a quantidade de água para formar a pasta é a mesma definida no ensaio para a determinação da pasta de consistência normal, ou seja, de 182 ml de água.

A Figura 44 apresenta o conjunto do aparelho de Vicat no início da pega.



**Figura 44 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 4 mm**

Para que os 4 mm de distância à placa base fossem atingidos, foram necessárias 2 horas e 46 minutos (início da pega). Dessa forma, o tempo demandado para realizar todas as atividades que requerem a argamassa em um estado maleável não deve ser superior ao tempo medido neste ensaio.

A Figura 45 apresenta conjunto do aparelho Vicat no final da pega.



**Figura 45 – Aparelho de Vicat depois de atingidos os 0,5 mm**

Observa-se na Figura 45 que a penetração da agulha de Vicat na pasta é muito pequena. Esse estado caracteriza-se como o fim da pega. Para que a agulha penetrasse somente 0,5 mm na pasta, foram necessárias 3 horas e 57 minutos (fim da pega).

Segundo a NBR 5733/1991, o tempo de pega inicial deve ser superior a 1 hora, e o tempo de pega final deve ser inferior a 10 horas. Portanto, os valores encontrados no ensaio estão dentro dos limites estabelecidos nesta Norma.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

### 4.2.1. Índice de consistência

O índice de consistência teve como objetivo determinar a quantidade de materiais necessários para que o espalhamento da argamassa estivesse dentro do recomendado pela Norma. Em relação à areia e ao cimento, foi respeitado o traço de 1:3. Sendo assim, os resultados das quantidades de materiais estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Índice de consistência

Água (ml)	Areia (g)	Cimento (g)	Diâmetro espalhado1 (mm)	Diâmetro espalhado2 (mm)
185,00	900,00	300,00	228,00	220,00

As medidas dos diâmetros (1 e 2) espalhados obtidas na mesa de consistência referem-se às medidas do espalhamento da argamassa para duas determinações consecutivas, sendo cada uma delas a média de três medidas ao longo do perímetro da argamassa abatida no ensaio. Dessa forma, o índice de consistência para a argamassa foi de 224 mm.

Hanai (1996) recomenda que a relação agregado/cimento para argamassa armada esteja entre 2 e 3,2, além da relação de água/cimento entre 0,35 e 0,45 e de um índice de consistência entre os valores de 160 e 250 mm. Para o presente trabalho, a relação agregado/cimento está dentro do recomendado, ou seja, a relação é de 3. Entretanto, o valor da relação água/cimento está acima do recomendado ( $a/c = 0,61$ ). Optou-se por utilizar essa relação devido à trabalhabilidade da argamassa, ou seja, para atingir-se o diâmetro de espalhamento do índice de consistência de  $225 \pm 5$  mm, limites recomendados pela NBR 7211.

Verificou-se durante o preparo e o manuseio dessa argamassa preparada com as quantidades desses materiais que há uma boa mobilidade e coesão da argamassa, proporcionando um bom rendimento na execução das placas de argamassa com e sem telas.

#### 4.2.2. Massa Específica

A massa específica da argamassa no estado fresco foi calculada para duas amostras. A Tabela 14 apresenta os resultados de massa da amostra, volume do recipiente e massa específica.

Tabela 14 – Massa específica da argamassa

Amostra	Massa (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )
Argamassa 1	946,78	394,00	2,40
Argamassa 2	955,14	394,00	2,42

Sendo assim, a massa específica da argamassa no estado fresco é a média de duas determinações, valendo 2,41 g/cm<sup>3</sup>.

Hanai (1996) recomenda que a massa específica da argamassa no estado fresco esteja entre 2,20 e 2,40 g/cm<sup>3</sup>. Como o valor encontrado no presente trabalho é bastante próximo ao valor recomendado, conclui-se que a dosagem está adequada.

#### 4.3 CARACTERÍSTICAS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

##### 4.3.1. Absorção de Água, Porosidade, Massa específica Seca e Massa Específica Saturada

Para cada corpo-de-prova o qual fossem realizados ensaios de absorção, os índices de absorção de água, porosidade, massa específica seca e massa específica saturada foram determinados. Sendo assim, os ensaios foram realizados para 4 corpos-de-prova de argamassa (4x4x16 cm), 4 CPs para as placas de argamassa sem tela (25x25xespessura cm) e 4 CPs para as placas de argamassa com tela (25x25x2cm).

Nas Tabelas 15, 16 e 17 estão apresentados os valores de massa específica seca e saturada das diversas argamassas obtidas nos corpos de prova prismáticos (4x4x16cm), placas sem telas (25x25xesp cm) e as placas com telas (25x25x2cm), respectivamente.

Tabela 15 – Propriedades dos corpos-de-prova (4x4x16cm) de argamassa

Propriedades	CP 9	CP 10	CP 11	CP 12	Média
$\gamma_s$	2,02	2,00	2,00	2,00	2,01
$\gamma_{sat}$	2,21	2,19	2,20	2,19	2,20

Tabela 16 – Propriedades dos corpos-de-prova (25x25x espessura) de placas sem tela

Propriedades	CP 16 (esp. 2 cm)	CP 7 (esp. 3 cm)	CP 13 (esp. 6 cm)	CP 21 (esp.9 cm)
$\gamma_s$	2,16	2,11	2,27	2,05
$\gamma_{sat}$	2,40	2,26	2,37	2,16

Tabela 17 – Propriedades dos corpos-de-prova (25x25x2cm) de placas com tela

Propriedades	TP4	TA4	TB4	TC4
$\gamma_s$	2,28	2,18	2,02	2,27
$\gamma_{sat}$	2,53	2,43	2,25	2,48

Obs.: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC

As Figuras 46 e 47 apresentam graficamente os resultados de absorção (%) e índice de vazios (%), respectivamente, para todos os CPs ensaiados.

