

**MARIA LUIZA LOPES DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM  
ARGAMASSAS**

**Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa  
Catarina, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Civil.**

**Florianópolis**

**2001**

**MARIA LUIZA LOPES DE OLIVEIRA**

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM  
ARGAMASSAS**

**Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa  
Catarina, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Civil.**

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Philippe Jean Paul Gleize, Dr.

**Florianópolis**

**2001**

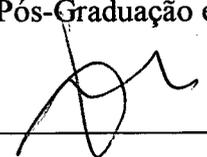
**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO EM  
ARGAMASSAS**

**MARIA LUIZA LOPES DE OLIVEIRA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título

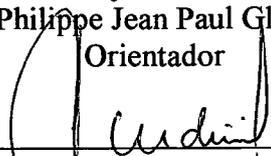
**MESTRE EM ENGENHARIA**

Especialidade ENGENHARIA CIVIL, área de concentração CONSTRUÇÃO CIVIL, aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.



---

Prof. Philippe Jean Paul Gleize, Dr.  
Orientador



---

Prof. Jucilei Cordini, Dr.  
Coordenador do PPGEC

Banca Examinadora:



---

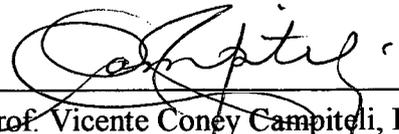
Prof. Humberto Ramos Roman, PhD.

UFSC



---

Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr.  
UFSC



---

Prof. Vicente Coney Campiteli, Dr.  
UEPG

**À minha mãe,  
com todo amor e admiração.**

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Philippe Jean Paul Gleize pela orientação.

Ao Prof. Humberto Ramos Roman pelas sugestões e apoio durante a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Luis Gómez pela paciência e apoio instrumental nos ensaios.

Ao Prof. Fernando Avancini Tristão pelas dicas e aprendizado.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pelo financiamento desta pesquisa.

À Etruria Indústria de Fibras e Fios Sintéticos Ltda.

À Rischbieter Engenharia Indústria e Comércio Ltda.

À toda a minha família.

À Neylido Franklin Carlos de Assis pelo amor, compreensão e apoio nos momentos difíceis.

À minha amiga Helga Ferreira Martins pelo apoio e grande amizade.

Aos colegas da Pós-Graduação Alexandre Guedes Jr., André Sagave, Débora de Góis Santos, Dinara Xavier da Paixão, Eduardo Rizatti, Elon José Lenzi, Fábio Elias Araújo, Flávio Santos, Gihad Mohamad, Leslie Maria Finger Roman, Luciana Lopes Xavier, Maria Estânia Mendonça Passos, Raquel Toledo, Romson Heleo Romagna, Silvana Leonita Weber e Vaneide Gomes pela grande convivência e aprendizado.

Ao Prof. Jucilei Cordini e Irizete Menezes da Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação.

À Luiz Henrique e Renato Lapa, técnicos do Laboratório de Materiais de Construção Civil.

## SUMÁRIO

---

**LISTA DE FIGURAS**

**LISTA DE GRÁFICOS**

**LISTA DE TABELAS**

**LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS**

**LISTA DE SIGLAS**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

### **CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO**

---

1.1 Considerações iniciais .....	1
1.2 Justificativa e relevância da pesquisa .....	6
1.3 Objetivo geral .....	6
1.4 Objetivos específicos .....	6
1.5 Estrutura do trabalho .....	7

### **CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

---

2.1 Considerações iniciais .....	9
2.2 Argamassa .....	9
2.2.1 Definição .....	9
2.2.2 Funções e características .....	10
2.2.2.1 Argamassa de assentamento .....	10
2.2.2.2 Argamassa de revestimento .....	11
2.2.3 Principais propriedades .....	12
2.2.3.1 Propriedades no estado fresco .....	12
2.2.3.1.1 Trabalhabilidade .....	12
2.2.3.1.2 Consistência e retenção de consistência .....	13
2.2.3.1.3 Coesão e tixotropia .....	14
2.2.3.1.4 Plasticidade .....	15
2.2.3.1.5 Retenção de água .....	15
2.2.3.1.6 Massa específica .....	16

2.2.3.1.7 Exudação de água .....	17
2.2.3.1.8 Adesão inicial .....	17
2.2.3.1.9 Tempo de endurecimento .....	18
2.2.3.2 Propriedades no estado endurecido .....	18
2.2.3.2.1 Resistência mecânica .....	18
2.2.3.2.2 Resiliência ou elasticidade .....	19
2.2.3.2.3 Retração .....	20
2.2.3.2.4 Aderência .....	22
2.2.3.2.5 Permeabilidade .....	23
2.2.4 Durabilidade .....	24
2.3 Fibras de polipropileno .....	24
2.3.1 Definição e produção .....	24
2.3.2 Propriedades e características .....	25
2.4 Materiais compósitos .....	28
2.5 Materiais compósitos à base de cimento reforçados com fibras de polipropileno ....	30
2.5.1 Fatores que influenciam as propriedades dos compósitos .....	30
2.5.2 Propriedades no estado fresco .....	31
2.5.2.1 Consistência – trabalhabilidade .....	31
2.5.2.2 Retenção de água .....	32
2.5.3 Propriedades no estado endurecido .....	32
2.5.3.1 Resistência à compressão .....	32
2.5.3.2 Resistência à tração .....	33
2.5.3.3 Módulo de deformação .....	34
2.5.3.4 Resistência ao impacto .....	34
2.5.3.5 Aderência .....	35
2.5.3.6 Retração .....	35
2.5.3.7 Permeabilidade .....	37
2.5.3.8 Absorção de água por capilaridade .....	37
2.5.3.9 Fadiga .....	38
2.5.4 Durabilidade .....	38

### **CAPÍTULO 3: ESTUDO EXPERIMENTAL**

---

3.1 Escolha dos traços das argamassas .....	40
3.2 Formulação das argamassas .....	40
3.3 Conversão dos traços das argamassas .....	41
3.4 Materiais utilizados .....	43
3.5 Caracterização dos materiais utilizados .....	43
3.6 Produção das argamassas .....	49
3.7 Métodos de ensaio para caracterização das argamassas .....	50
3.7.1 Argamassas no estado fresco .....	50
3.7.1.1 Índice de consistência .....	50
3.7.1.2 Retenção de água .....	50
3.7.2 Argamassas no estado endurecido .....	50
3.7.2.1 Retração .....	50
3.7.2.2 Resistência à tração na flexão .....	53
3.7.2.3 Resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos .....	54
3.7.2.4 Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos .....	55
3.7.2.5 Índice de vazios e massa específica .....	55
3.7.2.6 Absorção de água por capilaridade .....	55

### **CAPÍTULO 4: ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

---

4.1 Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco .....	57
4.1.1 Índice de consistência – trabalhabilidade .....	57
4.1.2 Retenção de água .....	61
4.2 Resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido .....	63
4.2.1 Retração .....	63
4.2.2 Resistência à tração na flexão .....	69
4.2.3 Resistência à compressão .....	72
4.2.4 Absorção de água por imersão .....	80
4.2.5 Absorção de água por capilaridade .....	88

**CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

---

5.1 Conclusões .....	92
5.2 Recomendações para trabalhos futuros .....	94

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

Referências Bibliográficas .....	95
----------------------------------	----

**ANEXOS**

---

Anexo A .....	103
Anexo B .....	120
Anexo C .....	137

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2.1- Processo de extrusão estirada das fibras de polipropileno .....	25
Figura 3.1- Molde utilizado para confecção dos corpos de prova .....	51
Figura 3.2- Ensaio de Retração .....	53
Figura 3.3- Ensaio de Resistência à tração na flexão .....	54
Figura 3.4- Ensaio de Resistência à compressão de corpos de prova cúbicos .....	55

## LISTA DE GRÁFICOS

---

Gráfico 3.1- Curva granulométrica da areia média – NBR 7217 (1987) .....	47
Gráfico 3.2- Curva granulométrica da areia média – BS 1200 (1976) .....	47
Gráfico 3.3- Curva granulométrica da areia fina .....	48
Gráfico 4.1- Correlação dos teores de fibra com o índice de consistência das argamassas A1 .....	58
Gráfico 4.2- Correlação dos teores de fibra com o índice de consistência das argamassas A2 .....	58
Gráfico 4.3- Correlação dos teores de fibra com o índice de consistência das argamassas A3 .....	59
Gráfico 4.4- Correlação dos teores de fibra com a retenção de água das argamassas A1 .....	62
Gráfico 4.5- Variação da massa em função do período de leitura (A1) .....	64
Gráfico 4.6- Retração em função do período de leitura (A1) .....	64
Gráfico 4.7- Variação da massa em função do período de leitura (A2) .....	64
Gráfico 4.8- Retração em função do período de leitura (A2) .....	65
Gráfico 4.9- Variação da massa em função do período de leitura (A3) .....	65
Gráfico 4.10- Retração em função do período de leitura (A3) .....	65
Gráfico 4.11- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A1 com cura em câmara .....	74
Gráfico 4.12- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos das argamassas A1 com cura em saco plástico .....	75
Gráfico 4.13- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A2 com cura em câmara .....	75
Gráfico 4.14- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A2 com cura em saco plásticos .....	76
Gráfico 4.15- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos das argamassas A2 com cura em saco plástico .....	76
Gráfico 4.16- Correlação dos teores de fibra com a absorção de água por imersão das argamassas A1 .....	83
Gráfico 4.17- Correlação dos teores de fibra com o índice de vazios das argamassas A1 .....	84
Gráfico 4.18- Correlação dos teores de fibra com a massa específica real das argamassas A1 .....	84

Gráfico 4.19- Correlação dos teores de fibra com as massas específicas das argamassas A2	84
Gráfico 4.20- Correlação dos teores de fibra com a absorção de água por imersão das argamassas A3 .....	85
Gráfico 4.21- Correlação dos teores de fibra com o índice de vazios das argamassas A3 ....	85
Gráfico 4.22- Absorção de água por capilaridade das argamassas A1 .....	88
Gráfico 4.23- Absorção de água por capilaridade das argamassas A2 .....	89
Gráfico 4.24- Absorção de água por capilaridade das argamassas A3 .....	90

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1.1- Propriedades características de matrizes cimentíceas e fibras .....	2
Tabela 3.1- Formulação das argamassas .....	41
Tabela 3.2- Conversão dos traços das argamassas .....	42
Tabela 3.3- Caracterização física do cimento Portland CP II F-32 .....	44
Tabela 3.4- Caracterização química do cimento Portland CP II F-32 .....	44
Tabela 3.5- Caracterização física da cal CH III .....	45
Tabela 3.6- Caracterização química da cal CH III .....	45
Tabela 3.7- Caracterização física da areia média .....	45
Tabela 3.8- Caracterização física da areia fina .....	45
Tabela 3.9- Composição granulométrica da areia média utilizando a NBR 7217 (1987) .....	46
Tabela 3.10- Composição granulométrica da areia média utilizando a BS 1200 (1976) .....	47
Tabela 3.11- Composição granulométrica da areia fina .....	48
Tabela 3.12- Caracterização das fibras utilizadas .....	49
Tabela 3.13- Relação água/cimento, água/aglomerante, água/materiais secos e cimento/materiais secos e índice de consistência médio das argamassas .....	49
Tabela 4.1- Resultados médios dos índices de consistência das argamassas A1 .....	57
Tabela 4.2- Resultados médios dos índices de consistência das argamassas A2 .....	57
Tabela 4.3- Resultados médios dos índices de consistência das argamassas A3 .....	58
Tabela 4.4- Variação do índice de consistência .....	60
Tabela 4.5- Resultados médios da retenção de água das argamassas A1 .....	61
Tabela 4.6- Resultados médios da retenção de água das argamassas A2 .....	61
Tabela 4.7- Resultados médios da retenção de água das argamassas A3 .....	61
Tabela 4.8- Variação da retenção de água .....	63
Tabela 4.9- Resultados semi-quantativos do ensaio de retração .....	66
Tabela 4.10- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A1 .....	69
Tabela 4.11- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A1 .....	69
Tabela 4.12- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A2 .....	69
Tabela 4.13- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco	

plástico das argamassas A2 .....	70
Tabela 4.14- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A3 .....	70
Tabela 4.15- Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A3 .....	70
Tabela 4.16- Variação da resistência à tração na flexão .....	70
Tabela 4.17- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A1 .....	72
Tabela 4.18- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1 .....	72
Tabela 4.19- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1 .....	73
Tabela 4.20- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A2 .....	73
Tabela 4.21- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2 .....	73
Tabela 4.22- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2 .....	73
Tabela 4.23- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A3 .....	74
Tabela 4.24- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3 .....	74
Tabela 4.25- Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3 .....	74
Tabela 4.26- Variação da resistência à compressão .....	77
Tabela 4.27- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A1 .....	80
Tabela 4.28- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A1 .....	81
Tabela 4.29- Resultados médios das massas específicas das argamassas A1 .....	81
Tabela 4.30- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A2 .....	81
Tabela 4.31- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A2 .....	81
Tabela 4.32- Resultados médios das massas específicas das argamassas A2 .....	82
Tabela 4.33- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A3 .....	82
Tabela 4.34- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A3 .....	82

Tabela 4.35- Resultados médios das massas específicas das argamassas A3 .....	83
Tabela 4.36- Variação da absorção por imersão .....	86
Tabela 4.37- Variação do índice de vazios .....	86
Tabela 4.38- Variação das massas específicas .....	86
Tabela 4.39- Correlação obtida no ensaio de absorção por capilaridade das argamassas A1	89
Tabela 4.40- Correlação obtida no ensaio de absorção por capilaridade das argamassas A2	89
Tabela 4.41- Correlação obtida no ensaio de absorção por capilaridade das argamassas A3	90
Tabela 4.42- Variação da absorção por capilaridade .....	90

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

---

cm	Centímetros
cm <sup>2</sup>	Centímetros quadrado
dm <sup>3</sup>	Decímetro cúbico
D <sub>Máx</sub>	Diâmetro máximo do agregado
D <sub>Mín</sub>	Diâmetro mínimo do agregado
f <sub>a/c</sub>	Relação água/cimento
f <sub>a/agl</sub>	Relação água/aglomerante
f <sub>agl/agregado</sub>	Relação aglomerante/agregado
f <sub>a/mat.secos</sub>	Relação água/materiais secos
f <sub>c/cal</sub>	Relação cimento/cal
f <sub>c/mat.secos</sub>	Relação cimento/materiais secos
g	Grama
GPa	Giga Pascal
hs	Horas
IC	Índice de consistência
kg	Quilograma
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
min	Minuto
mm	Milímetros
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
MPa	Mega Pascal
N	Newton
NaCl	Cloreto de sódio
n°	Número
ppm	Partes por milhão
seg	Segundos
ton	Tonelada
V	Volt
°C	Graus Celsius

$\%$	Porcentagem
$1^a$	Primeira
$2^a$	Segunda
$\text{II}$	Segundo
$\pm$	Mais ou menos
$\Omega$	Ohm
$<$	Menor
$\leq$	Menor ou igual

## LISTA DE SIGLAS

---

BRS	Building Research Station
BS	British Standard
CP	Cimento Portland
CH	Cal hidratada
LMCC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
MR	Méthode RILEM
NBR	Norma Brasileira
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires D' Essais Et Des Recherches Sur Les Matériaux Et Les Constuctions
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

A utilização de fibras na construção civil vem crescendo a cada ano. Uma das fibras mais utilizadas são as poliméricas devido às suas propriedades e seu baixo custo. O presente trabalho analisou a influência da adição de fibras de polipropileno em algumas das propriedades das argamassas. Utilizou-se uma argamassa de cimento (1:3 em volume) e duas argamassas de cimento-cal (1:0,5:4,5 e 1:2:9 em volume), com três diferentes teores de fibras (0,05%, 0,15% e 0,30%), além de argamassas de referência (sem fibra) como parâmetro comparativo. Os resultados encontrados mostram que as fibras proporcionam um aumento no índice de consistência e uma melhor coesão das argamassas. Elevam a retenção de água dos compósitos que não possuem cal na sua composição. Contribuem com a melhoria da estabilidade dimensional. Nas propriedades mecânicas (compressão e tração) influenciam de maneira favorável na forma de ruptura. Não apresentam influência na absorção de água por imersão, índice de vazios, massas específicas e absorção de água por capilaridade.

## **ABSTRACT**

The uses of fibers in building construction is growing every year. Fibers which are the most used are from polymeric type due to its properties and low cost. The present work analyzed the influence of the addition of polypropylene fibers in some of the properties of the mortars. It was used a cement mortar (1:3 volume per cent) and two cement-lime mortars (1:0,5:4,5 and 1:2:9 volume per cent), with three different fibers ratio (0.05%, 0.15% and 0.30%). A reference mortar (without fiber) was done as a comparative parameter. Results show that the fibers lead to a decrease of workability and consistency; however they provide a better cohesion of the mortars. Composites water retention increases only for the cement mortars. The addition of fibers contributes to the mortars dimensional stability. For the mechanical point of view, fibers influence in a favorable way the rupture form. There is no influence on water absorption, water porosity, specific weight and capillary absorption.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

A ciência e a tecnologia vem avançando de forma significativa no que se refere ao desenvolvimento de Novos Materiais para uso na construção civil. Dentre estes destacam-se os compósitos reforçados com fibras que têm como princípio básico a capacidade de melhorar as propriedades de uma matriz frágil.

Estes materiais são constituídos basicamente por fibras e pela matriz na qual as fibras são envolvidas. As matrizes mais empregadas são as consideradas matrizes frágeis (não apresentam deformação plástica), que podem ser pasta, argamassa ou concreto de cimento Portland ou outro aglomerante (cal ou gesso).

São diversos os tipos de fibras utilizadas, tendo as mesmas características bem diferenciadas, principalmente com relação as suas propriedades, eficiência e custo. Devido a estas diferenças existem algumas restrições no emprego das mesmas e, por tratar-se de um componente de reforço, é relevante conhecer-se suas características físicas e mecânicas para melhor empregá-las (Tabela 1.1).