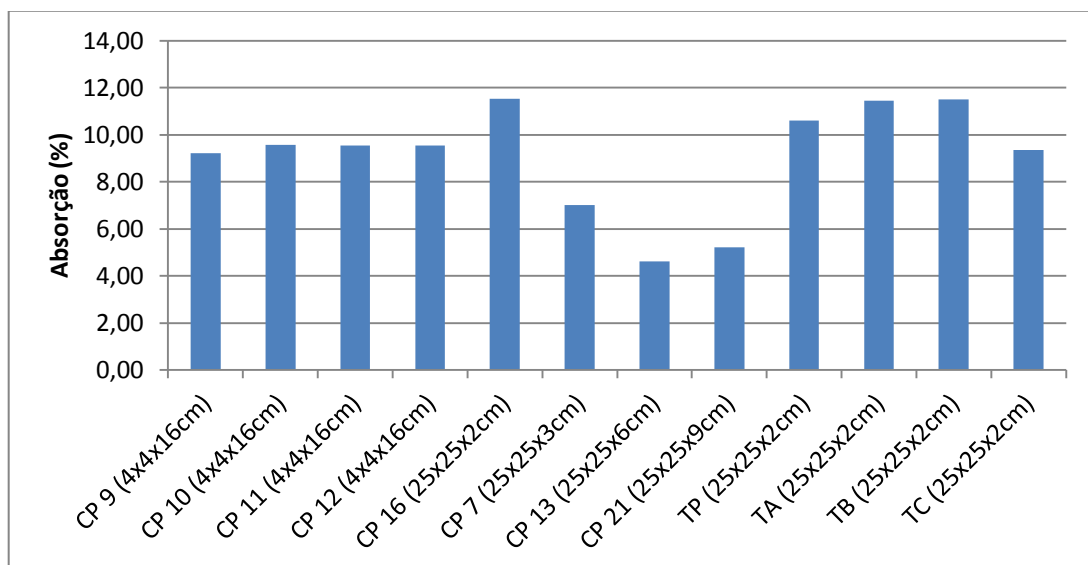
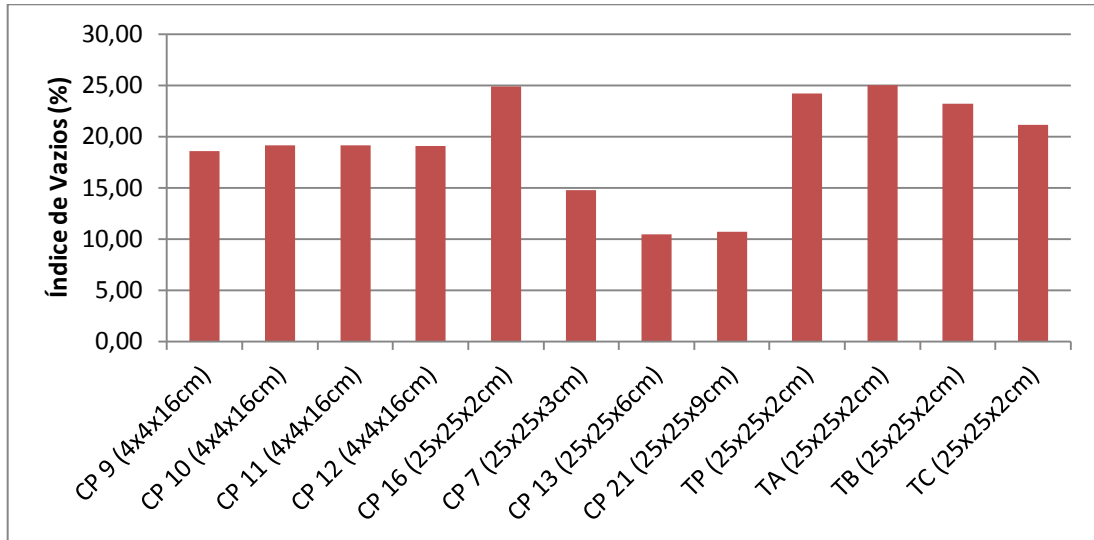


Figura 46 – Resultados do ensaio de absorção para todos os corpos-de-prova

Obs.: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC



**Figura 47 – Resultados do ensaio de índice de vazios para todos os corpos-de-prova**  
 Obs.: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC

Observa-se na Figura 47 que para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) o índice de vazios é alto. Esse fato ocorre devido à distribuição granulométrica uniforme. Entretanto, ao analisar as placas de argamassa sem tela nas diferentes espessuras, observa-se que o aumento da espessura de 2 cm para 3 cm faz com que o índice de vazios caia consideravelmente, diminuindo quase 10 unidades percentuais. No entanto, ao comparar o índice de vazios da placa de 3 cm com as placas de 6 e 9 cm de espessura, observa-se que não há uma grande diminuição desse valor, sendo pouco mais do que 4 unidades percentuais.

Dessa forma, pode-se concluir que, para diminuir o índice de vazios e melhorar a qualidade da argamassa no estado endurecido, o aumento de espessura de 2 cm para 3 cm apresenta-se mais vantajoso do que o aumento da espessura para 6 ou 9 cm nas placas de argamassa.

Para as placas de argamassa armada com as diferentes tipologias de telas, os parâmetros de caracterização apresentaram valores próximos, pois possuem a mesma espessura de 2 cm. Assim, pode-se dizer que as telas não influenciaram nos parâmetros de vazios na massa das argamassas armadas.

#### 4.3.2. Ruptura dos corpos-de-prova de argamassa prismáticos (4x4x16cm)

Os ensaios de ruptura à flexão e a compressão foram realizados para 4 corpos-de-prova, aos 7 e aos 28 dias. A Tabela 18 apresenta os resultados das resistências aos 7 dias.

**Tabela 18 – Resistência à tração e à compressão dos corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm) aos 7 dias**

<b>Ação</b>	<b>CP</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Média (MPa)</b>
Tração na flexão	CP 1	220,66	0,67	0,75
	CP 2	258,49	0,79	
	CP 3	255,34	0,78	
	CP 4	252,18	0,77	
Compressão	CP 1	1022,40	0,64*	1,92
	CP 2	1285,09	0,80*	
	CP 3	4154,73	2,60*	
	CP 4	1304,00	0,82*	
	CP 1	3461,22	2,16	
	CP 2	3102,91	1,94	
	CP 3	3070,34	1,92	
	CP 4	2655,29	1,66	

\*valores discrepantes em relação à média.

A média dos valores de resistência aos 7 dias é, portanto, de 0,75 MPa à tração na flexão e de 1,92 MPa à compressão.

Milani e Nakamura (2009) ensaiaram corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) em argamassa para argamassa armada, e obtiveram os valores de resistência aos 7 dias de 0,28 MPa à tração na flexão e 0,98 MPa à compressão. O traço utilizado foi de 1:2,57:0,50 (cimento:areia:água), utilizando o Cimento Portland CP II Z. No presente trabalho, a relação água cimento foi superior (1:3:0,6) ao trabalho desses autores, entretanto, devido ao tipo de cimento utilizado, a resistência aos 7 dias dos corpos-de-prova prismáticos apresentaram superioridade em seus resultados.

Os resultados de resistência à tração e à compressão para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) aos 28 dias estão apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19 – Resistência à tração e à compressão dos corpos-de-prova prismáticos (4x4x16) aos 28 dias**

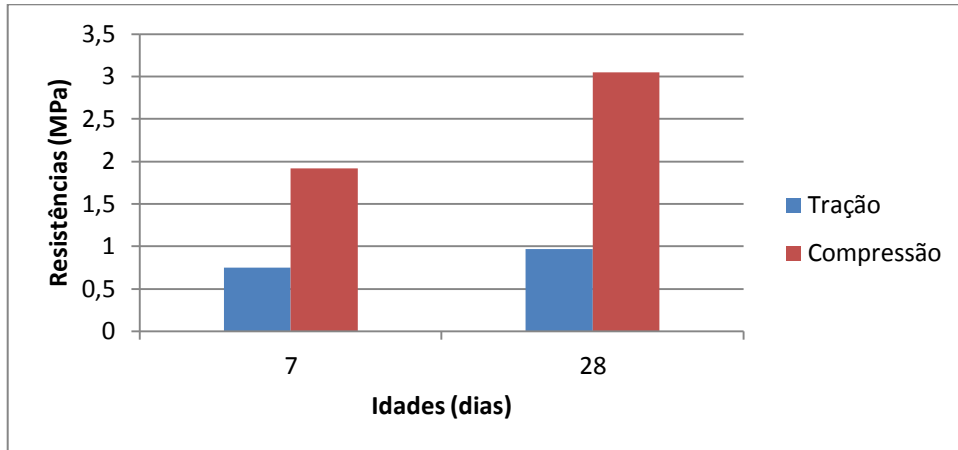
<b>Ação</b>	<b>CP</b>	<b>Carga (kgf)</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Média (MPa)</b>
Tração na flexão	CP 1	302,62	0,92	0,97
	CP 2	352,01	1,07	
	CP 3	290,01	0,88	
	CP 4	323,64	0,99	
Compressão	CP 1	4702,18	2,94	3,05
	CP 2	5109,87	3,19	
	CP 3	5171,87	3,23	
	CP 4	5258,03	3,29	
	CP 1	4991,14	3,12	
	CP 2	4866,10	3,04	
	CP 3	4794,64	3,00	
	CP 4	4181,00	2,61	

A média dos valores de resistência aos 28 dias foi de 0,97 MPa à tração na flexão e de 3,05 MPa à compressão.

Milani e Nakamura (2009) obtiveram os valores de resistência aos 28 dias de 0,36 MPa à tração na flexão e 1,28 MPa à compressão. Análoga às resistências aos 7 dias, aos 28 dias os corpos-de-prova dos autores apresentaram valores inferiores aos valores do presente trabalho.