Tabela 1.1- Propriedades características de matrizes cimentícias e fibras (traduzido e adaptado de HANNANT, 1994).

Material ou fibra	Peso específico (g/m <sup>3</sup> )	Diâmetro ou espessura (µm)	Comprimento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)	Volume na composição (%)
Matriz da argamassa	1,8 - 2,0	-	-	10 - 30	1 - 10	0,01 - 0,05	85 - 97
Matriz do concreto	1,8 - 2,4	-	-	20 - 40	1 - 4	0,01 - 0,02	97 - 99,5
Poliamidas (aramidas)	1,45	10 - 15	5 - contínuos	70 - 130	2.900	2 - 4	1 - 5
Amianto	2,55	0,02 - 30	5 - 40	164	200 - 1.800	2 - 3	5 - 15
Carbano	1,16 - 1,95	7 - 18	3 - contínuos	30 - 390	600 - 2.700	0,5 - 2,4	3 - 5
Celulose	1,5	20 - 120	0,5 - 5,0	10 - 50	300 - 1.000	20	5 - 15
Vidro	2,7	12,5	10 - 50	70	600 - 2.500	3,6	3 - 7
Poliacrilonitrila (PAN)	1,16	13 - 104	6	17 - 20	900 - 1.000	8 - 11	2 - 10
Polietileno Comum	0,91 - 0,97	1 - 20	1	-	-	-	3 - 7
Filamento de alta densidade	0,96	900	3 - 5	5	200	-	2 - 4
Módulo elevado	0,96	20 - 50	contínuos	10 - 30	> 400	> 4	5 - 10
Polipropileno Monofilamento	0,91	20 - 100	5 - 20	4	-	-	0,1 - 0,2
Multifibrilada	0,91	20 - 100	5 - 20	5	300 - 500	10	0,1 - 0,2
Redes contínuas	0,91 - 0,93	20 - 100	contínuos	5 - 15	300 - 500	10	5 - 10
Álcool polivinílico (PVA, PVOH)	1 - 3	3 - 8	2 - 6	12 - 40	700 - 1.500	-	2 - 3
Aço	7,86	100 - 600	10 - 60	200	700 - 2.000	3 - 5	0,5 - 2,0

Nos compósitos a base de aglomerantes hidráulicos as fibras atuam como reforço dos mesmos, intencionando sempre uma melhoria nas suas propriedades. Esta atuação divide-se em:

- Reforço primário: neste caso o volume de fibras deve ser tal que possibilite um aumento da capacidade resistente do compósito após o início do aparecimento da fissuração (TANESI e FIGUEIREDO, 1999), ou seja, as fibras necessariamente devem exceder o seu volume crítico\*;
- Reforço secundário: o volume de fibras utilizado é bem inferior ao seu volume crítico, geralmente, entre 0,1 e 0,3%. Neste caso, o seu emprego visa principalmente o controle da fissuração, devido a retração, nas primeiras horas após o lançamento do compósito (TANESI e AGOPYAN, 1997).

Segundo TAYLOR (1994) e PINTO Jr. e BINA (1996), o mecanismo de reforço das fibras depende basicamente do (a):

- Teor de fibra: um alto teor de fibra resulta em uma maior resistência pós-fissuração e menor dimensão das fissuras;
- Resistência aos esforços: a fibra deve ser mais resistente que a matriz, onde ao aumentar-se a sua resistência, aumenta-se também, a ductilidade do compósito, garantindo assim que não ocorra a ruptura das ligações de aderência. A resistência necessária às fibras dependerá das características pós-fissuração, do teor utilizado e das propriedades de aderência fibra/matriz;
- Alongamento da fibra: a mesma deve ter capacidade de resistir a deformações muito superiores do que as aceitas pela matriz;

\*considerado como sendo aquele para o qual a capacidade resistente do compósito fissurado é a mesma da matriz.

- Módulo de elasticidade e relação de Poisson: quanto maior é o módulo de elasticidade das fibras maior será o esforço que o elemento suporta sob carga, porém se o módulo de elasticidade é baixo ocorrerá um maior atrito nas mesmas e, portanto, a aderência é maior. Quando o módulo de Poisson é maior na fibra ela tenderá a desprender-se da matriz, perdendo aderência;
- Resistência à força cortante: pela aderência entre materiais é possível a transferência de cargas da matriz para as fibras e vice-versa, sendo assim, a geometria da fibra torna-se um fator relevante;
- Aderência fibra/matriz: as características de resistência, deformação e padrões de ruptura de uma grande variedade de compósitos cimentados reforçados com fibras, dependem fundamentalmente da aderência fibra/matriz. Uma alta aderência entre a fibra e a matriz reduz as dimensões da fissura e melhora a sua distribuição pelo compósito;
- Elasticidade: em um elemento sob carga a fibra não é elástica e, portanto, estará mais sujeita à fluência com cargas baixas, ocorrendo, assim, perda do reforço com o tempo;
- Relação dimensional: deve-se considerar o comprimento de equilíbrio de esforços, pela cortante, pela aderência e pela tensão nas fibras. Desta forma, o esforço máximo de reforço alcançado pela fibra depende diretamente da relação comprimento/diâmetro. Quanto maior o comprimento das fibras, menor será a possibilidade de arrancamento das mesmas. Para uma dada tensão de cisalhamento superficial aplicada à fibra, esta será melhor utilizada se o seu comprimento for suficiente para permitir que a tensão cisalhante desenvolva uma tensão de tração igual a sua resistência à tração;
- Forma e textura da fibra: a aderência é função direta destas características da fibra.

O desempenho dos componentes de matrizes cimentícias é muito influenciado pelos processos de produção, controle da qualidade e a forma como o material é lançado, vibrado e curado (TANESI e AGOPYAN, 1997).

No caso específico dos compósitos reforçados com fibras estes aspectos são ainda mais críticos, onde, torna-se relevante verificar a compatibilidade da fibra com os materiais componentes da matriz, sua resistência química, as condições do meio ambiente a que o compósito vai estar exposto, a durabilidade esperada, entre outros (PINTO Jr. e BINA, 1996).

Para estes compósitos as suas propriedades e o seu comportamento não dependem apenas das características das fibras e da matriz, mas também da orientação e dispersão das fibras (TANESI e AGOPYAN, 1997).

“Apesar de existirem normas americanas e japonesas, além de recomendações da RILEM, os compósitos reforçados com fibras ainda não possuem métodos de ensaio mundialmente aceitos para o seu controle (MORGAN et al., 1995). Não existe consenso para a avaliação da sua capacidade portante pós-fissuração ou tenacidade, tão pouco para avaliar a fissuração por retração restringida. Outra grande limitação consiste no fato de não haver uma metodologia de dosagem das fibras. No caso específico das fibras de polipropileno, nos últimos anos foram propostas inúmeras metodologias para a avaliação do seu potencial de controle de fissuração (COUTINHO, 1954; KRAAL, 1985; SHAELES; HOVER, 1988; GRZYBOWSHI; SHAH, 1990). No entanto esses procedimentos partem de princípios distintos, evidenciando a ausência de consenso entre os pesquisadores que dedicam-se a este tema.” (TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

Neste contexto, dá-se ênfase às argamassas reforçadas com fibras, pois são estas que contribuem de forma discreta mas significativa para um bom desempenho e durabilidade das edificações; além de permitirem novas e inovadoras formulações.

A referente pesquisa abordou basicamente as argamassas de assentamento e revestimento, reforçadas com adições de fibras de polipropileno, consideradas fibras de fácil aquisição e baixo custo e que possuem características e propriedades inerentes que contribuem de forma significativa para o seu uso na construção civil.

## **1.2 Justificativa e relevância da pesquisa**

Atualmente grande parte dos problemas patológicos existentes na construção civil estão relacionados aos materiais que são empregados nas edificações. Devido a isto, torna-se cada vez mais necessário estudos que contribuam de forma significativa para um maior conhecimento das propriedades físicas e mecânicas destes materiais, e conseqüentemente uma melhor aplicação e desempenho dos mesmos, pois o conhecimento adequado dessas propriedades permite a construção de edificações mais econômicas e seguras. A utilização de fibras em argamassas busca a redução destes problemas patológicos que são cada vez mais freqüentes nas edificações.

## **1.3 Objetivo geral**

Estudar o efeito da adição de diferentes teores de fibras de polipropileno nas principais características físicas e mecânicas das argamassas.

## **1.4 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos da referente pesquisa foram:

- Caracterizar as argamassas reforçadas através dos seguintes ensaios:

Índice de consistência;

Retenção de água;

Retração;

Resistência à tração na flexão;

Resistência à compressão;

Absorção de água por imersão – massa específica e índice de vazios;

Absorção de água por capilaridade;

- Mostrar a influência da fibra nas propriedades das argamassas.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho foi estruturado em cinco capítulos:

O Capítulo 1 corresponde a Introdução, com descrição do problema, da justificativa e dos objetivos da pesquisa.

No Capítulo 2 encontra-se a Revisão Bibliográfica referente às propriedades físicas e mecânicas das argamassas de assentamento e revestimento, as características das fibras empregadas e algumas propriedades dos materiais compósitos.

O Capítulo 3 aborda o Estudo Experimental. Neste encontra-se toda a metodologia desenvolvida e utilizada na pesquisa.

No Capítulo 4 descrevem-se a Apresentação e Análise dos resultados. Neste capítulo são apresentados todos os resultados e análises do estudo experimental.

As Conclusões e Recomendações são mostradas no Capítulo 5.

Logo após o Capítulo 5 encontram-se as Referências Bibliográficas e os Anexos.

## CAPÍTULO 2

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Considerações iniciais

O emprego de fibras na indústria da construção civil vem crescendo nas últimas décadas. São diversos os tipos de fibras existentes no mercado, com as mais diferentes características e funções. Contudo, apesar da grande gama de fibras já utilizadas na construção civil, neste capítulo e em todo o trabalho, dá-se ênfase às fibras de polipropileno.

Na indústria da construção civil as fibras são utilizadas geralmente em materiais a base de cimento, como concretos e argamassas, onde sua função principal é reforçar as matrizes mais frágeis e conseqüentemente melhorar o desempenho dos compósitos.

No decorrer deste capítulo apresenta-se uma revisão da literatura sobre as argamassas, onde se aborda alguns conceitos, definições, características e propriedades, além das fibras de polipropileno e os materiais compósitos considerados relevantes para o entendimento da pesquisa.

### 2.2 Argamassa

#### 2.2.1 Definição

São diversos os tipos de argamassas empregadas na construção civil. Em geral, pode-se definir a argamassa como uma mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água, além de outros materiais a fim de melhorar determinadas propriedades. Porém, quando se

trata de uma argamassa industrializada está é definida como um produto proveniente da dosagem controlada, em instalação própria, de aglomerantes de origem mineral, agregado(s) miúdo(s) e, eventualmente, aditivo(s) e adição(ões) em estado seco e homogêneo, ao qual o usuário somente necessita adicionar a quantidade de água requerida (NBR 13281, 1995).

### **2.2.2 Funções e características**

As argamassas de cimento e areia ou cimento, cal e areia são utilizadas em múltiplas aplicações nas construções. Sua composição e espessura quando da sua aplicação são muito variáveis (FIORITO, 1994).

A eficiência de uma argamassa, depende da qualidade dos materiais que a compõem, assim como da aplicação de traços apropriados para cada serviço específico (RIPPER, 1995). O mau uso das argamassas, em obra, ocasiona desempenhos ruins a curto e longo prazo, gerando manutenções contínuas e onerosas (PINTO, 1996).

As argamassas em geral são empregadas como argamassas de assentamento ou argamassas de revestimento, destacando-se ainda as argamassa de grauteamento e rejuntas.

#### **2.2.2.1 Argamassa de assentamento**

No uso para assentamento de paredes de alvenaria, segundo a BS 5628 (1985), a argamassa tem a função de:

- Unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;

- Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

Para obter um bom desempenho a mesma deve apresentar as seguintes características (SABBATINI, 1986):

- Trabalhabilidade;
- Capacidade de retenção de água;
- Resistência inicial;
- Aderência adequada ao substrato;
- Durabilidade;
- Resistência suficiente para acomodar todas as deformações sem que ocorram fissuras.

#### **2.2.2.2 Argamassa de revestimento**

Quando empregadas como revestimento, as argamassas podem simplesmente exercer a função de cobrir as irregularidades da parede e ser parte constituinte do acabamento estético da edificação, como pode ainda, contribuir para as exigências de segurança e habitabilidade. Sendo assim as funções do revestimento podem ser caracterizadas da seguinte forma (CINCOTTO *et alli*, 1995):

- O revestimento deve apresentar estabilidade mecânica e dimensional (resistência à tração, compressão, impacto e abrasão) e resistência ao fogo;
- Deve contribuir para a estanqueidade da parede, constituindo-se em uma barreira à penetração de água;

- Deve contribuir para o conforto higrotérmico e acústico do ambiente;
- Deve ser aplicado verificando-se a contribuição da base para o desempenho do conjunto;
- Deve possuir compatibilidade entre seus materiais constituintes e os materiais da base de aplicação.

### **2.2.3 Principais propriedades**

Pode-se dizer basicamente que, as argamassas necessitam das mesmas propriedades para obterem um bom desempenho quando do seu uso. Sendo assim, a seguir destacam-se as propriedades necessárias às argamassas de assentamento e revestimento, abrangendo a caracterização das mesmas.

#### **2.2.3.1 Propriedades no estado fresco**

##### **2.2.3.1.1 Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade pode ser considerada como uma propriedade subjetiva das argamassas. Não existe uma trabalhabilidade padrão a ser utilizada tanto no assentamento quanto no revestimento da alvenaria. A RILEM MR 3 (1982) prescreve que a trabalhabilidade é caracterizada basicamente pela consistência e plasticidade das argamassas.

Pode-se considerar que uma argamassa possui boa trabalhabilidade quando a mesma espalha-se facilmente sobre o substrato e adere à sua superfície, e ainda no caso das argamassas de revestimento quando proporciona facilidade no seu acabamento final.

Segundo ROMAN *et alli* (1999), uma boa trabalhabilidade das argamassas depende da combinação de diversos fatores como a qualidade dos agregados e dos aglomerantes, quantidade

de água utilizada na mistura, consistência, capacidade de retenção de água da argamassa, tempo decorrido da preparação da argamassa, adesão, fluidez e massa.

Outro fator importante a ser considerado nesta propriedade são as características granulométricas das areias: coeficiente de uniformidade, módulo de finura e forma dos grãos (TRISTÃO, 1995).

#### **2.2.3.1.2 Consistência e retenção de consistência**

Atualmente a consistência é a principal propriedade usada no controle da quantidade de água das argamassas. A consistência é a propriedade da argamassa pela qual esta tende a resistir à deformação e, ao manter-se esta consistência ao longo do tempo, tende também a manter esta resistência durante todo o período de aplicação.

A quantidade de água adicionada à argamassa é o principal fator que influi nesta propriedade, onde se pode citar a relação água/aglomerante, relação aglomerante/agregado, granulometria do agregado e natureza e qualidade do aglomerante (CINCOTTO *et alli*, 1995).

De acordo com a consistência, as argamassas classificam-se qualitativamente em (CINCOTTO *et alli*, 1995):

- Argamassas secas: são aquelas às quais é necessário a aplicação de uma energia para conformá-las em sua forma final;
- Argamassas plásticas: argamassas que com a aplicação de um pequeno esforço atingem a sua forma final;
- Argamassas fluidas: são as argamassas que escorrem e se auto-nivelam, dispensando qualquer esforço, além da força de gravidade, para a sua aplicação.

A retenção de consistência é definida como a propriedade da argamassa de manter sua consistência após entrar em contato com um substrato. Esta propriedade é de fundamental importância para as argamassas de assentamento de alvenarias e peças cerâmicas de revestimento, e depende basicamente da boa retenção de água das argamassas.

#### **2.2.3.1.3 Coesão e tixotropia**

A coesão de uma argamassa pode ser definida como sendo a propriedade da argamassa de manter seus constituintes homogêneos sem haver segregação, por intermédio das forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e às ligações químicas da pasta aglomerante (CINCOTTO *et alli*, 1995).

As argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias devem possuir uma boa coesão. Para tanto, necessitam de adições especiais e aglomerantes adequados. Apesar da existência de diversos aditivos, o uso da cal hidratada ainda é a forma mais utilizada de se conseguir esta propriedade.

Segundo CINCOTTO *et alli* (1995), a cal proporciona a coesão interna da argamassa, por meio da redução da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão ao agregado; além de influenciar na trabalhabilidade, consistência e estabilidade plástica das argamassas.

A tixotropia também é uma propriedade relacionada à coesão. Pode-se defini-la como sendo uma mudança da viscosidade quando se promove a agitação da massa, provocando a passagem do estado sólido, ou de pasta, para o gel (CALHAU, 2000). No caso das argamassas o estado de gel diz respeito à massa coesiva de aglomerante na pasta, que torna-se mais densa após a hidratação (CINCOTTO *et alli*, 1995).

A tixotropia é exigida, por exemplo, em argamassa de assentamento de peças cerâmicas e argamassas de recuperação. As argamassas tixotrópicas exigem uma baixa energia para alterarem sua forma, mas uma vez alterada conseguem mantê-la mesmo sob a ação da gravidade. Para consegui-las pode-se fazer uso de aditivos a base de polímeros e adições minerais tais como cinza volante, microssílica e cinza de casca de arroz.

#### **2.2.3.1.4 Plasticidade**

A plasticidade é a propriedade que permite à argamassa deformar-se e reter certas deformações após a redução das tensões a que a mesma foi submetida. Juntamente com a consistência é a propriedade que caracteriza a trabalhabilidade.

A plasticidade é influenciada basicamente pelo teor de ar, natureza e teor do aglomerante e pela intensidade de mistura das argamassas (CINCOTTO *et alli*, 1995). Na verdade, a plasticidade de uma argamassa está diretamente ligada a sua consistência, coesão e retenção de água.