Graficamente, pode-se observar o ganho de resistência dos corpos-de-prova ao longo do tempo, conforme a Figura 48.





**Figura 48 – Resistências médias à tração e à compressão dos corpos-de-prova nas diferentes idades**

Observa-se que o ganho de resistência à compressão dos corpos-de-prova é maior do que o ganho da resistência à tração na flexão, ao longo do tempo. Isso ocorre porque a argamassa não está armada. É sabido que tanto as argamassas como os concretos não armados, resistem muito bem à compressão e pouco a tração.

#### 4.3.3. Absorção de água por imersão

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado apenas para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16cm) e para as placas (25x25xespessura cm) sem tela com diferentes espessuras. Neste ensaio são analisados 3 períodos distintos de 24h, 48h e 72h após imersão total dos corpos de prova. Assim, a Tabela 20 apresenta os resultados das absorções por imersão dos corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) de argamassa.

O ensaio de absorção não foi realizado para as placas de argamassa armada, pois o que influencia principalmente essa característica de absorção por imersão é a espessura da placa, assim sendo as diferentes tipologias de telas não alterariam significativamente o resultado em relação às placas de mesma espessura sem telas.

**Tabela 20 – Absorção por imersão para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm)**

Tempo	CP 9		CP 10	
	Massa imersa (g)	Absorção (%)	Massa imersa (g)	Absorção (%)
24 horas	563,40	8,54	551,67	8,72
48 horas	563,70	8,60	552,10	8,80
72 horas	564,18	8,69	552,56	8,89

Milani e Nakamura (2009) ensaiaram os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) à imersão, obtendo valores por volta dos 12% de absorção. Esse valor é superior aos valores calculados no presente trabalho, pois mesmo utilizando-se de traços e materiais diferentes dos autores, a argamassa final proposta neste trabalho apresenta menor absorvidade de água e, conseqüentemente espera-se maior durabilidade na estrutura.

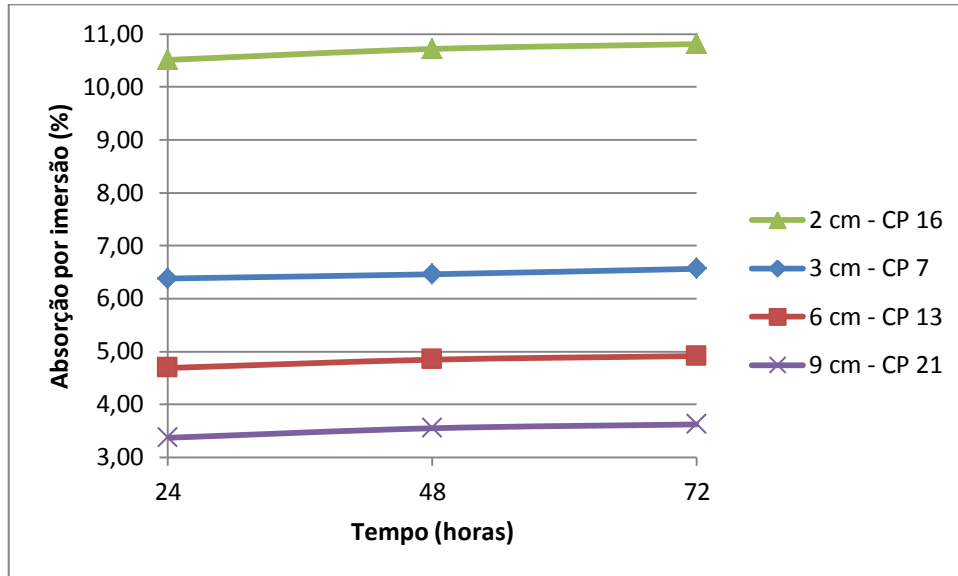
Constata-se ainda na Tabela 20 que os dois corpos-de-prova apresentaram taxas de absorção bem próximas, além de apresentarem comportamento semelhante de absorção ao longo do tempo analisado.

Para as placas sem tela e de diferentes espessuras, a Tabela 21 apresenta os valores de absorção obtidos.

**Tabela 21 – Absorção por imersão para as placas sem telas (25x25xespessuras cm)**

Tempo (h)	CP 16 (2 cm)		CP 7 (3 cm)		CP 13 (6 cm)		CP 21 (9 cm)	
	Massa imersa (g)	Abs. (%)	Massa imersa (g)	Abs. (%)	Massa imersa (g)	Abs. (%)	Massa imersa (g)	Abs. (%)
24	2883,70	10,51	4240,40	6,38	9886,80	4,69	11821,40	3,37
48	2889,10	10,72	4243,60	6,46	9901,60	4,85	11842,00	3,55
72	2891,50	10,81	4247,70	6,56	2891,50	4,91	11850,30	3,62

Graficamente, a Figura 49 ilustra os dados de absorção para as placas com as diferentes espessuras.



**Figura 49 – Absorção por imersão para as placas de argamassa (16x16xespessuras cm)**

Observa-se na Figura 49 e Tabela 21, que quanto maior é a espessura da placa, menor é a absorção de água, ou seja, ela tende a absorver menos água enquanto imersa. Além disso, a placa de 2 cm de espessura apresentou taxa de absorção significativamente maior do que a placa de 3 cm de espessura. Dessa forma, considerando-se a presença da tela na placa, quanto menor for a absorção de água, menor a possibilidade de corrosão e deterioração da tela, portanto, em relação ao ensaio de absorção de água, a placa de 3 cm de espessura apresenta-se ser mais vantajosa do que a placa de 2 cm de espessura.

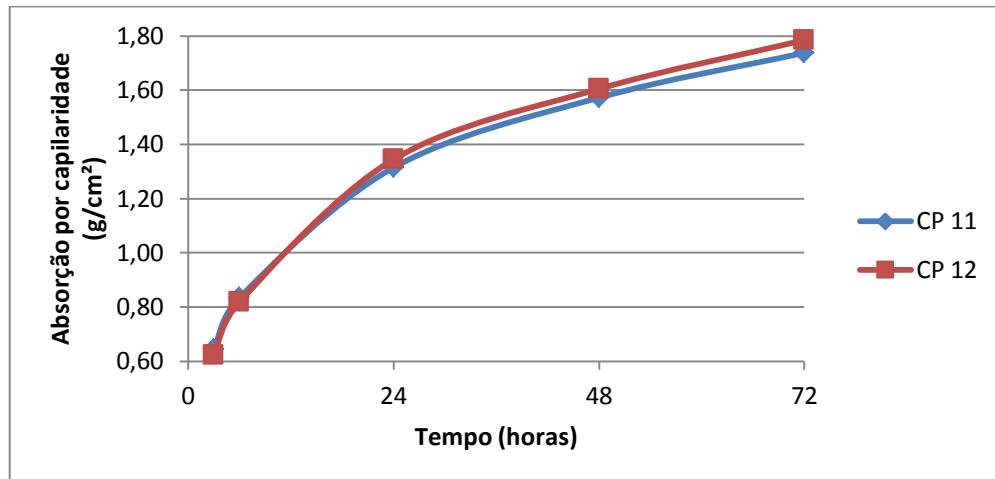
#### 4.3.4. Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado para os corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm), para as placas sem telas (25x25xespessuras cm) e para as placas de argamassa armada (25x25x2 cm).

O ensaio foi realizado em cinco momentos, sendo em 3, 6, 24, 48 e 72 horas para efetuar a medida da massa de água absorvida pelas diversas

argamassas e, ainda, observar a migração da capilaridade de água através do corpo de prova.

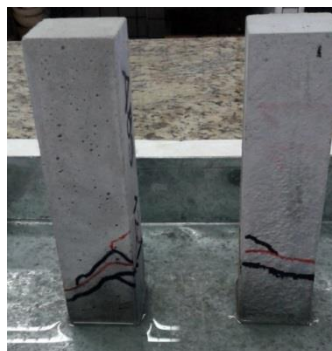
Para os corpos-de-prova prismáticos, a Figura 50 apresenta os resultados de absorção.



**Figura 50 – Absorção por capilaridade para os corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm)**

Semelhante ao ensaio de absorção por imersão dos corpos-de-prova prismáticos observa-se no gráfico um comportamento semelhante entre os corpos de prova ensaiados. Além disso, nas primeiras 24 horas constata-se que a absorção por capilaridade é maior, pois neste trecho a curva apresenta maior inclinação. Após as 24 horas a absorção por capilaridade tende a diminuir.

A Figura 51 ilustra a migração de água nos corpos-de-prova prismáticos em períodos diferentes.



**Figura 51 – Migração de água para os corpos-de-prova prismáticos (16x16x4 cm)**

Para os corpos-de-prova de argamassa (25x25xespessuras cm), a Figura 52 apresenta os dados de absorção por capilaridade.

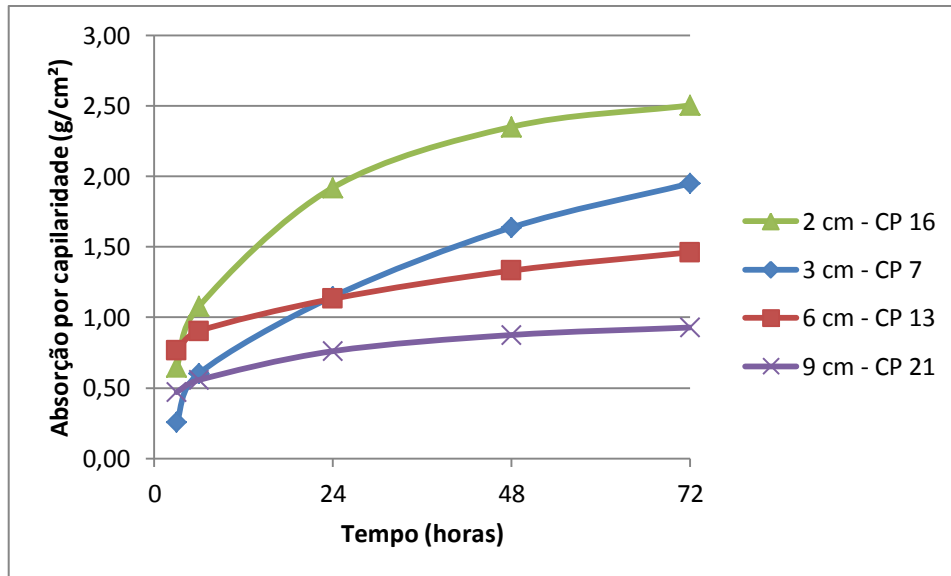


Figura 52 – Absorção por capilaridade para as placas sem tela (25x25xespessura cm)

Nota-se no gráfico da Figura 52 que quanto maior for a espessura da placa, menos ela tende a absorver água por capilaridade. Além disso, para as placas de 2 e 3 cm, a absorção por capilaridade nas primeiras horas é mais acentuada, e nas horas seguintes tende a estabilizar-se. Já para as placas de 6 e 9 cm, a absorção inicial por capilaridade tende a ser mais suave, estabilizando-se ao longo do tempo.

A Figura 53 ilustra a migração de água no corpo-de-prova de argamassa sem tela com espessura de 6 cm.

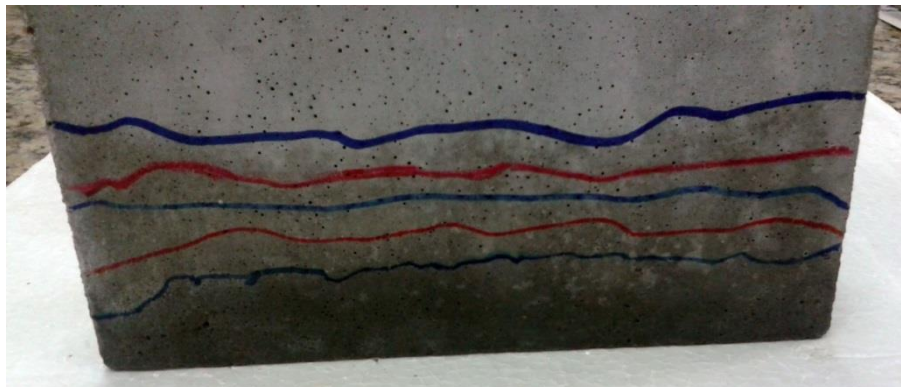
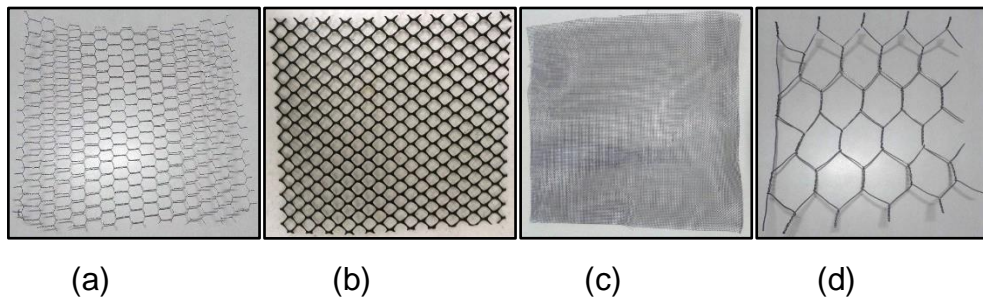


Figura 53 – Migração de água para os corpos-de-prova de argamassa sem tela (25x25x6 cm)

Para as placas de argamassa armada, utilizando-se 4 tipologias de telas, os resultados de absorção por capilaridade estão apresentados na Tabela 22. As 4 tipologias de telas de sustentação estão apresentadas na Figura 54. Assim, as telas utilizadas aqui serão denominadas de Tela Padrão - TP (Figura 54a), Tela Plástica - TA (Figura 54b), Tela com abertura de malha pequena - TB (Figura 54c) e Tela com abertura de malha grande - TC (Figura 54d)



**Figura 54 – Telas de sustentação**

Obs.: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC

**Tabela 22 – Absorção por capilaridade para as placas de argamassa armada (25x25x2 cm)**

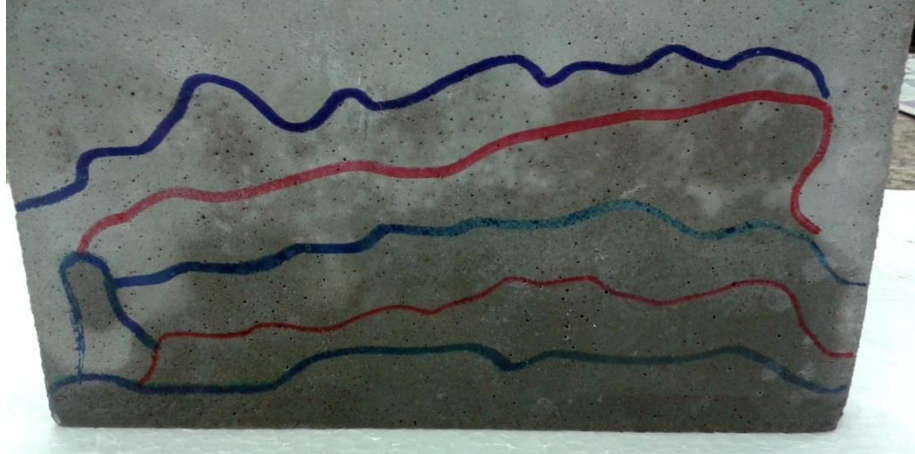
Tempo (horas)	Tela Padrão (TP)		Tela plástica (TA)		Tela pequena abertura de malha (TB)		Tela grande abertura de malha (TC)	
	Massa abs. (g)	Abs.	Massa abs. (g)	Abs.	Massa abs. (g)	Abs.	Massa abs. (g)	Abs.
3	2677,80	0,55	2665,30	0,72	2717,40	0,62	2724,50	0,80
6	2691,20	0,79	2675,30	0,90	2730,40	0,84	2735,70	1,03
24	2729,60	1,49	2713,30	1,59	2768,70	1,50	2765,60	1,63
48	2759,20	2,03	2730,90	1,91	2785,50	1,78	2777,30	1,86
72	2775,00	2,31	2738,20	2,04	2792,90	1,91	2783,30	1,98

Obs.1: absorção em g/cm<sup>2</sup>.