#### **2.2.3.1.5 Retenção de água**

"A retenção de água é a capacidade da argamassa no estado fresco manter sua consistência quando submetida a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação, sucção ou absorção por uma superfície" (TRISTÃO, 1995), ou, simplesmente, a capacidade que as argamassas possuem em reter água contra a sucção do substrato.

A retenção de água determina as condições de manuseio das argamassas e influencia nas propriedades das mesmas no estado endurecido, como retração por secagem, aderência e resistência mecânica final, na medida em que determina as condições de hidratação do cimento e carbonatação da cal, que são os responsáveis pelo endurecimento das argamassas mistas de cal e cimento.

A capacidade de retenção de água das argamassas varia em função do potencial de absorção do substrato, podendo ser ainda influenciada pela:

- Área específica dos materiais constituintes;
- Maturação prévia das argamassas de cal (período em que a pasta ou argamassa de cal é deixada em repouso antes da aplicação);
- Natureza da cal, onde as cales dolomíticas apresentam melhores características que as cales calcíticas (CINCOTTO *et alli*, 1995);
- Relação cal/cimento no traço;
- Relação agregado/aglomerante do traço.

Devido a sua área específica os aglomerantes destacam-se como os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água das argamassas.

As argamassas que possuem elevada retenção de água permitem a hidratação do cimento sem perder a sua plasticidade, enquanto que as argamassas com baixa retenção de água dificultam o manuseio e podem ocasionar a expansão do substrato (MÜLLER *et alli*, 1999).

#### **2.2.3.1.6 Massa específica**

Este item aborda a massa específica absoluta, massa específica aparente e massa unitária, definidas como sendo:

- Massa específica absoluta: relação entre a massa de material sólido no vácuo e o volume à uma temperatura estabelecida, em que não se considera os vazios;

- Massa específica aparente: relação entre a massa de material sólido no vácuo e o volume a uma temperatura estabelecida, onde considera-se os vazios impermeáveis;
- Massa unitária: massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária, valor utilizado para a conversão de quantidades expressas em massa para quantidades expressas em volumes.

Os vazios presentes na argamassa são, na realidade, ar incorporado ou aprisionado, durante o processo de mistura e aplicação, ou ainda espaços deixados após a evaporação do excesso de água (vazios capilares). O teor de ar tem influência sobre a trabalhabilidade e a resistência de aderência dos revestimentos, limitando-se assim o uso de aditivos de incorporadores de ar.

#### **2.2.3.1.7 Exudação de água**

A exudação de água resume-se ao fenômeno de separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca mantida em repouso sem qualquer tipo de vibrações ou choques.

Geralmente a exudação ocorre em argamassas de consistência plástica à fluida. Esta propriedade interfere na trabalhabilidade das argamassas, pois exige constantemente a remistura para a homogeneização das mesmas e segundo SELMO (1989) apud TRISTÃO (1995) pode interferir na adesão quando lançadas contra o substrato.

#### **2.2.3.1.8 Adesão inicial**

Pode ser definida como sendo a propriedade que a argamassa no estado fresco possui de permanecer adequadamente unida ao substrato de aplicação após o seu lançamento.

A adesão inicial é a propriedade que caracterizará o comportamento futuro do conjunto substrato/argamassa quanto ao desempenho decorrente da aderência, ou seja, esta propriedade tem ligação direta com a aderência que a argamassa terá ao substrato no estado endurecido.

A adesão inicial depende basicamente da trabalhabilidade das argamassas, da porosidade ou rugosidade do substrato ou até mesmo de um tratamento prévio que proporcione o aumento da superfície de contato entre os materiais.

### **2.2.3.1.9 Tempo de endurecimento**

O tempo de endurecimento das argamassas depende da hidratação do cimento, ou seja, da reação química entre o cimento e a água. Se o início do enrijecimento ocorrer de maneira antecipada, provocará problemas no assentamento ou acabamento do revestimento das alvenarias, se retardar muito, causará atraso na construção. Temperaturas muito altas tendem a acelerar o endurecimento das argamassas e as temperaturas baixas provocam o seu retardamento (ROMAN *et alli*, 1999).

### **2.2.3.2 Propriedades no estado endurecido**

#### **2.2.3.2.1 Resistência mecânica**

Após o seu endurecimento, independente do tipo de aplicação, as argamassas sempre serão submetida a algum tipo de esforço mecânico. As argamassas de assentamento são solicitadas à compressão e as de revestimento à abrasão superficial, impacto, tensões de cisalhamento decorrentes de movimentações do substrato e variações térmicas/higrométricas.

O tipo e o teor de aglomerantes empregados nas argamassas são fatores fundamentais para determinar a resistência à compressão das mesmas. Quando das misturas convencionais utiliza-

se o cimento Portland, considerado o principal responsável na garantia desta propriedade. Contudo, misturas muito ricas em cimento provocam o aumento da retração hidráulica, além da redução da capacidade do material absorver pequenas deformações sem que ocorra fissuração.

As propriedades mecânicas da argamassa são muito importantes para a resistência à compressão da alvenaria, uma vez que o mecanismo de ruptura da parede está diretamente ligado à interação junta/unidade (ROMAN, 1991).

A argamassa deve ser resistente o suficiente para suportar os esforços a que a parede será submetida. É importante ressaltar que uma grande resistência à compressão da argamassa não implica necessariamente em uma parede mais resistente, ou seja, em uma melhor solução estrutural (ROMAN *et alli*, 1999).

A resistência ao desgaste superficial ou à abrasão, características relacionadas às argamassas de revestimento, é influenciada pelo teor de cimento e pela natureza e granulometria da areia.

Com relação às movimentações térmicas as mesmas ocorrem devido às oscilações da temperatura ambiente e à radiação solar incidente sobre os revestimentos externos. As tensões geradas pelas movimentações térmicas podem ser de compressão ou tração, conforme o movimento seja de expansão ou de retração (CINCOTTO *et alli*, 1995).

#### **2.2.3.2 Resiliência ou elasticidade**

A resiliência representa a capacidade da argamassa em deformar-se sem que isto gere tensões importantes no material, ou seja, a capacidade das argamassas de deformar-se sem que ocorra ruptura, retornando às suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhe foram impostas.

As argamassas devem apresentar esta propriedade na maioria das suas aplicações, sendo esta de fundamental importância para as argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias.

A elasticidade é a propriedade que determina a ocorrência de fissuras e conseqüentemente, influi na aderência ao substrato, estanqueidade da superfície e durabilidade da edificação.

### **2.2.3.2.3 Retração**

A retração é um processo sofrido pelas argamassas principalmente nas primeiras idades. A retração que ocorre ainda com as argamassas no estado fresco é uma questão de contração volumétrica do material pela saída da água utilizada na mistura. Já no estado endurecido a retração ocorre logo após o endurecimento da argamassa, resultante da reação química dos aglomerantes (cal hidratada e cimento Portland) e da remoção da água adsorvida nos produtos de hidratação, durante o processo de secagem (KOPSCHITZ *et alli*, 1997).

Segundo SÁNCHEZ e BARRIOS (1997), a retração é um fenômeno que tem duas origens bem diferenciadas, que dão lugar a dois tipos de retração:

- Retração térmica: a hidratação dos compostos anidros do cimento é uma reação exotérmica que eleva a temperatura das argamassas, onde o esfriamento das mesmas dá origem a retração térmica;
- Retração hidráulica ou por secagem: a perda da água de amassamento por evaporação nas argamassas ocorre desde o momento em que se encontra permanentemente em um ambiente com umidade relativa inferior a 100%. Parte desta água encontra-se nos poros e quando evaporada origina uma pressão negativa que causa a retração.

THOMAZ (1989) ainda ressalta dois tipos de retração com o produto no estado endurecido:

- Retração química (endógena);
- Retração por carbonatação.

AÏTCIN (2000) ainda prescreve que a retração por secagem ocorre através da perda de água de amassamento na argamassa ainda no estado fresco e a retração hidráulica quando a argamassa já encontra-se no estado endurecido.

Outro tipo de retração provém da evaporação da água durante a pega ou da percolação da água de regiões mais pressionadas para regiões menos pressionadas. A chamada retração plástica explica o adensamento das juntas de argamassa de uma alvenaria recém-construída e a exudação de água num concreto recém vibrado (THOMAZ, 1989).

A retração influencia de forma significativa quanto a estanqueidade e durabilidade dos revestimentos. Os fatores que afetam a retração das argamassas são o teor de aglomerante, o volume de água, a granulometria dos agregados e as condições ambientais.

Outro fator relevante à retração está relacionado as condições de cura. Se a evaporação da água iniciar-se antes do término da pega do aglomerante, a retração poderá ser acentuadamente elevada. O concreto ou a argamassa quando mantidos a uma umidade relativa do ar constante, apresentam uma retração bem mais acelerada nas primeiras idades, atingindo-se cerca de 50% da retração total com apenas sete dias de condicionamento (THOMAZ, 1989).

Segundo BORTOLUZZO *et alli* (1999), os traços mais ricos em cimento apresentam valores maiores de retração.

"A relação água/cimento é o fator mais influente na retração, mais que a própria influência do consumo de cimento. Além dos todos os fatores internos à massa, citados anteriormente, de acordo com o BRS (1970) a forma geométrica da peça influi sensivelmente na grandeza da retração. Quanto maior a relação área exposta da peça/volume da peça, maior a retração a ser desenvolvida." (THOMAZ, 1989).

Nas argamassas de revestimento além dos fatores intrínsecos, fatores como aderência com a base, número de camadas aplicadas, espessura das camadas, tempo decorrido entre a aplicação de uma e outra camada, rápida perda de água durante o processo de endurecimento por ação intensiva de ventilação e/ou insolação, entre outros, podem ocasionar a retração (THOMAZ, 1989).

#### **2.2.3.2.4 Aderência**

A resistência de aderência é a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se, ou seja, a capacidade de uma argamassa fixar-se no substrato onde é aplicada.

Logo que a argamassa entra em contato com o substrato existe a migração de água de um material para outro, levando materiais cimentícios. Este material ao hidratar-se fixa-se nos poros superficiais do substrato promovendo a aderência da argamassa.

Autores como CINCOTTO *et alli* (1995) e ROMAN *et alli* (1999), relatam que a aderência é significativamente influenciada pelas características e condições do substrato - rugosidade, porosidade, absorção de água, resistência mecânica e textura superficial; tipo de aglomerante empregado; granulometria dos agregados; adesão inicial; retenção de água; consistência; conteúdo de ar das argamassas; mão de obra; temperatura e umidade relativa.

As argamassas mistas (cimento e cal), em geral, devido à sua plasticidade e retenção de água, permitem o preenchimento das irregularidades da base repercutindo de forma favorável sobre a aderência.

Autores como ROCHA e OLIVEIRA (1999); CARASEK (1997) e PEREIRA *et alli* (1999), concluem que o teor de cimento influencia na resistência de aderência das argamassas, ou seja, à medida em que se aumenta o consumo de cimento obtém-se maiores valores na resistência de aderência.

Em estudos realizados CARASEK (1997) e PEREIRA *et alli* (1999) concluíram que o umedecimento do substrato cerâmico não contribui para o ganho na resistência de aderência das argamassas. Contudo, PEREIRA *et alli* (1999) acredita que a cura do revestimento influi largamente.

#### **2.2.3.2.5 Permeabilidade**

É a propriedade de um material de se deixar atravessar por líquidos e gases, onde a argamassa já no estado endurecido permite-se a penetração de água por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água.

A permeabilidade de uma argamassa depende basicamente da quantidade e do tipo de aglomerante utilizado, da granulometria do agregado e das características do substrato. Onde o cimento Portland, quando usado em proporções adequadas, pode reduzir bastante a permeabilidade de um revestimento argamassado, porém se usado em teores muito altos pode provocar a fissuração por retração hidráulica comprometendo assim a permeabilidade da argamassa.

## **2.2.4 Durabilidade**

A durabilidade das argamassas resume-se à ação conjunta de uma série de propriedades e fatores externos que caracterizam a capacidade das argamassas em desempenharem as funções, para as quais foram especificadas, ao longo da vida útil da edificação.

Segundo SABBATINI (1986), as argamassas podem ter a sua integridade comprometida por uma série de fatores dentre os quais pode-se citar a retração por secagem, absorção de água de chuva, temperaturas de congelamento, choque térmico, agentes corrosivos atmosféricos e agentes agressivos biológicos.

## **2.3 Fibras de polipropileno**

### **2.3.1 Definição e produção**

O polipropileno é um termoplástico, derivado do monômero propileno ( $C_3H_6$ ), obtido pelo craqueamento do petróleo, através da síntese de elementos orgânicos. Este polímero é composto por cadeias longas de alto peso molecular e desenvolvimento helicoidal (TANESI e AGOPYAN, 1997).

Esta característica pode explicar a grande flexibilidade e tenacidade das fibras de polipropileno, além de proporcionar um aumento substancial de resistência ao impacto nos materiais a que estão incorporadas (TAYLOR, 1994).

Quando da produção das fibras de polipropileno as mesmas encontram-se mais facilmente produzidas na forma cristalina, devido ao arranjo atômico regular da macromolécula, onde passam por um processo de extrusão estirada, como mostra a Figura 2.1, o qual gera a orientação

em paralelo das cadeias de moléculas, aumentando assim a sua resistência longitudinal, porém reduzindo-a na direção transversal (BENTUR e MINDESS, 1990).



Figura 2.1– Processo de extrusão estirada das fibras de polipropileno.

As fibras de polipropileno podem ser produzidas na forma de monofilamentos, fitas e filmes, os quais podem ser fibrilados como finas fibrilas em malha de estrutura de seção retangular. A cor da fibra de polipropileno pode variar de acordo com o pigmento que for utilizado quando da sua produção.

### 2.3.2 Propriedades características

As fibras de polipropileno possuem superfície hidrófuga, ou seja, não absorvem a água utilizada na produção dos compósitos. Desta forma, evita-se a ocorrência de um dos problemas geralmente causados pelas fibras vegetais, fibras estas que ao absorverem a água adicionada ao compósito aumentam de volume e depois com a evaporação e/ou consumo desta água pela matriz para a hidratação do cimento passa a existir um vazio na interface fibra/matriz, prejudicando assim o bom desempenho do compósito. Porém, segundo BENTUR e MINDESS

(1990), esta superfície hidrófuga diminui a aderência em compósitos de cimento, a qual pode ser compensada com um tratamento da superfície ou a utilização de fibras fibriladas.

As principais características das fibras de polipropileno são:

- Massa específica de 0,91 a 0,97 g/cm<sup>3</sup> (HOLLAWAY, 1994), valor este relativamente baixo quando já comparado ao das fibras de aço, vidro, carbono e amianto (ver Tabela 1.1);
- Alto ponto de fusão (165°C) se comparadas com outros polímeros, podendo ser utilizadas à temperaturas acima de 100°C durante curtos períodos de tempo, pois tendem a encolher (SARVARANTA e MIKKOLA, 1994);
- São quimicamente inertes quando em contato com ambientes alcalinos (BENTUR e MINDESS, 1990);
- O módulo de elasticidade da fibra comum varia de 4 a 15 GPa (HOLLAWAY, 1994), valor este bem inferior aos apresentados pelas demais fibras, quando comparadas com os outros plásticos (ver Tabela 1.1);
- Apresentam resistência à tração entre 300 e 500 MPa (HOLLAWAY, 1994), valores estes inferiores aos das principais fibras utilizadas no reforço de matrizes cimentícias;
- Possuem um alongamento na ruptura de 10% (HOLLAWAY, 1994), enquanto as fibras de aço apresentam um alongamento de 3 - 5% (ver Tabela 1.1);
- Material combustível, pois deixam uma porosidade adicional nos compósitos de cimento submetidos a altas temperaturas (BENTUR e MINDESS, 1990);

- Apresentam sensibilidade à radiação ultravioleta (PUTERMAN, 1989), a qual favorece sua oxidação, porém, segundo HANNANT *et alli* (1983) apud TANESI e AGOPYAN (1997), a matriz a base de cimento pode proteger as fibras;
- Trata-se de um material não magnético e não condutor elétrico (BENTUR e MINDESS, 1990).

As fibras de polipropileno quando longas podem ser utilizadas na produção de placas. As malhas de fibras devem ser embebidas na pasta de cimento a qual deve penetrar por entre as fibras e cobri-las. O contato fibra-fibra deve ser evitado, com o intuito de obter-se um produto mais homogêneo, além de eliminar a ocorrência do cisalhamento entre as várias camadas. Quando curtas as fibras podem ser dispersas aleatoriamente ou em uma orientação pré-definida. Para teores considerados altos (0,5% a 2% em volume) pode-se fazer uso de misturadores convencionais (BENTUR e MINDESS, 1990), contudo, deve-se dispensar alguns cuidados com relação ao aumento do teor de ar incorporado e perda da trabalhabilidade (BALAGURU e SHAH, 1992 apud TANESI e AGOPYAN, 1997).

O módulo de elasticidade da fibra é importante no sentido de proporcionar maior rigidez e permitir um maior controle da propagação das fissuras. As que possuem baixo módulo de elasticidade, como as de polipropileno, irão permitir um maior nível de abertura de fissuras que uma de alto módulo de elasticidade, para um mesmo nível de carregamento do conjunto fibra-matriz. As de baixo módulo ainda promovem um reforço mais eficiente da matriz nas primeiras horas após o lançamento do compósito, devido a matriz apresentar-se ainda no estado fresco, com baixa resistência e módulo de elasticidade (TANESI e AGOPYAN, 1997).

Um fator relevante a ser comentado é que o melhor desempenho do compósito não depende apenas das características das fibras, pois aumentos na resistência à tração, deformação

específica e ductilidade podem ser alcançados por meio de um adequado proporcionamento de agregados (no caso de concretos e argamassas), da relação água/cimento e das adições (SAVASTANO Jr. *et alli*, 1994).