Obs.2: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC

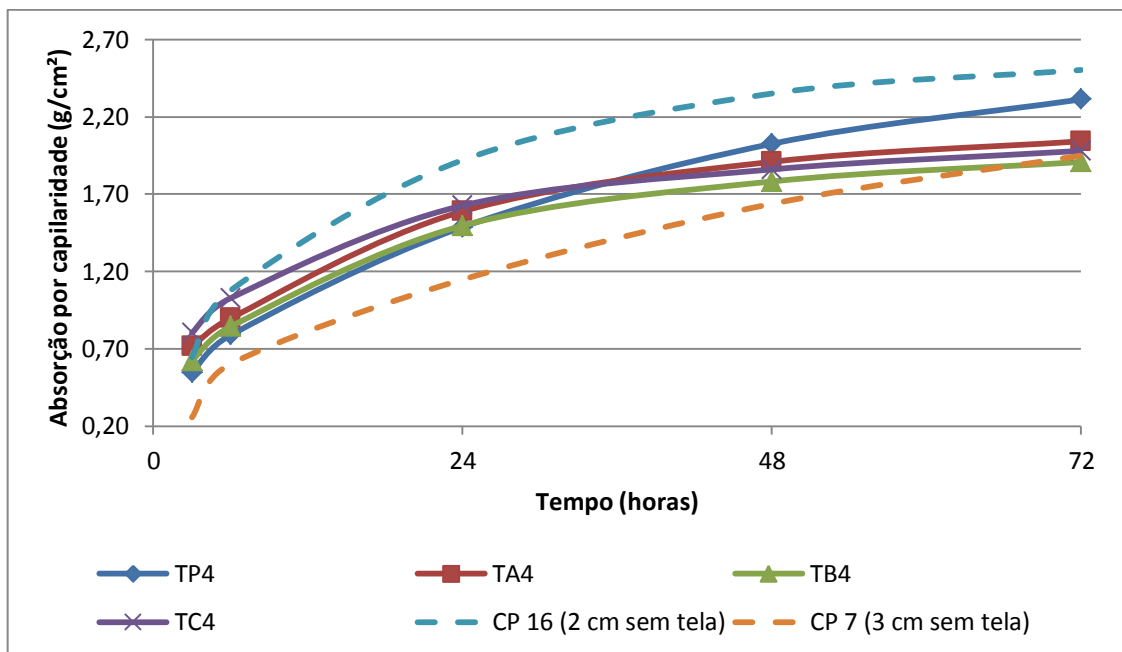
Observa-se na Tabela 22 que a adição da tela com pequena abertura de malha (TB) na placa de argamassa proporcionou a menor absorção final (72 horas) de água por capilaridade, chegando a 1,91 g/cm<sup>2</sup>. A maior absorção foi registrada adicionando-se a tela padrão (TP) à placa, resultando um valor de 2,31 g/cm<sup>2</sup>.

A Figura 55 ilustra a migração de água na placa de argamassa armada em períodos diferentes.



**Figura 55 – Absorção por capilaridade para a placa com tela (25x25x2 cm)**

A Figura 56 apresenta o gráfico com os valores de absorção por capilaridade para as placas de argamassa armada e para as placas de argamassa sem tela de espessura de 2 cm e 3 cm.



**Figura 56 – Absorção por capilaridade para as placas com tela (25x25x2 cm) e para a placa sem tela de 2 cm de espessura**

Obs.: (a) Tela Padrão - TP, (b) Tela Plástica – TA, (c), Tela com abertura de malha pequena – TB, (d) e Tela com abertura de malha grande – TC

Percebe-se que para as placas com a tela plástica (TA), com a tela de pequena abertura de malha (TB) e com a tela de grande abertura de malha (TC), o comportamento da absorção por capilaridade é bastante parecido.

Para a placa com a tela padrão (TP), nota-se que a absorção nas primeiras horas é ligeiramente menor do que para as outras placas com telas, entretanto, ao longo do tempo, a absorção desta placa se acentua, ultrapassando as absorções das outras placas com telas, sendo, como mencionado anteriormente, a placa de argamassa armada responsável pela maior absorção por capilaridade entre todas ao final do ensaio.

Agora, analisando as placas de argamassa com telas em relação às placas de argamassa sem telas, observa-se uma significativa variação. Por exemplo, a partir do gráfico, conclui-se que a adição de qualquer um dos tipos de tela nas placas proporciona uma melhora na absorção por capilaridade, ou seja, a placa de argamassa sem tela com espessura de 2 cm apresentou absorção por capilaridade maior do que as placas com tela, do início ao final do ensaio.

Já para a placa de argamassa sem tela de 3 cm, o comportamento é um pouco diferente. Para essa espessura, a absorção por capilaridade foi menor do que para as placas com telas ao longo do ensaio. Entretanto, ao final do ensaio, observa-se que a absorção por capilaridade da placa sem tela é superior à absorção para a placa com a tela de pequena abertura de malha. Sendo assim, pode-se concluir que ao final do ensaio, a placa com a tela de pequena abertura de malha e com espessura de 2 cm apresenta um desempenho melhor em relação à absorção por capilaridade do que a placa sem tela e com espessura de 3 cm.

#### 4.3.5. Resistência ao impacto de corpo duro

Para calcular a resistência ao impacto de corpo duro, foi calculada a energia necessária para ocorrer fissuração e ruptura dos corpos-de-prova. Os corpos-de-prova ensaiados foram as placas de argamassa sem tela para diferentes espessuras e as placas de argamassa armada com os diferentes tipos de tela.



Para as placas de argamassa sem tela, os resultados da altura de queda e da quantidade de golpes necessários para a fissuração e a ruptura estão apresentados na Tabela 23.

**Tabela 23 – Ensaio de impacto: altura e quantidade de golpes para a fissuração e a ruptura para as placas de argamassa de diferentes espessuras**

CP	Espessura (cm)	Fissuração		Ruptura	
		Nº golpes	Altura (cm)	Nº golpes	Altura (cm)
CP 8	3	-	-	4	35
CP 9	3	-	-	4	35
CP 24	3	-	-	3	30
CP 22	9	-	-	> 100	110
CP 23	9	-	-	> 100	110
CP 25	9	-	-	> 100	110
CP 16	2	-	-	3	30
CP 18	2	-	-	2	25
CP 19	2	-	-	3	30
CP 14	6	-	-	> 100	110
CP 26	6	-	-	> 100	110
CP 27	6	-	-	> 100	110

Nota-se que para as placas sem tela, a ruptura foi imediata, ou seja, não houve fissuração visível antes da ruptura (ruptura frágil). A Figura 57 ilustra a placa depois da ruptura.



**Figura 57 – Placa de argamassa sem tela após a ruptura por impacto**

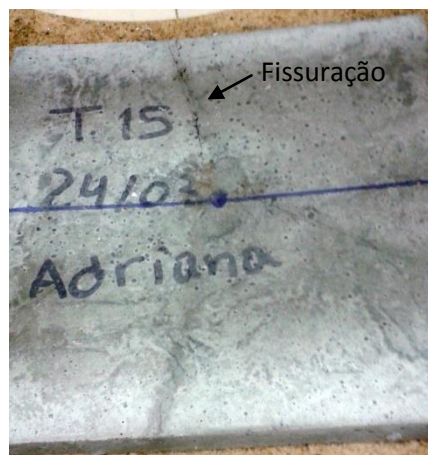
Já para as placas de argamassa armada, a Tabela 24 exprime os resultados da altura de queda e da quantidade de golpes para a fissuração e para a ruptura.

**Tabela 24 – Altura e quantidade de golpes para a fissuração e ruptura da argamassa armada**

CP	Fissuração		Ruptura	
	Nº Golpes	Altura (cm)	Nº Golpes	Altura (cm)
TP5	5	40	7	50
TP6	5	40	6	45
TP7	3	30	4	35
TA5	5	40	8	55
TA6	4	35	9	60
TA7	3	30	8	55
TB5	6	45	10	65
TB6	5	40	7	50
TB7	6	45	9	60
TC5	5	40	10	65
TC6	5	40	7	50
TC7	5	40	9	60

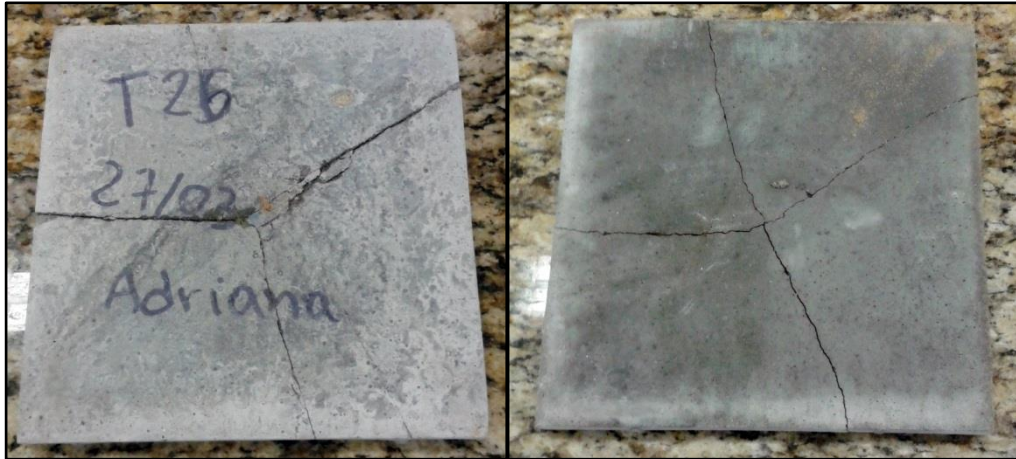
Obs.: Tela Padrão - TP, Tela Plástica – TA, Tela com abertura de malha pequena – TB, e Tela com abertura de malha grande – TC

Diferente que as placas de argamassa sem tela, nas placas de argamassa armada houve a fissuração antes da ruptura, conforme se observa na Figura 58.



**Figura 58 – Placa de argamassa com tela após fissuração**

Na ruptura, as placas de argamassa armada não se dividiram subitamente como ocorreram nas placas de argamassa sem as telas. A presença da tela impediu que as partes rompidas se dividissem, conforme ilustra a Figura 59.



**Figura 59 – Placa de argamassa armada após a ruptura.**

A partir dos dados coletados no ensaio, é possível calcular a energia potencial necessária para haver a fissuração e a posterior ruptura das placas. A Tabela 25 apresenta a energia potencial para a fissuração e ruptura das placas de argamassa armada sem telas. Os dados utilizados para o cálculo da energia potencial foram a média dos dados das duas placas que obtiveram o melhor desempenho, ou seja, as que apresentaram maior altura e quantidade de quedas até haver a fissuração e a ruptura.

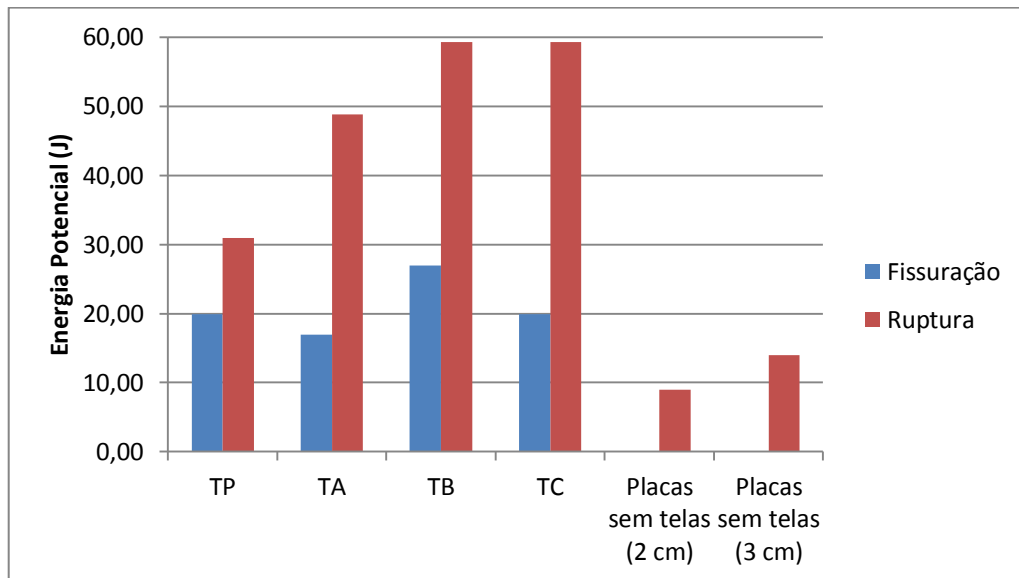
**Tabela 25 – Energia potencial para as placas de argamassa sem tela**

CP	Energia (J)	
	Fissuração	Ruptura
25x25x2 cm	0,00	8,97
25x25x3 cm	0,00	13,95

Os dados de energia potencial para as placas de 6 e 9 cm não foram calculados, pois a quantidade de golpes necessários para haver a ruptura

apresentou-se significativamente grande, proporcionando um resultado com pouca representatividade para a presente análise.

O gráfico da Figura 60 ilustra as energias potenciais para fissuração e ruptura para as placas de argamassa de diferentes espessuras e para as placas de argamassa armada com diferentes telas.



**Figura 60 – Energia potencial para fissuração e ruptura das placas de argamassa com e sem telas**

Obs.: Tela Padrão - TP, Tela Plástica – TA, Tela com abertura de malha pequena – TB, e Tela com abertura de malha grande – TC

A adição da tela nas placas de argamassa proporcionou um aumento considerável da resistência ao impacto. Primeiramente, as placas de argamassa sem tela não apresentaram fissuração visível, enquanto as placas de argamassa com tela apresentaram fissuração antes da ruptura. Além disso, a energia necessária para romper as placas com tela foi em média quase 6 vezes maior do que a energia necessária para romper as placas com 2 cm de espessura sem tela, e quase 4 vezes maior do que para as placas de 3 cm de espessura sem tela.

Em relação às placas de argamassa armada, a adição das telas com pequena abertura de malha (TB) e com grande abertura de malha (TC) apresentaram o melhor desempenho na ruptura em relação às placas com as outras telas. Entretanto, a tela com pequena abertura de malha (TB) obteve a maior energia potencial necessária para ocorrer a primeira fissuração. Dessa forma, a placa que

obteve o melhor desempenho foi a placa com a tela com pequena abertura de malha (TB).