TANESI *et alli* (1997) afirmam que é de grande importância a dosagem racional da fibra sem recorrer a proporções únicas, definidas independentemente da aplicação. É fundamental que se especifique o método de ensaio e os parâmetros para a definição do teor de fibras necessário para um dado desempenho.

Uma das principais vantagens atribuídas ao uso de fibras de polipropileno é consequência das mesmas não estarem sujeitas à corrosão, além de resistirem ao ataque químico em meio alcalino. Portanto, não comprometem o desempenho do compósito ao longo da vida útil da edificação. Contudo, a mesma pode ser comprometida quando ocorre a oxidação das fibras, por intermédio de altas temperaturas e efeito dos raios ultra violeta (TANESI e AGOPYAN, 1997).

O uso de fibras, em particular as fibras de polipropileno, têm aumentado nos últimos anos em concretos, ressaltando principalmente seu controle na fissuração por retração e a sua tenacidade (ALHOZAIMY *et alli*, 1996), características que serão discutidas ainda neste capítulo.

## **2.4 Materiais compósitos**

Os materiais compósitos podem ser definidos como a mistura de dois ou mais materiais diferentes com características inferiores as do material resultante (BUDINSKI, 1996). Estes compósitos são basicamente constituídos por uma matriz (concretos, argamassas e gesso) e um elemento de reforço (por exemplo as fibras).

JOHNSTON (1992) afirma que, em geral, as fibras adicionadas à uma matriz cimentícia proporcionam dois efeitos importantes. Primeiramente, as fibras tendem a reforçar o compósito

sobre todas as formas de carregamento que induzem à tensões de tração, ou seja, à tração indireta, flexão e cisalhamento e, secundariamente, tendem a melhorar a ductilidade e a tenacidade de uma matriz com características frágeis.

Segundo TAYLOR (1994), os materiais compósitos fibrosos desenvolvem o seu maior potencial no estado pós-fissuração, onde as fibras contribuem de forma mais efetiva na resistência do material, aumentando a capacidade de absorção de energia do mesmo. Acredita-se que as fibras mantêm as interfaces das suas fissuras juntas, aumentando a ductilidade destes materiais. Isto deve-se ao fato de que a deformação necessária para causar fissuras na matriz cimentícia é muito inferior a elongação das fibras. Como as fibras poliméricas, geralmente, possuem um módulo de elasticidade inferior ao da matriz cimentícia e, portanto, não se espera um aumento de tensão de fissuração, o mesmo autor acredita que, para ocorrer um aumento na resistência pré-fissuração do compósito, é necessário fazer-se uso de uma fibra mais resistente (com maior módulo) que a matriz, bem como a aderência do reforço com a matriz deve ser suficiente para impedir os movimentos relativos entre as partes. As fibras que interceptam as fissuras contribuem para o aumento da resistência, da deformação de ruptura e da tenacidade dos compósitos.

As fibras não impedem o aparecimento das fissuras no compósito, mas são capazes de controlar a sua propagação, proporcionando assim o aumento na resistência à tração do material compósito.

O aparecimento da primeira fissura e a sua abertura progressiva em compósitos sem fibras leva ao colapso da peça. Porém, nos compósitos reforçados com fibras a fratura é um processo progressivo, onde as pontes de transferência oferecidas pelas mesmas, promovem a múltipla fissuração. Nestes compósitos a fratura é decorrente de um processo heterogêneo de progressivo descolamento e arrancamento das fibras (SWAMY, 1995 apud TANESI e AGOPYAN, 1997) e não pela ruptura das mesmas (TANESI e AGOPYAN, 1997).

A interação fibra/matriz dos materiais compósitos dependem basicamente do diâmetro, comprimento, volume adicionado e da orientação e dispersão das fibras (HOLLAWAY, 1994).

Por meio da compatibilidade fibra/matriz é que serão definidas as áreas de uso das fibras, bem como as propriedades dos compósitos que serão melhoradas, sem que ocorra uma perda nesse reforço ao longo da vida útil da edificação (ALMEIDA, 1999).

## **2.5 Materiais compósitos à base de cimento reforçados com fibras de polipropileno**

### **2.5.1 Fatores que influenciam as propriedades dos compósitos**

As propriedades dos compósitos estão diretamente relacionadas com o módulo de elasticidade, o comprimento e a geometria das fibras, além da aderência da fibra/matriz (TANESI e AGOPYAN, 1997) e do teor e qualidade da fibra (MORLIER e KHENFER, 1991).

Quando adicionadas aos compósitos as fibras podem influenciar tanto de forma positiva quanto de forma negativa nas propriedades dos mesmos (BALAGURU e SHAH, 1992 apud TANESI e AGOPYAN, 1997).

Segundo TAYLOR (1994), a incorporação das fibras aos compósitos causa efeito basicamente em três de suas propriedades: resistência à tração, resistência ao impacto e módulo de elasticidade.

A concentração de fibras e a resistência destas ao arrancamento, que é governada principalmente pela relação de aspecto (relação comprimento/diâmetro), forma e textura superficial da fibra, são fatores primordiais no aumento da tenacidade do compósito reforçado (Comitê 544 do ACI, 1982 apud MEHTA e MONTEIRO, 1994).

"No caso de materiais de construção, geralmente a matriz fatura primeiro e toda a carga é transferida às fibras que devem ter um comportamento de ancoragem suficiente para suportar esta sobrecarga e manter o material ainda em uso. Posteriormente com o aumento da carga, as fibras continuarão se deformando, transferindo parte da carga suportada para as porções da matriz ainda sem fissuras e a ruína do compósito se dará quando as fibras rompem ou, o mais comum neste caso, quando as fibras escorregarem da matriz e se soltarem" (AGOPYAN, 1988).

Segundo o mesmo autor o comprimento de ancoragem depende diretamente da resistência da matriz, do raio da fibra (supondo-se seção circular) e do volume da matriz no compósito e indiretamente do volume de fibras no compósito e da resistência média de cisalhamento na interação fibra/matriz.

## **2.5.2 Propriedades no estado fresco**

### **2.5.2.1 Consistência - trabalhabilidade**

É notório que ocorre uma redução da trabalhabilidade do concreto simples quando da adição de qualquer tipo de fibra, estando esta redução ligada à concentração volumétrica de fibras no compósito. Apesar da baixa consistência adquirida, ocorre uma melhora no lançamento e compactação do compósito (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

As fibras quando adicionadas em baixos teores não chegam a reduzir a trabalhabilidade de forma significativa. Porém, ressalta-se ainda que a trabalhabilidade dos compósitos é influenciada tanto pelo teor quanto pela forma, diâmetro e comprimento das fibras (BALAGURU e SHAH, 1992 apud TANESI e AGOPYAN, 1997).

As fibras de polipropileno, que possuem uma grande área específica, prejudicam a trabalhabilidade do compósito quando da sua produção (BENTUR e MINDESS, 1990). Porém,

mesmo em baixos teores, pode-se notar os seus efeitos positivos sobre propriedades como fissuração por retração, resistência à fadiga e ao impacto, apesar de apresentarem um baixo módulo de elasticidade (TANESI e FIGUEIREDO, 1999).

### **2.5.2.2 Retenção de água**

Ao apresentarem uma grande área específica as fibras de polipropileno podem contribuir para o aumento da retenção de água das argamassas, devido ao efeito de parede entre a matriz e a fibra pois, a água fica retida pelas forças capilares que se desenvolvem entre as mesmas. Visto que, um dos fatores que contribuem para a melhoria desta propriedade é a área específica do compósito, ou seja, quanto maior a área específica de seus materiais constituintes maior será a área específica do compósito e conseqüentemente maior será a sua capacidade de retenção de água.

### **2.5.3 Propriedades no estado endurecido**

#### **2.5.3.1 Resistência à compressão**

Autores como TANESI e AGOPYAN (1997), DANTAS e AGOPYAN (1988), DAFICO *et alli* (1997) e REGATTIERI *et alli* (1996), afirmam que as fibras de polipropileno não influenciam de forma significativa na resistência à compressão dos compósitos, principalmente quando adicionadas em baixos teores.

Porém, BALAGURU e SHAH (1992) apud TANESI e AGOPYAN (1997), constataram em estudos realizados, um aumento de aproximadamente 13% da resistência à compressão do concreto com adição de 0,1% em volume de fibras de polipropileno. No caso de volumes superiores a 0,5% pode ocorrer uma redução desta propriedade, devido à dificuldade de

homogeneização da mistura decorrente da perda da trabalhabilidade do compósito e a incorporação de ar (BENTUR e MINDESS, 1990).

O compósito reforçado com fibras tem um comportamento particular e diferenciado quando deste e de outros ensaios mecânicos. A resistência, em alguns casos, dos compósitos reforçados pode ser inferior a da matriz sem adição, porém, o comportamento do compósito é diferente. Esta diferença pode ser realmente notada quando o material atinge a carga máxima de ruptura, onde a peça formada pelo compósito reforçado permanece coesa e sem o descolamento de pedaços (ALMEIDA, 1999).

#### **2.5.3.2 Resistência à tração**

Segundo autores como BALAGURU e SHAH (1992) apud TANESI e AGOPYAN (1997), as fibras de polipropileno não influenciam de forma significativa na resistência à tração dos compósitos.

Para MEHTA e MONTEIRO (1994) "enquanto que as resistências últimas à tração não aumentaram apreciavelmente, as deformações de tração na ruptura aumentaram." Sendo assim, quando comparado ao concreto convencional, o concreto reforçado com fibras torna-se mais tenaz e mais resistente ao impacto.

ALMEIDA (1999), acredita que, em alguns casos, a adição de fibras de polipropileno pode chegar a reduzir esta propriedade.

Porém, BENTUR e MINDESS (1990), afirmam que apenas a adição de teores elevados promove algum aumento nesta propriedade, onde pode ser considerada a possibilidade destes compósitos manterem a capacidade resistente mesmo após o aparecimento da primeira fissura. No entanto, este aumento não ultrapassa 20% (para teores abaixo de 2%). Os mesmos autores ainda ressaltam

que em teores acima de 1% o efeito mais importante das fibras está ligado ao aumento da capacidade de absorção de energia na tração por flexão.

### **2.5.3.3 Módulo de deformação**

Segundo BALAGURU e SHAH (1992) apud TANESI e AGOPYAN (1997), mesmo quando as fibras são adicionadas em elevados teores o módulo de deformação do compósito praticamente permanece o mesmo.

Porém, segundo DANTAS e AGOPYAN (1988), para os compósitos reforçados com fibras de polipropileno, com 2,1% em volume de fibra, a deformação chega a ser aproximadamente três vezes maior que a apresentada pela matriz.

Segundo AGOPYAN e DANTAS (1988), as fibras de polipropileno influenciam nas condições de ruptura da matriz, principalmente quando ocorre deformação muito lenta, isto para o módulo de elasticidade destas fibras compreendido entre 1,96 e 7,85 GPa.

### **2.5.3.4 Resistência ao impacto**

A resistência ao impacto mostra claramente o aumento que a adição de fibras na matriz frágil de cimento proporciona na tenacidade após o aparecimento das primeiras fissuras. Nesta propriedade mecânica é onde realmente observa-se o melhoramento do comportamento do compósito, a real interferência das fibras no comportamento do compósito endurecido, principalmente quanto à ruptura total do espécime (DANTAS e AGOPYAN, 1988).

Autores como TOUTANJI (1999), afirmam que geralmente a adição de fibras melhora significativamente a resistência ao impacto que, segundo DANTAS (1987) apud ALMEIDA

(1999), é devida à grande quantidade de energia absorvida, quando se processa a eliminação da aderência, e o arrancamento das fibras que ocorre após a matriz ter sido fissurada.

#### **2.5.3.5 Aderência**

Segundo estudos realizados por HANNANT (1998), comprova-se que a aderência entre as fibras de polipropileno e a matriz à base de cimento não é afetada, mesmo em períodos acima de 18 anos. Diante disso, aumenta-se a confiança no emprego do polipropileno como reforço de materiais cimentícios, onde a estabilidade do mesmo permite a sua aplicação a longo prazo.

Quando as fibras não possuem uma boa aderência, estas não deformam como deveriam para aumentar a ductilidade dos materiais frágeis (ALMEIDA, 1999).

"Com um aumento de carga no compósito, as fibras tendem a transferir a tensão adicional para a matriz, através das tensões de aderência. Se essas tensões de aderência não excedem a resistência de aderência, pode haver uma fissuração adicional na matriz. Este processo de fissuração múltipla continuará até que haja o rompimento da fibra ou o seu arrancamento, devido à perda de aderência local acumulada" (SHAH, 1984 apud MEHTA e MONTEIRO, 1994).

#### **2.5.3.6 Retração**

Os compósitos em um determinado momento passam a sofrer esforços que podem provocar o surgimento de fissuras. Estes esforços dependem por exemplo de fatores como o tipo e consumo de cimento, consumo de água, processo de cura, temperatura e umidade relativa do ar, entre outros. As fibras então, passam a ter uma relevante função neste processo, atuando diretamente na matriz como dissipadora de energia (DANTAS e AGOPYAN, 1988).

Segundo TANESI *et alli* (1997), a principal função das fibras de polipropileno quando adicionadas aos compósitos é controlar a fissuração por retração, em que, a influência deste controle depende basicamente da forma das fibras, do seu módulo de elasticidade, tratamento superficial, comprimento, idade e dosagem do concreto a ser avaliado.

A ação das fibras no desenvolvimento das fissuras, oriundas dos esforços causados pelo fenômeno da retração impedida, cria condições de distribuí-las com aberturas insignificantes ou mesmo eliminá-las, utilizando para isto critérios de cura adequados que permitirão a interferência no período ascendente das curvas de retração, que de forma geral persistem nas idades iniciais compreendidas entre 5 e 10 dias (DANTAS e AGOPYAN, 1988). A presença das fibras permite uma melhor distribuição deste fenômeno por todo o compósito, melhorando assim o desempenho do mesmo, particularmente quando do estado fresco onde o aparecimento das fissuras é mais intenso (ALLAN e KUKACKA, 1995).

Em baixo volume as fibras de polipropileno são extremamente eficientes na redução da retração plástica, retardando o aparecimento das primeiras fissuras e controlando o desenvolvimento das mesmas (TOLEDO FILHO e SANJUÁN, 1999 e SANJUÁN e MORAQUES, 1997).

Para KAYALI *et alli* (1999), o aumento na resistência à tração e o baixo módulo de elasticidade do compósito reforçado são os responsáveis pela redução das fissuras por retração.

Segundo SHAH *et alli* (1994) e BANTHIA *et alli* (1995) apud KAYALI *et alli* (1999), a eficácia das fibras encontra-se no controle das fissuras provenientes da retração plástica.

### 2.5.3.7 Permeabilidade

Uma das principais preocupações relacionadas aos problemas dos materiais a base de cimento é a fissuração, onde se busca a redução das mesmas para que se possa evitar a penetração de água e/ou agentes agressivos, além da saída de materiais lixiviados (ALLAN e KUKACKA, 1995).

As fibras desempenham um importante papel nesta propriedade, devido à redução das microfissuras, por meio do controle da distribuição destas ao longo da matriz. A melhor distribuição destas microfissuras gera uma redução da permeabilidade, pois a passagem da água pelas mesmas é dificultada, visto que o compósito apresenta as fissuras com abertura reduzida (ALMEIDA, 1999).

A adição de fibras de polipropileno melhora significativamente a resistência dos compósitos quando do ataque de agentes agressivos e exposição dos mesmos em ciclos úmido-seco, através da redução da permeabilidade dos mesmos quando do estado endurecido (HUANG, 1997). Diante disso, ressalta-se que para o efeito da corrosão da armadura do concreto armado o uso das fibras também é indicado (SANJUÁN *et alli*, 1998).

Para TOUTANJI *et alli* (1998), a redução da permeabilidade em compósitos reforçados com fibras é diretamente proporcional ao comprimento das fibras adicionadas, pois em estudos realizados ao reduzir-se o comprimento das fibras de polipropileno de 19 mm para 12,5 mm os autores constataram uma redução na permeabilidade do compósito.

### 2.5.3.8 Absorção de água por capilaridade

De acordo com REGATTIERI *et alli* (1996), as fibras de polipropileno, em concretos com 7 dias, promovem o aumento da absorção por capilaridade para todas as relações água/cimento variando entre 0,40 e 0,50. Observa-se ainda que, a altura de ascensão capilar dos concretos

reforçados com fibras de polipropileno é superior à dos concretos reforçados com fibras de aço (para as relações água/cimento iguais a 0,45 e 0,50). Para o concreto com 28 dias observa-se uma tendência das fibras aumentarem também a absorção capilar, sobretudo para as relações água/cimento iguais a 0,40 e 0,45.

### **2.5.3.9 Fadiga**

Esta é uma das propriedades mais beneficiadas pela adição das fibras de polipropileno. VONDRANT *et alli* (1989) apud TANESI e AGOPYAN (1997), verificaram que para as adições de 0,5% e 1% de fibras ocorreu um acréscimo entre 27% e 32%, respectivamente, nesta propriedade.

### **2.5.4 Durabilidade**

O emprego de fibras de polipropileno tem crescido nos últimos anos como reforço de matrizes cimentícias a fim de reduzir a fissuração por retração e conseqüentemente a durabilidade do compósito, pois, ao reduzir as aberturas das fissuras pode-se diminuir a possibilidade de penetração de agentes agressivos (SANJUÁN e MORAQUES, 1997).

Um bom desempenho, ao longo do tempo, dos compósitos reforçados com fibras depende diretamente da durabilidade das fibras empregadas.

Quando do estado fresco as fibras de polipropileno não apresentam nenhum tipo de preocupação quanto a durabilidade dos compósitos, porém, quando do estado endurecido a durabilidade destas fibras é de fundamental importância no desempenho destes compósitos a longo prazo (HANNANT, 1998).

A interferência das fibras no material compósito, agindo nas suas propriedades e modificando o seu comportamento, pode realmente ser bem aproveitada lançando maiores possibilidades de utilização e conhecimento adequados sobre o seu desempenho, em que esta feliz combinação indica a elaboração de um Novo Material apropriado à aplicação como material de construção civil, apesar das investigações sobre a durabilidade não estarem concluídas e precisarem de maiores esclarecimentos (DANTAS e AGOPYAN, 1988).

Segundo TANESI e AGOPYAN (1997), a durabilidade dos compósitos reforçados com fibras está ligada diretamente à redução na fissuração e à durabilidade das fibras empregadas nos mesmos.

## CAPÍTULO 3

# ESTUDO EXPERIMENTAL

### 3.1 Escolha dos traços das argamassas

As argamassas utilizadas neste estudo experimental foram argamassas com traço 1:3 (cimento:areia), em volume, a fim de verificar influência da presença da cal no desempenho dos compósitos; argamassas de assentamento com função estrutural com traço 1:0,5:4,5 (cimento:cal:areia), em volume, utilizadas em prédios de alvenaria estrutural acima de 4 (quatro) pavimentos e argamassas com traço 1:2:9 (cimento:cal:areia), em volume, utilizadas como revestimento. Procurou-se utilizar argamassas com traços comumente empregados em obras, retratando-se assim a realidade das edificações brasileiras.

### 3.2 Formulação das argamassas

Todas as argamassas utilizadas neste estudo experimental foram confeccionadas em uma fábrica de argamassas, onde todos os seus componentes sólidos (cimento, cal, areia e fibras) foram misturados mecanicamente, a fim de permitir uma mistura mais homogênea.

Estas argamassas foram formuladas a partir de diferentes teores de fibras em relação a massa do cimento. Como mostra a Tabela 3.1, foram formuladas um total de 9 (nove) argamassas com adições, consideradas argamassas reforçadas, e 3 (três) argamassas sem adições, consideradas argamassas de referência, que serviram como parâmetro comparativo.

Tabela 3.1- Formulação das argamassas.

Nomenclatura	Traço da argamassa	Teor de fibras (%)
A1/0,00	1:3	0,00
A1/0,05	1:3	0,05
A1/0,15	1:3	0,15
A1/0,30	1:3	0,30
A2/0,00	1:0,5:4,5	0,00
A2/0,05	1:0,5:4,5	0,05
A2/0,15	1:0,5:4,5	0,15
A2/0,30	1:0,5:4,5	0,30
A3/0,00	1:2:9	0,00
A3/0,05	1:2:9	0,05
A3/0,15	1:2:9	0,15
A3/0,30	1:2:9	0,30

Após confeccionadas as argamassas foram embaladas em sacos de 30 (trinta) kg e enviadas ao LMCC da UFSC em Florianópolis, onde foram armazenadas em local fresco, arejado e protegido de intempéries de acordo com as prescrições da NBR 13278 (1995).

### 3.3 Conversão dos traços das argamassas

Pode-se afirmar que a proporção dos materiais constituintes das argamassas tem influência significativa nas propriedades das mesmas. Desta forma, torna-se relevante a metodologia utilizada para medição dos materiais, inicialmente medidos em volume, e posteriormente convertidos em massa, após a determinação das massas unitárias do cimento, da cal e do agregado miúdo (CALHAU, 2000).

Para conversão dos traços utilizou-se a seguinte expressão:

$$1 : \frac{P_{\text{cal}} \cdot \delta_{\text{cal}}}{\delta_{\text{cim}}} : \frac{P_{\text{agr}} \cdot \delta_{\text{a}}}{\delta_{\text{cim}}}$$

Onde:

$P_{cal}$  = proporção de cal hidratada no traço da argamassa, em volume aparente, em  $dm^3$ ;

$P_{agr}$  = proporção do agregado miúdo no traço da argamassa, em volume aparente, em  $dm^3$ ;

$\delta_{cal}$  = massa unitária da cal hidratada, no estado solto, em  $kg/dm^3$ ;

$\delta_{cim}$  = massa unitária do cimento, no estado solto, em  $kg/dm^3$ ;

$\delta_{agr}$  = massa unitária do agregado miúdo, no estado solto e seco, em  $kg/dm^3$ ;

Converteu-se os traços a serem utilizados de volume para massa obteve-se as seguintes proporções entre os materiais (Tabela 3.2):

Tabela 3.2- Conversão dos traços das argamassas.

Traço em volume	Traço em massa sem adição*	Composição do traço	Traço em massa com adição*	Composição do traço
1:3	1:4,07	Cimento:cal:areia	1:4,07:0,0005	Cimento:areia :fibra
			1:4,07:0,0015	
			1:4,07:0,0030	
1:0,5:4,5	1:0,30:6,11	Cimento:cal:areia	1:0,30:6,11 :0,0005	Cimento:cal:areia :fibra
			1:0,30:6,11 :0,0015	
			1:0,30:6,11 :0,0030	
1:2:9	1:1,20:11,89	Cimento:cal:areia	1:1,20:11,89 :0,0005	Cimento:cal:areia :fibra
			1:1,20:11,89 :0,0015	
			1:1,20:11,89 :0,0030	

\* adição em diferentes teores de fibras de polipropileno.

### **3.4 Materiais utilizados**

Todos os materiais utilizados neste experimento, exceto as fibras de polipropileno, são os mesmos usados habitualmente pela fábrica que confeccionou as argamassas para esta pesquisa.

Na confecção das argamassas utilizou-se cimento Portland CP II F-32, proveniente da indústria Itambé (Curitiba/PR).

Utilizou-se cal hidratada classificada de acordo com as prescrições da NBR 7175 (1992) como sendo da classe CH III. A cal hidratada é proveniente da Indústria Cibracal (Curitiba/PR).

A areia utilizada é de barranco de rio, proveniente do Porto de areia Irmão Zimmermann, localizado em Gaspar-SC. Para as argamassas de assentamento (1:0,5:4,5) e as argamassas contendo apenas cimento e areia (1:3) utilizou-se areia média segundo a NBR 7217 (1987) e a BS 1200 (1976) e para as argamassas de revestimento (1:2:9) utilizou-se areia fina segundo a NBR 7217 (1987).

As fibras utilizadas foram fibras plásticas de polipropileno monofilamento com 10 mm de comprimento. Foi realizado um estudo piloto utilizando-se comprimentos de 10 e 20 mm, onde se observou que este comprimento era o ideal para se obter uma mistura mais homogênea.

A água utilizada foi a da rede de abastecimento local.

### **3.5 Caracterização dos materiais utilizados**

A caracterização do cimento assim como a da cal apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, foram fornecidas pelas suas indústrias fabricantes.

Tabela 3.3– Caracterização física do cimento Portland CP II F-32.

<b>Ensaio físico</b>	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Massa específica – NBR 6474 (1984)*	ton/m <sup>3</sup>	3,09	-
Massa unitária – NBR 7251 (1982)	g/cm <sup>3</sup>	1,12	0,05
Finura – NBR 11579 (1991)* - % retida			
Peneira n° 200	%	2,08	0,15
Peneira n° 325		12,02	0,65
Área específica-Blaine – NBR 7224 (1996)*	cm <sup>2</sup> /g	3,169	36,46
Tempo de pega			
Início – NBR 11581 (1991)*	minuto	180	10,40
Final – NBR 11581 (1991)*		239	9,40
Expansibilidade – NBR 11582 (1991)*	mm	0,70	0,27
Resistência à compressão – NBR 7215 (1996)			
1 dia	MPa	12,80	0,80
3 dias		23,70	0,80
7 dias		28,90	0,50
28 dias		37,30	0,30

Tabela 3.4– Caracterização química do cimento Portland CP II F-32.

<b>Ensaio químico</b>	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4,40	0,08
SiO <sub>2</sub>	%	17,94	0,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,64	0,05
CaO	%	60,67	0,31
MgO	%	4,90	0,14
SO <sub>3</sub>	%	2,81	0,11
Perda ao fogo	%	4,96	0,15
CaO livre	%	1,61	0,20
Resíduo insolúvel	%	1,15	0,07
Equivalente alcalino em Na <sub>2</sub> O	%	0,64	0,01

\* Normas utilizadas apenas pelos fabricantes na caracterização dos materiais.

Tabela 3.5– Caracterização física da cal CH III.

Ensaio físico	Unidade	Média	Desvio Padrão
Massa específica – NBR 6474 (1984)*	-	-	-
Massa unitária – NBR 7251 (1982) – analogia	g/m <sup>3</sup>	0,67	0,03
Finura – NBR 9289 (1986)* - % retida	%	≤ 0,50	-
Peneira n° 30 (0,600 mm)			
Peneira n° 200 (0,075 mm)			

Tabela 3.6– Caracterização química da cal CH III.

Ensaio químico	Unidade	Valor
Perda ao fogo	%	17,37
Resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> + RI)	%	5,00
Óxido de cálcio (CaO)	%	45,80
Óxido de magnésio (MgO)	%	30,92
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	%	≤ 1,24
Óxidos não hidratados	%	26,70
Óxidos totais na base de não voláteis (CaO + MgO)	%	92,85

A caracterização física da areia média e da areia fina apresentam-se, respectivamente, nas Tabelas 3.7 e 3.8.

Tabela 3.7– Caracterização física da areia média.

Ensaio físico	Unidade	Valor
Massa específica - NBR 9776 (1987)*	kg/m <sup>3</sup>	2,40
Massa unitária - NBR 7251 (1982)	kg/m <sup>3</sup>	1,52
Teor de argilas em torrões e materiais friáveis - NBR 7218 (1987)*	%	0,23
Teor de material pulverulento - NBR 7219 (1987)*	%	1,20
Teor de matéria orgânica - NBR 7220 (1987)	ppm	< 300

Tabela 3.8– Caracterização física da areia fina.

Ensaio físico	Unidade	Valor
Massa específica - NBR 9776 (1987)*	kg/m <sup>3</sup>	2,39
Massa unitária - NBR 7251 (1982)	kg/m <sup>3</sup>	1,48
Teor de argilas em torrões e materiais friáveis - NBR 7218 (1987)*	%	0,5
Teor de material pulverulento - NBR 7219 (1987)*	%	5
Teor de matéria orgânica - NBR 7220 (1987)	ppm	< 300

\* Normas utilizadas apenas pelos fabricantes na caracterização dos materiais.

Para verificar-se a composição granulométrica da areia média mostrada na Tabela 3.9 e na curva granulométrica (Gráfico 3.1), utilizou-se a NBR 7217 (1987), que prescreve o método para a determinação da composição granulométrica dos agregados. A composição granulométrica, mostrada na Tabela 3.10, e a curva de distribuição granulométrica, mostrada no Gráfico 3.2, mostram que esta areia enquadra-se também nos limites estabelecidos pela Norma Britânica BS 1200 (1976), que prescreve a faixa de curvas de distribuição granulométrica adequadas para o emprego em argamassas de assentamento.

Tabela 3.9- Composição granulométrica da areia média utilizando a NBR 7217 (1987).

Norma NBR 7217 (1987)							
Nº peneira	1ª leitura	% retida	% acumulada	2ª leitura	% retida	% acumulada	Média
Fundo	18,70	3,29	100,00	17,30	3,15	100,00	100,00
0,15	56,40	9,92	96,71	51,60	9,41	96,85	97,00
0,30	283,30	49,82	86,79	273,10	49,80	87,44	87,00
0,60	185,40	32,61	36,97	179,60	32,75	37,64	37,00
1,20	23,60	4,15	4,36	25,60	4,67	4,89	5,00
2,40	1,20	0,21	0,21	1,20	0,22	0,22	0
4,80	0	0	0	0	0	0	0
6,30	0	0	0	0	0	0	0
9,50	0	0	0	0	0	0	0
Soma	568,60	100,00	325,04	548,40			
$D_{Máx}$		1,20					
$D_{Mín}$		0,15					
Módulo de finura		2,26					

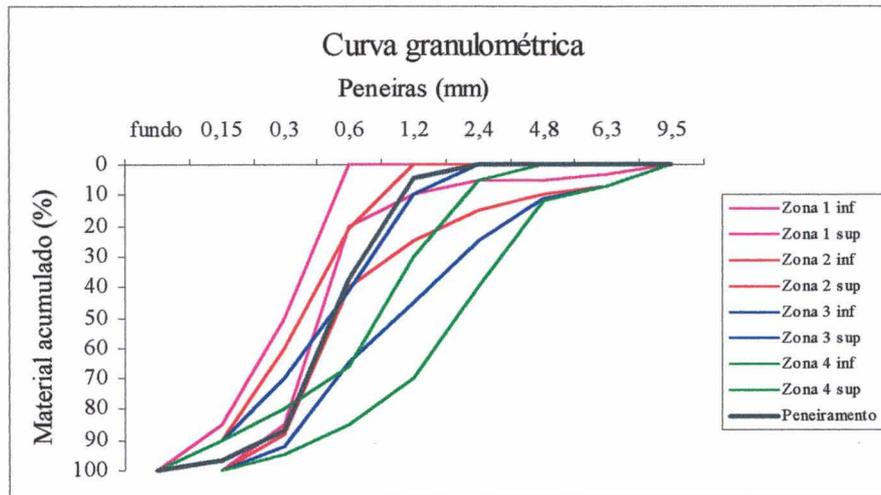


Gráfico 3.1– Curva granulométrica da areia média - NBR 7217 (1987).

Tabela 3.10– Composição granulométrica da areia média utilizando a BS 1200 (1976).

Norma BS 1200 (1976)			
% Passante acumulada			
Nº peneira	Limite inferior	Limite superior	Areia utilizada
0,15	0	10	3
0,30	5	40	13
0,60	40	80	63
1,20	70	100	95
2,40	90	100	100
4,80	100	100	100

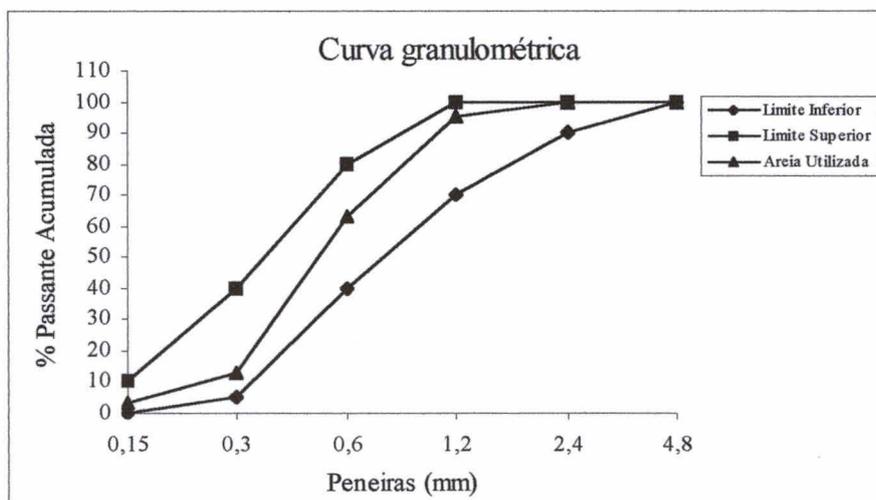


Gráfico 3.2– Curva granulométrica da areia média – BS 1200 (1976).

A composição e distribuição granulométrica da areia fina foram verificadas pela NBR 7217 (1987) como mostram a Tabela 3.11 e o Gráfico 3.3.

Tabela 3.11- Composição granulométrica da areia fina.

Norma NBR 7217 (1987)							
Nº peneira	1ª leitura	% retida	% acumulada	2ª leitura	% retida	% acumulada	Média
Fundo	102,79	17,98	100,00	102,90	17,69	100,00	100,00
0,15	136,00	23,79	82,02	145,20	24,97	82,31	82,00
0,30	269,40	47,12	58,23	272,30	46,82	57,34	58,00
0,60	62,30	10,90	11,11	60,10	10,33	10,52	11,00
1,20	1,20	0,21	0,21	1,10	0,19	0,19	0
2,40	0	0	0	0	0	0	0
4,80	0	0	0	0	0	0	0
6,30	0	0	0	0	0	0	0
9,50	0	0	0	0	0	0	0
Soma	571,69	100	251,57	581,60			
D <sub>Máx</sub>		1,20					
D <sub>Mín</sub>		0,00					
Módulo de finura		1,51					

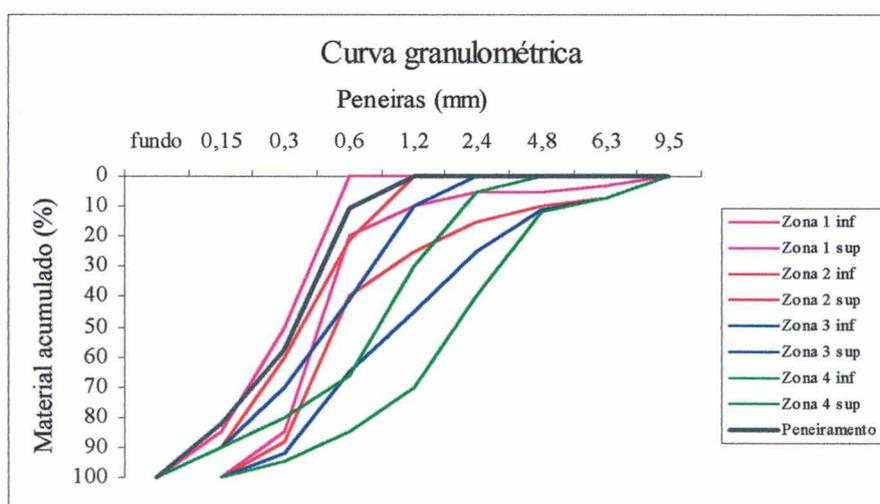


Gráfico 3.3– Curva granulométrica da areia fina.

A caracterização das fibras utilizadas foi fornecida pelo fabricante e apresenta-se na Tabela 3.12.

Tabela 3.12– Caracterização das fibras utilizadas.