#### 4.3.6. Ruptura das placas de argamassa com e sem telas

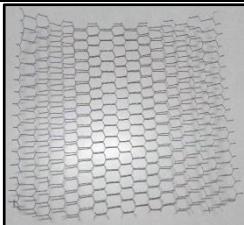
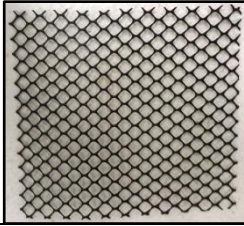

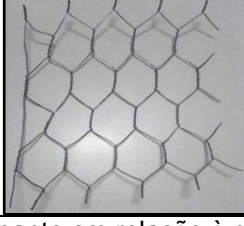
A resistência das placas de argamassa com e sem telas foi determinada através do ensaio de flexão adaptado. A Tabela 26 apresenta os valores de carga aplicada (F) e carga de ruptura (CR) para os corpos-de-prova de diferentes espessuras e sem telas (25x25xespessuras cm).

**Tabela 26 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa sem tela (25x25xespessuras cm)**

CP	Espessura (cm)	Força (N)	Carga de Ruptura (N)	Média das Cargas de Ruptura (N)
CP6	2,00	1535,85	1228,68	1586,05
CP15		2174,98	1739,98	
CP17		2236,88	1789,50	
CP1	3,00	4793,26	3834,61	3702,66
CP2		4535,56	3628,44	
CP3		4556,16	3644,93	
CP10	6,00	21121,13	16896,90	16770,47
CP11		21347,93	17078,35	
CP12		20420,20	16336,16	
CP4	9,00	29553,12	23642,49	23749,70
CP5		29821,12	23856,90	
CP20		32068,20	25654,56*	

Para as placas de argamassa armada com as diferentes tipologias de tela, a Tabela 27 apresenta os valores de força e carga de ruptura.

**Tabela 27 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa com tela (25x25x2 cm)**

CP	Tela	Força (N)	Carga de Ruptura (N)	Média das Cargas de Ruptura (N)
TP1		2319,28	1855,42*	1678,14
TP2		2071,87	1657,50	
TP3		2123,47	1698,78	
TA1		2051,27	1641,02	1641,02
TA2		2051,27	1641,02	
TA3		2267,78	1814,22*	
TB1		2123,47	1698,78	1793,62
TB2		1834,86	1467,89*	
TB3		2360,58	1888,46	
TC1		1989,47	1591,57	1591,57
TC2		2308,98	1847,18*	
TC3		1989,47	1591,57	

\*valor discrepante em relação à média.

Observa-se que a carga de ruptura à tração na flexão tem seu maior valor quando adicionada a tela de menor abertura de malha (TB) na placa de argamassa.

Após o ensaio de flexão, todas as placas de argamassa sem tela partiram-se em duas partes (Figura 61 a). Entretanto, para as placas de argamassa armada, verificou-se que não ocorreu a ruptura da tela, ou seja, a ruptura da placa era detectada pela máquina universal antes de a tela se romper, fazendo com que a placa permanecesse com a sua forma original, sendo necessário “forçar” a placa para ela se repartir em duas partes. A Figura 61 apresenta a placa de argamassa sem tela e a placa de argamassa armada após a ruptura.



(a) placa de argamassa sem tela após a ruptura



(b) argamassa armada após a ruptura

Figura 61 – Ensaio de Flexão

Para todos os ensaios com as diferentes tipologias de tela, ocorreu apenas a ruptura da placa, sem romper a tela. Sendo assim, conclui-se que a adição da tela permite uma rigidez maior à placa, e, mesmo a placa estando rompida, não houve a separação da placa.

Analisando a resistência das placas com as telas de espessura de 2 cm em relação à placa sem tela de espessura de 2 cm, observamos que a adição da tela, de um modo geral, provoca um aumento de resistência. A placa sem tela apresentou 1586,05 N de carga de ruptura, enquanto a placa com a tela cujo valor de resistência foi o menor dentre todas as telas (tela com abertura de malha grande – TC) apresentou 1591,57 N, valor minimamente superior à placa sem tela. Entretanto, se comparada com a placa com a tela que resistiu mais dentre todas (tela com abertura de malha pequena – TB), o valor de resistência é consideravelmente maior, chegando aos 1793,62 N.

Ainda, ao comparar as placas com tela de argamassa e as sem tela para as espessuras de 3, 6 e 9 cm, observa-se grandes variações. A adição da tela na placa de 2 cm aumenta significativamente a resistência do conjunto (dependendo da tela). Entretanto, esse aumento de resistência não se compara à resistência da placa sem tela de 3 cm de espessura. Enquanto a placa de 2 cm com tela resiste em seu máximo 1793,62 N, a placa sem tela de espessura de 3 cm resiste mais do que o dobro, chegando aos 3702,66 N.

Milani e Nakamura (2009) realizaram o ensaio de ruptura de placas de argamassa armada por flexão e para diferentes tipologias de telas, com as dimensões de 25x10x2 cm. Os resultados de força aplicada e carga de ruptura para cada tipo de tela estão apresentados na Tabela 28.

**Tabela 28 – Resistência à tração na flexão para as placas de argamassa com tela (25x10x2 cm)**

<b>Tela</b>	<b>Força Média (N)</b>	<b>Carga de Ruptura (N)</b>
Tela viveiro hexagonal	857,20	1428,95
Tela touro viveiro 5	873,87	1456,75
Tela peneira revestida	863,87	1440,07
Tela peneira galvanizada	870,54	1451,19

Fonte: Milani e Nakamura (2009) (adaptado)

Mesmo as dimensões da placa sendo diferentes do que as placas estudadas no presente trabalho utilizou-se da formulação apresentada no item 3.4.8 para o cálculo da carga de ruptura, que leva em consideração a distância  $b_i$  apoiada no ensaio de flexão e o comprimento de ruptura. Dessa forma, as diferenças de dimensões são sanadas na equação, ficando diferentes, portanto, apenas o traço da argamassa e as tipologias de telas, permitindo assim algumas comparações.

Observa-se na Tabela 28 que de maneira geral a carga de ruptura para as placas de argamassa com tela foram inferiores às cargas de ruptura para as placas armadas do presente estudo. Essa diferença se deve ao traço utilizado, que, mesmo contendo uma relação água/cimento inferior ao traço do presente trabalho, o qual caracterizaria tecnicamente uma resistência maior, conteve também um agregado miúdo distinto, com módulo de finura inferior. Por isso, a grande presença de finos na areia, e, por consequência, na argamassa, pode ter prejudicado a reação da água com o cimento, diminuindo a resistência.

Quanto às tipologias de tela, pode-se comparar a tela viveiro hexagonal do trabalho dos autores com a tela do tipo C (com abertura de malha grande) do presente trabalho. Em ambos os trabalhos, esse tipo de tela apresentou o pior desempenho de resistência à flexão.



## 5. CONCLUSÃO

O presente trabalho de conclusão de curso apresentou a análise de placas de argamassa armada com diferentes tipologias de telas com espessura de 2 cm e de placas de argamassa sem telas com diferentes espessuras (2 cm, 3 cm, 6 cm e 9 cm).

A partir da caracterização dos materiais (agregado e aglomerante), foi possível determinar o traço para a confecção das placas de argamassa, seguindo as recomendações de literatura e comparando com outros trabalhos na área, a fim de confirmar as características encontradas e relacionar com os resultados obtidos.

Após a execução da argamassa utilizando o traço determinado a partir da caracterização dos materiais e da recomendação da literatura, a mesma também foi caracterizada, através dos parâmetros no estado fresco de consistência e massa específica, comparando-os com os dados de outros trabalhos na área. No estado endurecido, os ensaios realizados foram de absorção por imersão, absorção por capilaridade, resistência à flexão e resistência ao impacto.