Material	Polipropileno
Peso específico	0,9 g/cm <sup>3</sup>
Ponto de fusão	165,55 °C
Diâmetro	20 micrômetros
Comprimento	10 mm
Condutividade térmica	Nula
Área específica	> 255 m <sup>2</sup> /kg
Frequência	180 milhões de fios/kg
Tensão de ruptura	810 MPa
Alongamento	28%

### 3.6 Produção das argamassas

Neste experimento as argamassas foram produzidas utilizando-se um misturador mecânico (argamassadeira) de eixo vertical com capacidade de 5 litros, da marca PAVITEST C 3010-146-380 V, para a mistura das mesmas com a quantidade de água necessária a cada uma delas.

Primeiramente determinou-se o teor de água para a obtenção do índice de consistência padrão prescrito na NBR 13276 (1995), utilizando-se as argamassas de referência (sem adição). Chegou-se a uma consistência no intervalo ( $255 \pm 10$  mm) estabelecido pela Norma, fixou-se a relação água/cimento para cada um dos traços de referência, como mostra a Tabela 3.13, onde os valores encontrados foram igualmente utilizados nos traços que continham adições.

Tabela 3.13- Relação água/cimento, água/aglomerante, água/materiais secos e cimento/materiais secos, cimento/cal e índice de consistência médio das argamassas.

Argamassa	$f_{a/c}$	$f_{a/aglom}$	$f_{a/mat.secos}$	$f_{c/mat.secos}$	$f_{c/cal}$	IC (mm)
A1	0,79	0,79	0,15	0,19	0	260,00
A2	1,25	0,96	0,17	0,13	2	263,33
A3	2,13	0,97	0,21	0,10	0,5	265,00

Por tratar-se de argamassas "industrializadas" a mistura das argamassas com água obedeceu o prescrito pela NBR 13276 (1995): colocou-se a água em quantidade já fixada pela relação

água/cimento, no recipiente do misturador, juntou-se a argamassa "industrializada" e ligou-se o misturador em velocidade lenta por 4 min.

Após o término do tempo da mistura de cada traço determinou-se a consistência (NBR 13276, 1995) de cada tipo de argamassa por meio da mesa de consistência (*Flow Table*). Em seguida, foram moldados os corpos de prova necessários à cada ensaio.

### **3.7 Métodos de ensaios para caracterização das argamassas**

#### **3.7.1 Argamassas no estado fresco**

##### **3.7.1.1 Índice de consistência – trabalhabilidade**

A Norma NBR 13276 (1995) foi utilizada neste ensaio visto que prescreve o método de determinação do teor de água na preparação de argamassas, para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos, para a obtenção do índice de consistência padrão a ser utilizado na realização de ensaios necessários à caracterização do material.

##### **3.7.1.2 Retenção de água**

Utilizou-se e obedeceu-se o prescrito pela Norma RILEM MR 4 (1982), que descreve o método para a determinação da capacidade de retenção de água das argamassas.

#### **3.7.2 Argamassas no estado endurecido**

##### **3.7.2.1 Retração**

Fez-se uma adaptação da Norma RILEM MR 12 (1982) para a realização deste ensaio. Esta Norma prescreve o uso de corpos de prova prismáticos com dimensões 4x4x16 cm, onde o

molde utilizado foi adaptado de maneira que, ao moldar-se os corpos de prova fosse "chumbado" um pino. Este serviu como ponto fixo auxiliando às leituras de retração.

A cada moldagem, como mostra a Figura 3.1, eram confeccionados, de uma única vez, 3 corpos de provas. Garantiu-se, assim, a redução de possíveis variáveis entre os mesmos, quando comparados a moldagem de cada um individualmente; além de proporcionar a otimização de parte do ensaio.



Figura 3.1– Molde utilizado para a confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram moldados conforme o prescrito na Norma Alemã DIN 18555: part 3 (1982). Primeiramente untou-se toda a superfície interna do molde com uma leve camada de óleo mineral (NBR 7215, 1996). Para evitar possível aprisionamento de ar ou bolsões de ar, após preparada a argamassa, preencheu-se os moldes até a metade, aplicou-se manualmente dez golpes de cada lado do molde segurando-se uma ponta e elevando a outra a uma altura de 3 cm, fazendo sempre golpes constantes e iguais. Preenchido o molde, repetia-se o mesmo procedimento de adensamento e envolvia-se o mesmo com um saco plástico durante  $\pm 4$  hs, a fim de reduzir a retração provocada pela rápida evaporação da água utilizada na mistura. Após

este período, retirava-se o excesso da argamassa, utilizando-se uma régua, e colocava-se sobre este um vidro com espessura de 5 mm, afim de evitar-se a secagem.

Após 24 hs os corpos de prova foram desmoldados e colados nas faces opostas as dos pinos, placas de alumínio com dimensões de 4,2x4,2 cm, que serviram de apoio aos corpos de prova nas leituras de retração.

Para este ensaio foram confeccionados 6 (seis) corpos de prova de cada tipo de argamassa, dos quais três foram curados, durante 28 dias, no interior de uma câmara, contendo uma solução saturada de NaCl, mantendo assim uma umidade constante em torno de 86% e temperatura oscilando entre 20 e 25 °C, a fim de verificar-se a retração hidráulica. Os outros três foram curados durante o mesmo período, envolvidos em sacos plásticos, afim de evitar-se a retração hidráulica.

Para realizar-se as leituras de retração utilizou-se um equipamento composto por um corpo de aço contendo um relógio comparador da marca *Mytutoyo* com precisão de 0,001 mm. Os corpos de prova eram colocados em esquadro e sempre na mesma posição, sendo, a leitura de retração era realizada sempre no mesmo ponto (Figura 3.2). As leituras de retração e as pesagens de todos os corpos de prova foram realizadas a cada 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 19, 24 e 28 dias após a data de moldagem dos mesmos.

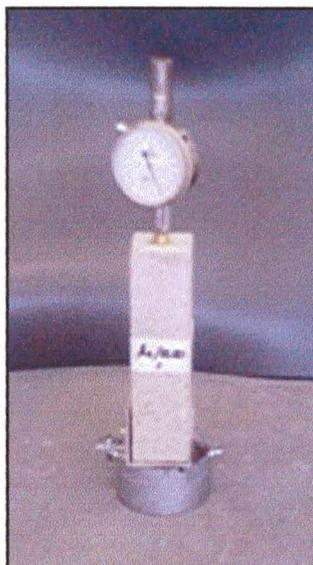


Figura 3.2- Ensaio de Retração.

### 3.7.2.2 Resistência à tração na flexão

Utilizou-se a Norma Alemã DIN 18555: Part 3 (1982) e o prescrito pela RILEM LUM A 7 (1991) como parâmetros para a realização deste ensaio. Os corpos de prova utilizados foram os mesmos usados no ensaio de retração, onde ao final do período de cura de 28 dias estes foram ensaiados à flexão com carga centrada.

Para a realização deste ensaio fez-se uso de um equipamento, como mostra a Figura 3.3, com dois apoios fixos distantes de centro a centro 8 cm e um, também fixo, adaptado na prensa para a aplicação da carga ao centro dos corpos de prova. A prensa utilizada foi a da marca *WYKEHAM FARRANCE ENG. LTD.* com capacidade máxima de 10 toneladas. Para o cálculo da velocidade da carga aplicada levou-se em consideração a RILEM LUM A 7 (1991), que prescreve um valor entre 0,02 e 0,1 N/mm<sup>2</sup>/seg, permitindo valores ainda menores para argamassas com traços considerados fracos.

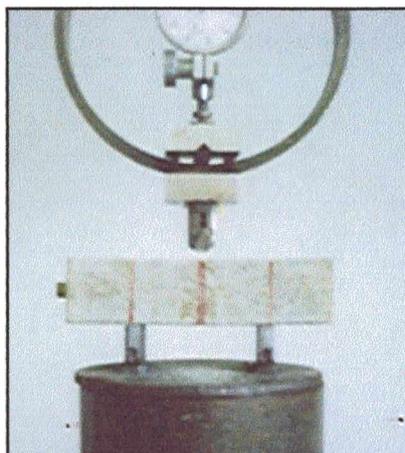


Figura 3.3– Ensaio de Resistência à tração na flexão.

### 3.7.2.3 Resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos

Os corpos de prova usados para a realização deste ensaio foram os mesmos utilizados no ensaio de retração, conseqüentemente, os mesmos do ensaio de resistência à tração na flexão.

Após o ensaio de resistência à tração na flexão os corpos de prova foram cortados e transformados em corpos de prova cúbicos com dimensões mínimas prescrita pela Norma Alemã DIN 18555: Part 3 (1982) de 4x4x4 cm. Estes, posteriormente, foram ensaiados à compressão (Figura 3.4). A prensa utilizada foi a da marca *WYKEHAM FARRANCE ENG. LTD.*, uma prensa manual com capacidade máxima de 10 toneladas. Para o cálculo da velocidade de carga aplicada utilizou-se o prescrito pela RILEM LUM A 6 (1991), que permite valores que podem variar de 0,03 a 0,1 N/mm<sup>2</sup>/seg, ou até mesmo valores inferiores ao mínimo prescrito quando trata-se de traços considerados fracos.



Figura 3.4– Ensaio de Resistência à compressão.

#### **3.7.2.4 Resistência à compressão dos corpos de prova cilíndricos**

Utilizou-se a Norma NBR 13279 (1995), que prescreve o método de ensaio para a determinação da resistência à compressão de argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos no estado endurecido. Neste ensaio, os corpos de prova foram curados envolvidos em sacos plásticos durante os 28 dias de cura.

#### **3.7.2.5 Absorção de água por imersão**

Utilizou-se a Norma NBR 9778 (1987), que prescreve o método de ensaio para a determinação da absorção de água por imersão, do índice de vazios e da massa específica de argamassa e concreto endurecidos. Os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 13279 (1995) e curados durante 28 dias.

#### **3.7.2.6 Absorção de água por capilaridade**

Seguiu-se um método de ensaio adotado utilizado por BALAYSSAC (1992) em corpos de prova de concreto em analogia a NBR 9779 (1987). Primeiramente, moldou-se os corpos de prova, conforme o prescrito na NBR 13279 (1995), onde, ao invés de utilizar óleo mineral como

desmoldante utilizou-se folhas semi rígidas de plástico, que foram cortadas e colocadas em todas as faces dos corpos de prova, já que a NBR 9779 (1987) prescreve que os corpos de prova devem estar isentos de óleo ou outros materiais aderidos na moldagem.

Os corpos de prova foram desmoldados com 24 hs e curados em uma câmara (isopor), contendo uma solução saturada de NaCl, com umidade constante de 86% e temperatura oscilando entre 20 e 25°C durante 28 dias de cura.

Após o término da cura pesou-se os corpos de prova, que permaneceram em estufa à  $100 \pm 5$  °C até obterem massa constante. Ao serem retirados da estufa os corpos de prova foram resfriados em dessecador, logo depois utilizou-se o impermeabilizante ISOL 2, da marca Vedacit Impermeabilizantes, que tem como composição básica a emulsão asfáltica, para impermeabilizar todas as faces laterais dos corpos de provas, a fim de provocar a migração da água no sentido do eixo dos corpos de prova e evitar a evaporação da água pelas faces laterais, posteriormente os corpos de prova foram colocados em dessecador durante 24 hs.

Após a secagem do impermeabilizante colocou-se a face inferior (não impermeabilizada) dos corpos de prova em um recipiente com uma lâmina d'água de  $\pm 5$  mm. A massa da água absorvida foi determinada por pesagens sucessivas dos corpos de prova. Antes da pesagem procurava-se eliminar a película de água retida na face inferior utilizando-se um papel absorvente.

Ao término do período de pesagens dos corpos de prova os mesmos foram cortados no sentido transversal à face que esteve em contato com a água, a fim de verificar até que altura ocorreu a percolação da água.

## CAPÍTULO 4

# APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo abrange todos os resultados encontrados durante o desenvolvimento do programa experimental, assim como suas respectivas análises teóricas e estatísticas. Os resultados encontram-se em tabelas, planilhas e gráficos para uma melhor compreensão.

### 4.1 Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco

#### 4.1.1 Índice de consistência – trabalhabilidade

As Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 e os Gráficos 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os resultados médios e correlações relacionados ao índice de consistência obtido em todos os ensaios realizados com as argamassas A1, A2 e A3, respectivamente.

Tabela 4.1- Resultados médios dos índices de consistência das argamassas A1.

Argamassa	Relação a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	0,79	259	7,02	2,71
A1/0,05		243	2,65	1,09
A1/0,15		229	1,00	0,44
A1/0,30		198	2,08	1,05

Tabela 4.2- Resultados médios dos índices de consistência das argamassas A2.

Argamassa	Relação a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	1,25	268	0,58	0,22
A2/0,05		239	0,58	0,24
A2/0,15		224	0,58	0,26
A2/0,30		206	2,08	1,01

Tabela 4.3- Resultados médios do índice de consistência das argamassas A3.

Argamassa	Relação a/c	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	2,13	260	3,46	1,33
A3/0,05		254	7,64	3,01
A3/0,15		243	2,65	1,09
A3/0,30		235	3,51	1,50

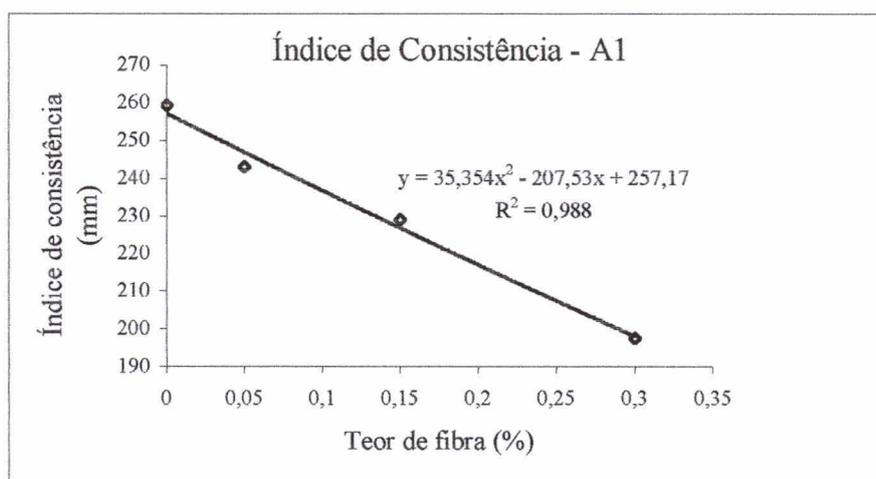


Gráfico 4.1- Correlação dos teores de fibras com o índice de consistência das argamassas A1.

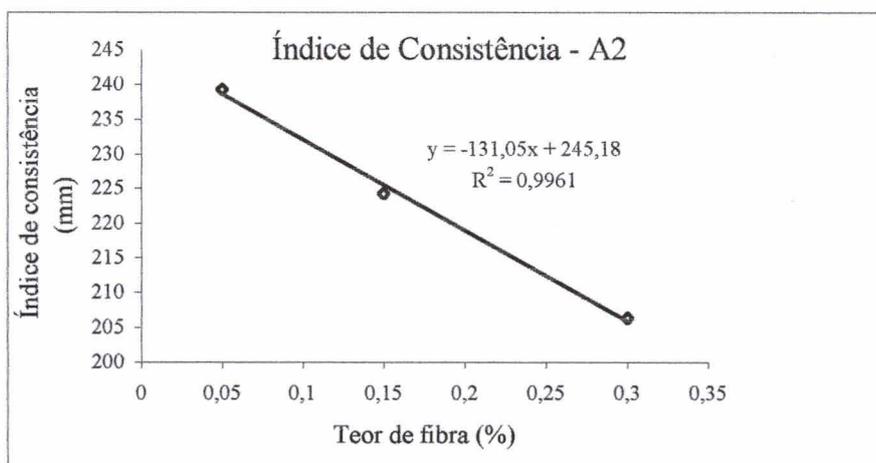


Gráfico 4.2- Correlação dos teores de fibras com o índice de consistência das argamassas A2.

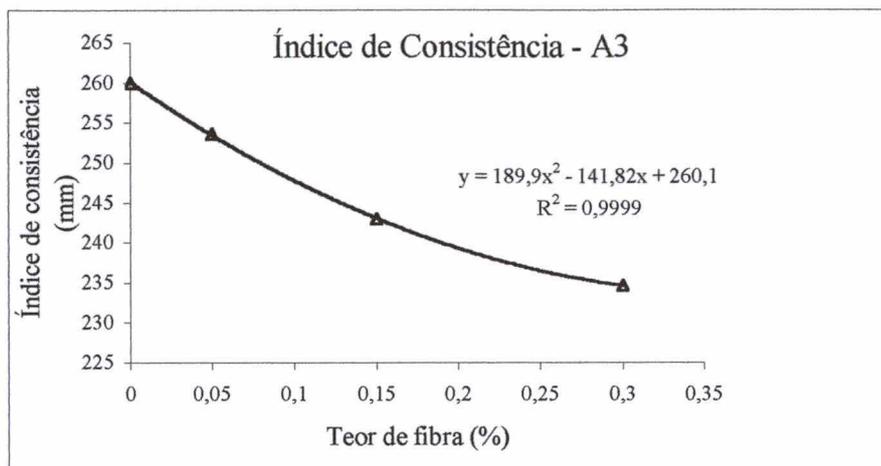


Gráfico 4.3- Correlação dos teores de fibras com o índice de consistência das argamassas A3.

Neste ensaio observou-se que ocorreu uma redução do índice de consistência das argamassas reforçadas, independente do traço. Tal fato foi devido as fibras de polipropileno, utilizadas nesta pesquisa, possuírem um baixo diâmetro, que facilita o aumento do número de fibras dispersas na matriz.

As análises estatísticas (ver Anexos) feitas para cada traço mostram que em todas as argamassas reforçadas ocorreu uma diferença significativa entre os resultados quando comparados aos das argamassas de referência, onde se pode concluir que a redução da consistência é diretamente proporcional ao aumento do teor de fibras.

Com relação a diferença significativa entre os teores de fibras a análise estatística (ver Anexos) mostrou que para os traços A1 e A2 todos os teores diferem significativamente quando comparados entre si. Já para o traço A3 observou-se que não ocorre diferença significativa apenas entre os teores de 0,15 e 0,30%. Neste caso, se pode dizer que para teores entre 0,15% e 0,30% a redução da consistência tende a se manter constante.

Nos Gráficos apresentados acima se pode constatar que existe uma correlação entre os índices de consistência e os teores de fibra. A equação e o coeficiente de correlação apresentados no

Gráfico 4.2 foram obtidos após a eliminação do ponto correspondente a argamassa de referência (sem adição de fibras), pois com o mesmo não observava-se correlação.

Analisando-se a variação percentual da consistência de todos os traços se observa uma maior redução no traço A2 (ver Tabela 4.4).

Tabela 4.4- Variação do índice de consistência.

Traço	$f_{a/agl}$	$f_{agl/agregado}$	Varição entre a consistência das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)
A1/0,05	0,79	1/3	- 6,30
A1/0,15			- 11,70
A1/0,30			- 23,78
A2/0,05	0,83	1/3	- 10,79
A2/0,15			- 16,40
A2/0,30			- 23,11
A3/0,05	0,71	1/3	- 2,43
A3/0,15			- 6,54
A3/0,30			- 9,74

Como foi mencionado no Capítulo 2 a consistência apresenta como alguns de seus fatores influentes a relação água/aglomerante e aglomerante/agregado. Os resultados (Tabela 4.4) mostram que à medida que se aumenta a relação água/aglomerante a atuação das fibras torna-se mais perceptível ao reduzir a consistência. As fibras podem estar proporcionando uma melhor ligação entre o agregado e a pasta de aglomerante, atuando assim como um agente capaz de aumentar a coesão nas argamassas. Este aumento na coesão pode resultar em melhorias relativas a qualidade e produtividade das alvenarias, podendo ainda influenciar na redução de perdas das argamassas.

### 4.1.2 Retenção de água

Nas Tabelas 4.5, 4.6 e 4.7 e no Gráfico 4.4 encontram-se os resultados obtidos nos ensaios de retenção de água que foram realizados conforme o prescrito pela RILEM MR 4 (1982).

Tabela 4.5- Resultados médios da retenção de água das argamassas A1.

Argamassa	Retenção (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	76,50	0,17	0,22
A1/0,05	82,32	0,02	0,02
A1/0,15	83,82	0,27	0,32
A1/0,30	85,28	0,24	0,28

Tabela 4.6- Resultados médios da retenção de água das argamassas A2.

Argamassa	Retenção (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	84,92	0,49	0,58
A2/0,05	84,58	0,51	0,60
A2/0,15	85,22	0,19	0,22
A2/0,30	84,59	0,16	0,18

Tabela 4.7- Resultados médios da retenção de água das argamassas A3.

Argamassa	Retenção (%)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	89,25	1,14	1,28
A3/0,05	91,03	0,10	0,11
A3/0,15	90,32	0,11	0,12
A3/0,30	89,11	0,29	0,33

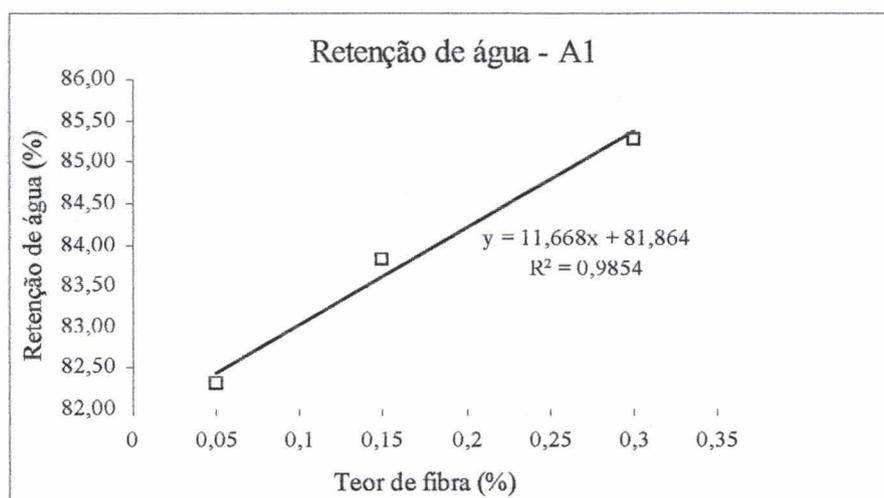


Gráfico 4.4- Correlação dos teores de fibras com a retenção de água das argamassas A1.

De acordo com a análise estatística dos dados, mostrada nos Anexos, em todos os traços ocorre diferença significativa.

Apesar da análise estatística, quando se analisa a variação do percentual da retenção de água pelas argamassas se verifica que a adição de fibras influi apenas em traços cujo único aglomerante é o cimento (ver Tabela 4.8). Neste caso, devido a grande área específica das fibras sintéticas, ocorre um aumento da área específica do compósito gerando assim uma melhoria na retenção de água.

Em traços de argamassa de cimento e cal a influencia das fibras é anulada pela ação da cal, que possui características favoráveis à retenção de água devido a sua elevada área específica. Neste caso não podemos afirmar que o aumento do teor de fibras aumenta a retenção de água.

Tabela 4.8- Variação da retenção de água.

Argamassa	Variação entre a retenção de água das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)
A1/0,05	+ 7,61
A1/0,15	+ 9,57
A1/0,30	+ 11,48
A2/0,05	- 0,39
A2/0,15	+ 0,37
A2/0,30	- 0,38
A3/0,05	+ 1,99
A3/0,15	+ 1,20
A3/0,30	- 0,16

Ao se correlacionar (Gráfico 4.4) os teores de fibras adicionados à mistura com a porcentagem de água retida pode-se verificar que no traço A1 o aumento de retenção de água pela argamassa tende a ser diretamente proporcional ao aumento do teor de fibras adicionadas à mistura. A equação e o coeficiente de correlação encontrados foram obtidos após a eliminação do ponto correspondente a argamassa de referência (sem adição de fibras), pois com o mesmo não observa-se correlação.

## 4.2 Resultados dos ensaios com as argamassas no estado endurecido

### 4.2.1 Retração

Os resultados deste ensaio estão apresentados nos Gráficos 4.5 à 4.10 e na Tabela 4.9 na forma semi-quantitativa devido a necessidade de um aprimoramento no método utilizado para realizar as leituras de retração com mais precisão.

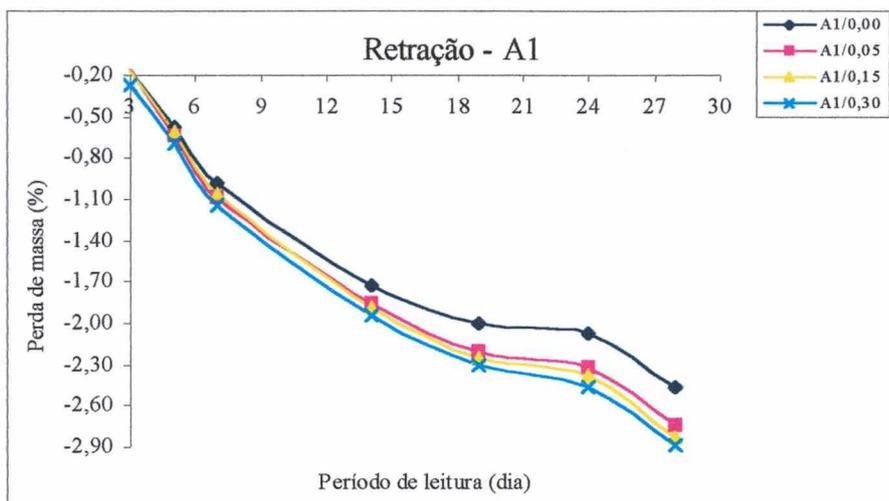


Gráfico 4.5- Variação da massa em função do período de leitura (A1).

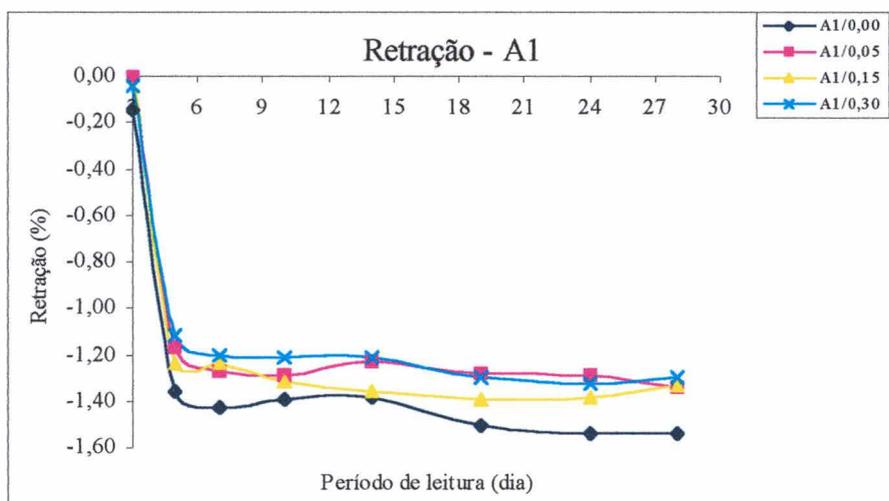


Gráfico 4.6- Retração em função do período de leitura (A1).

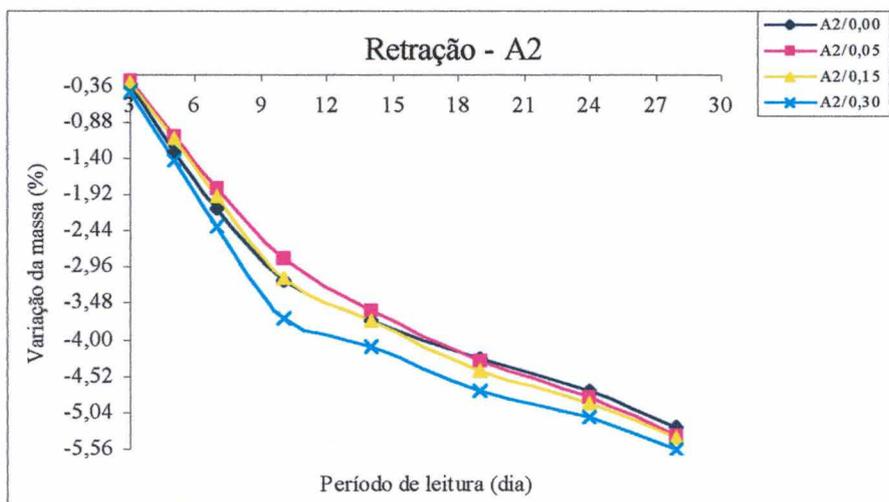


Gráfico 4.7- Variação da massa em função do período de leitura (A2).

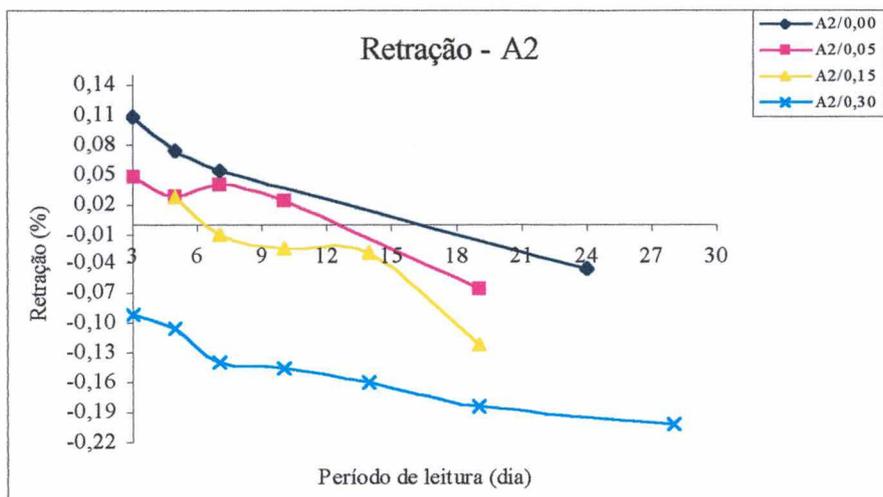


Gráfico 4.8- Retração em função do período de leitura (A2).

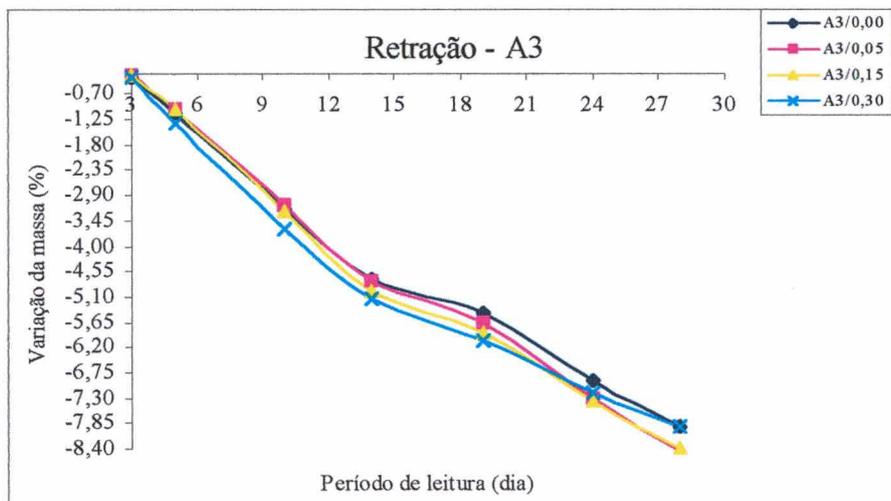


Gráfico 4.9- Variação da massa em função do período de leitura (A3).

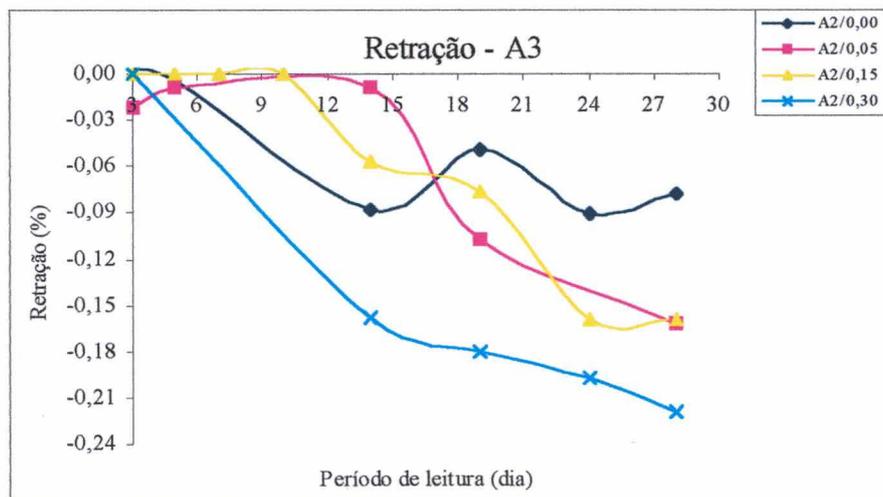


Gráfico 4.10- Retração em função do período de leitura (A3).

Tabela 4.9- Resultados qualitativos do ensaio de retração.

A1/0,00			A1/0,05			A1/0,15			A1/0,30		
Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)
3	-0,17	-0,14875	3	-0,16	0,0025	3	-0,17	0,010625	3	-0,27	-0,04109
5	-0,58	-1,36063	5	-0,64	-1,16891	5	-0,60	-1,23781	5	-0,70	-1,11573
7	-0,99	-1,43078	7	-1,08	-1,27734	7	-1,05	-1,2374	7	-1,14	-1,20573
10	-	-1,39281	10	-	-1,29438	10	-	-1,32031	10	-	-1,20984
14	-1,73	-1,38516	14	-1,85	-1,23031	14	-1,89	-1,36188	14	-1,94	-1,21438
19	-2,00	-1,50438	19	-2,20	-1,2825	19	-2,24	-1,39359	19	-2,30	-1,30141
24	-2,07	-1,53781	24	-2,31	-1,29094	24	-2,38	-1,38766	24	-2,46	-1,32531
28	-2,46	-1,53766	28	-2,74	-1,34172	28	-2,83	-1,33516	28	-2,88	-1,295
A2/0,00			A2/0,05			A2/0,15			A2/0,30		
Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)	Período de leitura (dia)	Varição de massa (%)	Retração (%)
3	-0,34614	0,106771	3	-0,29156	0,047396	3	-0,32043	-	3	-0,46986	-0,09094
5	-1,31404	0,073333	5	-1,098	0,027656	5	-1,10297	0,027604	5	-1,43954	-0,10604
7	-2,11441	0,053594	7	-1,82347	0,039688	7	-1,95943	-0,01042	7	-2,37886	-0,13938
10	-3,13933	-	10	-2,84573	0,02375	10	-3,11764	-0,02583	10	-3,68532	-0,14656
14	-3,73561	-	14	-3,57186	-	14	-3,7215	-0,02958	14	-4,10082	-0,16052
19	-4,28073	-	19	-4,29251	-0,06469	19	-4,43636	-0,12229	19	-4,71492	-0,18458
24	-4,74261	-0,04469	24	-4,80832	-	24	-4,90473	-	24	-5,10623	-
28	-5,25142	-	28	-5,35457	-	28	-5,39772	-	28	-5,5578	-0,20229



Neste ensaio foram considerados apenas os resultados encontrados nos corpos de prova prismáticos curados em câmara.

Analisando os Gráficos 4.5, 4.7 e 4.9 se verifica que ocorreu variação de massa em função da perda de água em todas as argamassas. A perda, aos 28 dias, é maior nos traços que possuem maior quantidade de cal (perda em  $A1 < A2 < A3$ ). Provavelmente esta perda é devido a estrutura mais porosa observada nestas argamassas e também da massa específica menor devido à cal. No traço A3 que apresenta maior porosidade devido a possuir uma maior relação água/materiais secos (ver Tabela 3.13) ocorre perda de água mais rapidamente que no traço A2.