No ensaio de absorção por imersão, foi possível concluir que a absorção dos corpos-de-prova prismáticos (4x4x16 cm) foi inferior à absorção para corpos-de-prova prismáticos analisados em outros trabalhos. Para as placas de argamassa de diferentes espessuras e sem telas (2 cm, 3 cm, 6 cm e 9 cm), a absorção por imersão foi muito superior para a placa de 2 cm do que para a placa de 3 cm, podendo-se concluir que o melhoramento das propriedades de absorção por imersão seria significativo caso a placa de argamassa armada passasse a ser de 3 cm. Além disso, pode-se concluir também que quanto maior for a espessura da placa, melhor a propriedade de absorção por imersão, ou seja, quanto maior a espessura, menor a quantidade de água absorvida.

No ensaio de absorção por capilaridade, concluiu-se também que quanto maior for a espessura da placa, menor a absorção por capilaridade. Em relação às placas com as diferentes tipologias de tela, concluiu-se que o tipo B de tela, a tela com abertura de malha pequena, obteve o melhor desempenho em relação à absorção por capilaridade. Além disso, pode-se concluir que a adição da tela na

placa de argamassa provoca um melhoramento nessa propriedade, ou seja, a placa de argamassa sem tela e de espessura de 2 cm apresentou absorção por capilaridade superior a qualquer placa de espessura de 2 cm e com tela. Para a placa de 3 cm, a absorção por capilaridade foi superior à placa com a tela tipo B (tela com abertura de malha pequena), portanto, conclui-se que a adição da tela tipo B na placa de argamassa de 2 cm de espessura provoca um desempenho de absorção por capilaridade superior ao desempenho da placa de 3 cm de espessura sem tela.

Quanto ao ensaio de impacto, conclui-se que a adição da tela nas placas de argamassa provoca um grande aumento na energia potencial necessária para ocorrer a ruptura da placa. Além disso, a adição da tela permite a fissuração da placa antes da ruptura, já que, sem a tela, a placa rompe-se bruscamente. Comparando as placas sem tela com as placas com tela, conclui-se que a energia necessária para romper as placas de argamassa com todas as tipologias de tela foi superior do que a energia necessária para romper as placas de 2 e 3 cm. Logo, a tela que apresentou o melhor desempenho no ensaio de impacto, tanto para fissuração quanto para ruptura, foi a tela do tipo B (tela com abertura de malha pequena).

Em relação à resistência à flexão, concluiu-se que a tela do tipo B apresentou o melhor desempenho entre todas as outras placas com tela. Para a placa de 2 cm de espessura sem tela, a resistência à flexão foi inferior às resistências das placas com tela de espessura de 2 cm. Além disso, no decorrer do ensaio, as placas armadas não se repartiram bruscamente como as placas sem tela, dando uma característica maior de rigidez ao conjunto. Em relação às placas sem tela de diferentes espessuras, observou-se que o aumento da espessura da placa para 3 cm provocou um aumento grande na resistência, sendo mais do que o dobro, em relação à placa com tela de 2 cm de espessura e com o melhor desempenho.

Assim sendo, conclui-se que a melhor tipologia de tela a ser utilizada é a tela do tipo B (tela com abertura de malha pequena), pois ela apresenta os melhores resultados para a espessura de 2 cm de absorção por capilaridade, resistência ao impacto e de resistência à flexão. Além disso, ela apresenta melhor resultado de absorção por capilaridade do que uma placa de 3 cm de espessura sem tela.

Por fim, caso necessite melhorar ou aumentar as propriedades de resistência à flexão e de absorção por imersão das placas de argamassa, o aumento da espessura da placa de argamassa armada de 2 cm para 3 cm seria a melhor solução.

## 6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudo das placas de argamassa armada com 3 cm de espessura;
- ✓ Utilização de traços diferentes diminuindo-se o fator água/cimento para os mesmos tipos de tela adotados neste trabalho;
- ✓ Estudo das placas de argamassa armada utilizando os mesmos tipos de tela deste trabalho e relacionando a quantidade de armadura por  $\text{cm}^2$  com os ensaios de absorção;
- ✓ Estudo da durabilidade das placas de argamassa armada.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 18**: Cimento Portland - Análise Química - Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 26**: Agregados - Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 43**: Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 5733**: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935:** Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776:** Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9775:** Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833:** Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 11578:** Cimento Portland Composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11173:** Projeto e execução de argamassa armada - Procedimento. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15845:** Rochas para revestimento – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010.

ALBERTI, Giovani; WAGNER, Luiz G. **Avaliação do desempenho da adição de fibras fabricadas a partir de rejeito da produção de lâ de aço em concretos reforçados com fibra de aço (CRFA)**. 2010. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação de Tecnólogo) – Curso Superior de Tecnologia em Construção Civil Modalidade Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

Avitol Telas. Disponível em: <<http://avitol.com.br/>> Acesso em: 28 out. 2014.

BALLARIN, Adriano W. **Argamassa Armada: Definição, histórico e desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1999.

BASTOS, Sandra R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para a produção de concretos convencionais**. 2002. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BUTTLER, Alexandre M. **Uso de agregados reciclados de concreto em blocos de alvenaria estrutural**. 2007. 499 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CAMPOS, Paulo E. F. de. **Argamassa Armada: Produção Industrializada - Aplicações e processo de fabricação com telas soldadas**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 1994.

CHAMELETE, AntônioG. **Armaduras para Argamassa Armada**. 2.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2003.

FREIRE, Wesley J.; BERALDO, Antonio L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: CLE/UNICAMP, 2003.

GARCIA, LinaM. G. **Residência Pré-Fabricada de Argamassa Armada como Unidade Básica de Agrovila**. 2012. 94 f. Dissertação (*Magister Scientiae*) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

GONÇALVES, Jardel P.; FILHO, Romildo D. T.; FAIRBAIRN, Eduardo M. R.; Estudo da Hidratação de Pastas de Cimento Portland Contendo Resíduo Cerâmico por meio de Análise Térmica. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 83-94, out./dez. 2006.

HANAI, João B. de. **Projeto estrutural e dimensionamento de argamassa armada com telas soldadas**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 1996.

MACHADO Jr., Eloy F. M. **Casas Populares Pré-Moldadas em Argamassa Armada: Procura de uma Solução Econômica e Confortável**. 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

MARCELLINO, Narbal A. **Projeto e Produção de Sistemas e Componentes em Argamassa Armada para Edificações**. 1991. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) –Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

MILANI, Carla R. R.; NAKAMURA, Washington M. **Estudo do desempenho da argamassa armada, utilizando armaduras alternativas**. 2009. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação de Tecnólogo) - Curso Superior de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NAKAMURA, Edson S.; IURK, Fernando C. **Estudo da viabilidade técnica da substituição do agregado miúdo natural por resíduos de construção e demolição em concretos estruturais**. 2010. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Diplomação de Tecnólogo) - Curso Superior de Tecnologia em Concreto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1982. xv, 738 p.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Materiais de construção**. 11. ed. 435 p. São Paulo: Globo, 1998.

RAMIRES, Lucas D. **Estudo teórico-experimental de reforço para construções de alvenaria empregando revestimento de argamassa armada**. 2007. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.



SCHISTEK, Harald. Uma Nova Tecnologia de Construção de Cisternas Usando como Estrutura Básicas Tela Galvanizada de Alambrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5., 2005, Teresina. **Anais...** Teresina, 2006.

SOSSAI, Fabiano J. M. **Caracterização Tecnológica de Rochas Ornamentais.** 2006. 87 f. Dissertação (*Magister Scientiae*) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

Telmetal. Disponível em: <<http://www.telmetal.com.br/chapas.html>> Acesso em: 28 out. 2014.

TRIGO, Cristina C. **Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.** 2009. 162 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.