Os Gráficos 4.8 e 4.10 mostram que ocorre um aumento de volume nas argamassas nas primeiras idades. Este aumento provavelmente decorreu da hidratação do óxido de magnésio (MgO) e do óxido de cálcio (CaO) devido a não maturação prévia da cal magnésiana usada na produção das argamassas. O óxido de magnésio reage lentamente com a água formando a brucita ( $Mg(OH)_2$ ) provocando uma expansão do compósito e consequentemente o seu aumento de volume. Neste caso as fibras apresentaram um desempenho favorável ao conter a expansão causada pelo MgO. Em argamassas com teores acima de 0,30% de fibra a expansão parece impedida. A expansão entra em concorrência com a retração por secagem levando a um "efeito de compensação". No entanto estas conclusões deverão ser verificadas em trabalhos futuros.

Os resultados apresentados no Gráfico 4.6 mostram que a retração maior ocorre nos primeiros dias. Nas argamassas reforçadas a retração foi menor. Isto comprova que ocorre uma atuação favorável das fibras no controle da retração. Neste caso as fibras interceptam e distribuem melhor as fissuras. Em alguns casos pode ocorrer o aumento da quantidade de fissuras, porém redução da área de abertura total das mesmas (TANESI e AGOPYAN, 1997).

Em todos os traços verifica-se que a perda de massa é diretamente proporcional ao teor de fibra. Provavelmente esta menor perda pelas argamassas de referência se deve ao fato das mesmas aparentemente apresentarem índice de vazios um pouco inferiores aos das argamassas reforçadas. Devido a isto as argamassas de referência apresentam uma estrutura de "pele" mais fechada retendo melhor a água dos capilares.

#### 4.2.2 Resistência à tração na flexão

As Tabelas 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 e 4.15 mostram todos os resultados médios encontrados no ensaio de resistência à tração na flexão conforme o prescrito pela DIN 18555: part 3 (1982).

Tabela 4.10– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	8,47	0,61	7,16
A1/0,05	8,49	0,89	10,51
A1/0,15	7,77	0,37	4,82
A1/0,30	8,15	0,13	1,58

Tabela 4.11– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	7,50	0,63	8,44
A1/0,05	8,18	0,20	2,43
A1/0,15	7,57	0,41	5,36
A1/0,30	8,28	0,10	1,16

Tabela 4.12– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	5,81	0,34	5,92
A2/0,05	5,95	0,20	3,41
A2/0,15	6,18	0,48	7,69
A2/0,30	5,41	0,41	7,63

Tabela 4.13– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	5,10	0,14	2,76
A2/0,05	5,56	0,25	4,46
A2/0,15	5,38	0,06	1,06
A2/0,30	4,96	0,39	7,82

Tabela 4.14– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	2,78	0,13	4,68
A3/0,05	2,32	0,16	6,77
A3/0,15	2,46	0,08	3,33
A3/0,30	2,24	0,14	6,25

Tabela 4.15– Resultados médios da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	2,98	0,29	9,73
A3/0,05	2,51	0,08	2,99
A3/0,15	2,65	0,24	9,12
A3/0,30	2,29	0,14	5,92

Tabela 4.16- Variação da resistência à tração na flexão.

Argamassa	Variação entre a resistência à tração na flexão das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)
<b>Cura em câmara</b>	
A1/0,05	+ 0,24
A1/0,15	- 8,26
A1/0,30	- 3,78
A2/0,05	+ 2,41
A2/0,15	+ 6,37
A2/0,30	+ 6,88
A3/0,05	- 16,55
A3/0,15	- 11,51
A3/0,30	- 19,42

<b>Cura em saco plástico</b>	
A1/0,05	+ 9,07
A1/0,15	+ 0,93
A1/0,30	+ 10,40
A2/0,05	+ 9,02
A2/0,15	+ 5,49
A2/0,30	- 4,71
A3/0,05	- 15,77
A3/0,15	- 11,07
A3/0,30	- 23,15

A influência das fibras é mais perceptível no traço menos resistente (A3). Neste traço as fibras atuam desfavoravelmente nesta propriedade. Analisando o mesmo traço estatisticamente (ver Anexos) se observa que, independente do tipo de cura, não ocorre diferença significativa ao se comparar os teores entre si e que a diferença significativa encontra-se entre a argamassa de referência e qualquer um dos teores estudados, salvo apenas pelo traço com cura em saco plástico que não apresenta diferença significativa entre a argamassa de referência e o teor de 0,15%.

Ao analisar a variação de percentagem entre os resultados (ver Tabela 4.16) se verifica que a adição de fibras de polipropileno influencia consideravelmente na redução da resistência à tração na flexão das argamassas menos resistentes (A3), independente do tipo de cura. Provavelmente esta adição ocasionou uma maior "incorporação de ar" pelas argamassas reforçadas provocando assim um maior índice de vazios e redução da capacidade mecânica das mesmas.

Apesar de não atuarem favoravelmente na resistência à tração na flexão se observou que as fibras proporcionaram uma melhora quando da forma de ruptura dos corpos de prova. Nas argamassas reforçadas com fibra a ruptura pode ser considerada como uma ruptura menos frágil, apresentando uma pequena deformação plástica até chegar a ruptura.

Este tipo de comportamento provavelmente é decorrente do aumento da absorção de energia ocasionada pela alta capacidade de alongamento das fibras de polipropileno e pelo seu comprimento de ancoragem.

### 4.2.3 Resistência à compressão

As Tabelas da 4.17 à 4.25 e os Gráficos do 4.11 à 4.15 mostram todos os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cúbicos, com dois tipos de cura, conforme a DIN 18555: part 3 (1982) e os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos realizados conforme a NBR 13279 (1995).

Tabela 4.17– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	14,52	0,79	5,42
A1/0,05	15,61	0,91	5,85
A1/0,15	13,97	1,22	8,73
A1/0,30	13,73	0,58	4,22

Tabela 4.18– Resultados médios da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com em saco plástico das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	14,21	0,87	6,14
A1/0,05	16,31	1,53	9,38
A1/0,15	13,45	1,47	10,94
A1/0,30	15,99	1,05	6,55

Tabela 4.19– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1.

<b>Argamassa</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A1/0,00	15,82	1,96	12,37
A1/0,05	18,69	0,87	4,67
A1/0,15	16,97	1,05	6,17
A1/0,30	16,40	4,25	25,90

Tabela 4.20– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A2.

<b>Argamassa</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A2/0,00	7,06	0,58	8,26
A2/0,05	8,61	0,71	8,23
A2/0,15	9,58	0,76	7,96
A2/0,30	8,36	0,68	8,11

Tabela 4.21– Resultados médios da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com em saco plástico das argamassas A2.

<b>Argamassa</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A2/0,00	7,21	0,43	5,95
A2/0,05	7,61	0,54	7,06
A2/0,15	8,31	0,50	5,97
A2/0,30	8,12	0,18	2,18

Tabela 4.22– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2.

<b>Argamassa</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A2/0,00	7,61	0,51	6,64
A2/0,05	7,78	0,78	10,05
A2/0,15	8,69	0,18	2,08
A2/0,30	8,42	0,06	0,74

Tabela 4.23– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	4,87	0,19	3,95
A3/0,05	4,09	0,11	2,78
A3/0,15	4,49	0,18	4,05
A3/0,30	3,74	0,19	5,08

Tabela 4.24– Resultados médios da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	4,18	0,20	4,82
A3/0,05	3,57	0,26	7,25
A3/0,15	3,81	0,12	3,27
A3/0,30	3,17	0,18	5,57

Tabela 4.25– Resultados médios da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	3,76	0,08	2,18
A3/0,05	3,12	0,08	2,42
A3/0,15	3,25	0,03	0,89
A3/0,30	3,17	0,16	5,08

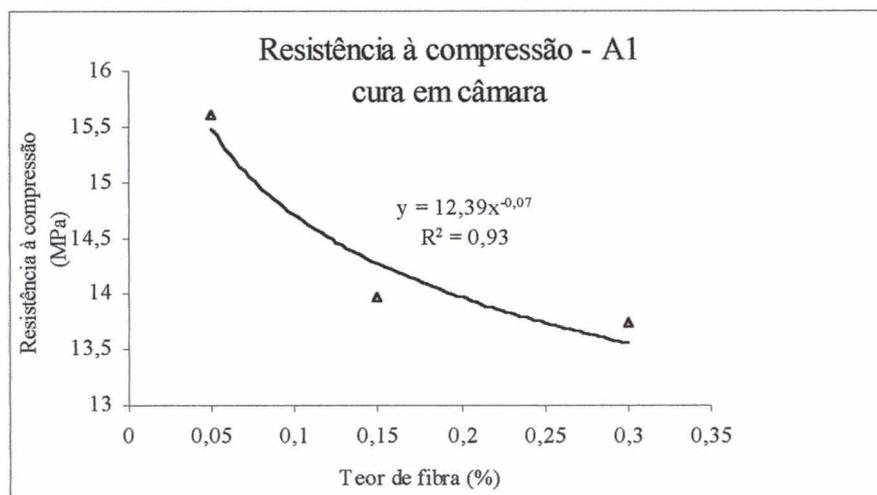


Gráfico 4.11 - Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A1 com cura em câmara.

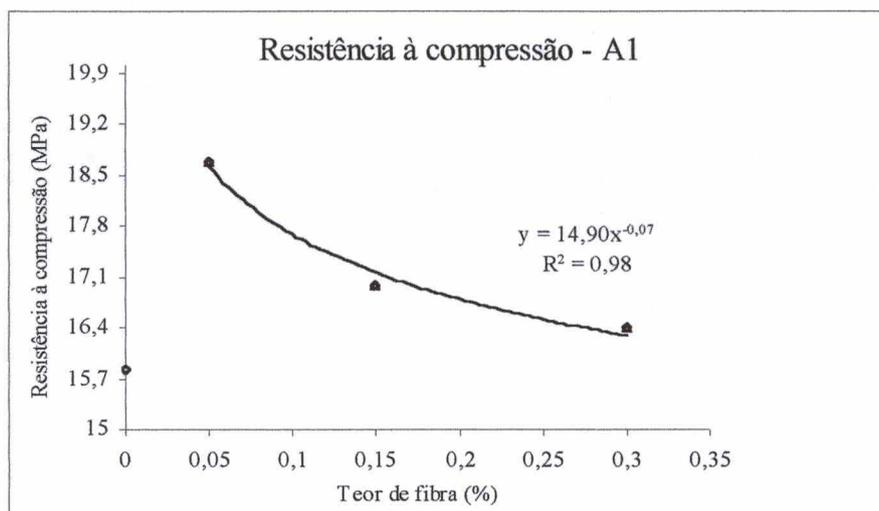


Gráfico 4.12- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos das argamassas A1 com cura em saco plástico.

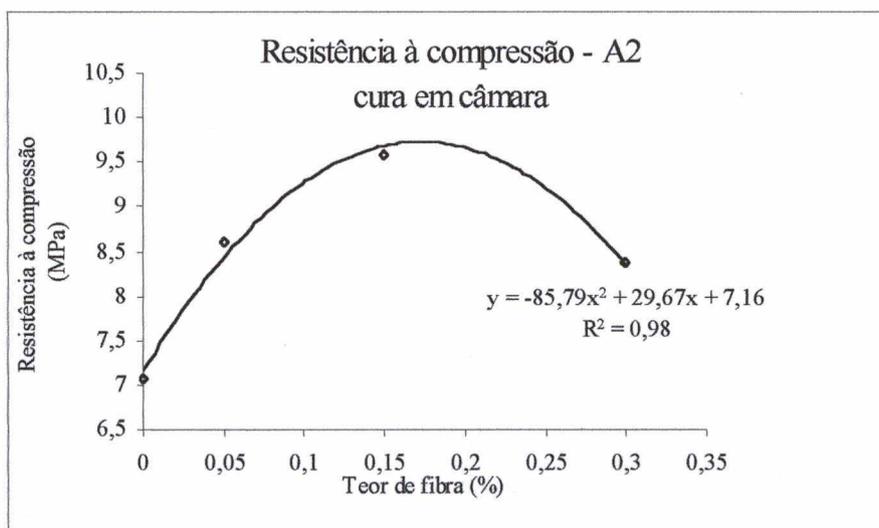


Gráfico 4.13- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A2 com cura em câmara.

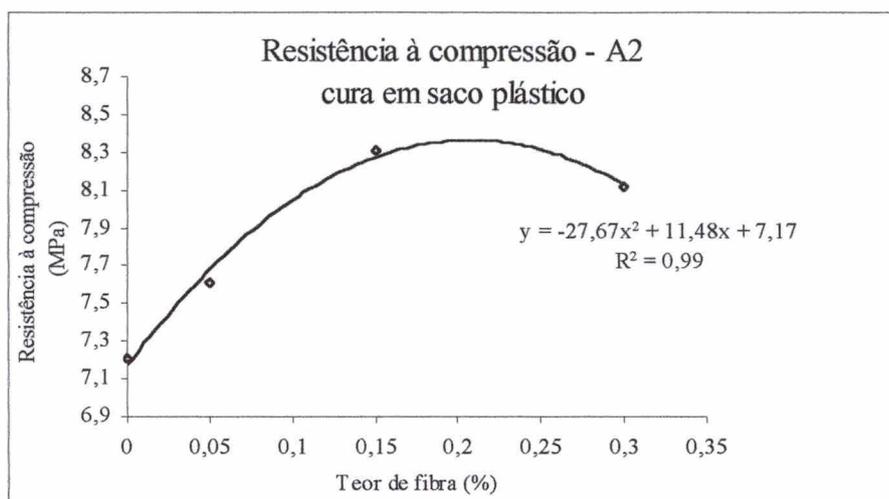


Gráfico 4.14- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cúbicos das argamassas A2 com cura em saco plástico.

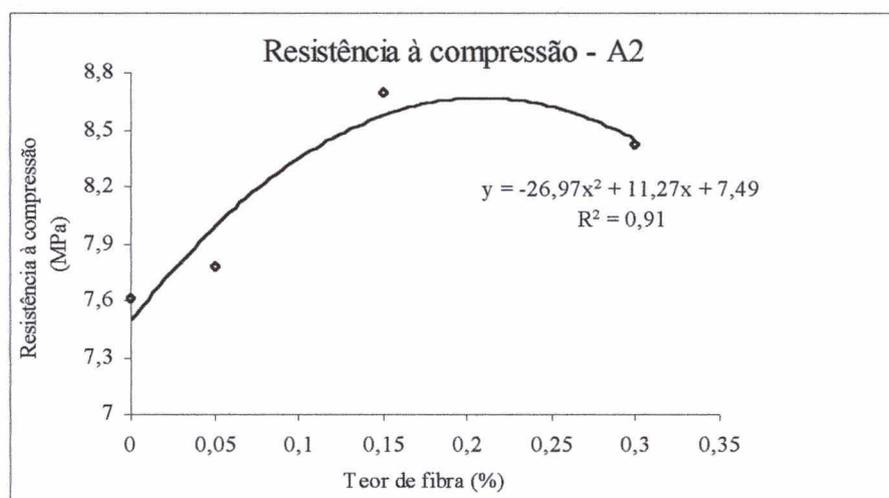


Gráfico 4.15- Correlação dos teores de fibra com a resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos das argamassas A2 com cura em saco plástico.

Analisando estatisticamente (ver Anexos) todos os resultados, se observa que em todos os traços com corpos de prova cúbicos os valores diferem significativamente entre si. Para os corpos de prova cilíndricos se verifica que para o traço A1 e A2 estatisticamente os valores não diferem entre si e que para o traço A3 há diferença significativa apenas quando se compara a argamassa de referência com os demais teores.

A análise de variação percentual (ver Tabela 4.26) mostra que em corpos de prova cilíndricos, nos traços A1 e A2, ocorre um aumento desta propriedade. Porém, para o traço A3 ocorre uma redução.

Tabela 4.26- Variação da resistência à compressão.

Argamassa	Varição entre a resistência à compressão das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)
<b>Corpos de prova cúbicos</b>	
Cura em câmara	
A1/0,05	+ 7,51
A1/0,15	- 3,79
A1/0,30	- 5,77
A2/0,05	+ 21,95
A2/0,15	+ 35,69
A2/0,30	+ 18,41
A3/0,05	- 16,02
A3/0,15	- 7,80
A3/0,30	- 23,00
Cura em saco plástico	
A1/0,05	+ 14,78
A1/0,15	- 5,35
A1/0,30	+ 12,53
A2/0,05	+ 5,55
A2/0,15	+ 15,26
A2/0,30	+ 12,62
A3/0,05	- 14,59
A3/0,15	- 8,85
A3/0,30	- 24,16
<b>Corpos de prova cilíndricos</b>	
A1/0,05	+ 14,35
A1/0,15	+ 7,33
A1/0,30	+ 2,72
A2/0,05	+ 2,23
A2/0,15	+ 14,19
A2/0,30	+ 10,64
A3/0,05	- 17,02
A3/0,15	- 13,56
A3/0,30	- 15,69

Para os traços A1 ao se correlacionar os teores de fibras adicionadas à mistura com a resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos com cura em câmara e com a resistência à

compressão dos corpos de prova cilíndricos, como mostram os Gráficos 4.11 e 4.12, respectivamente, se observa que em teores acima de 0,05% ocorre uma tendência à redução da resistência à compressão dos compósitos reforçados. Neste caso se considera o teor de 0,05% como teor ótimo. As equações e os coeficientes de correlação apresentados, respectivamente, foram obtidos após a eliminação dos pontos correspondentes as argamassas de referência (sem adição de fibras) de cada traço individualmente.

A correlação (Gráfico 4.13, 4.14 e 4.15) entre os teores de fibra e a resistência à compressão dos traços A2, independente da geometria dos corpos de prova e do tipo de cura mostra que em teores acima de 0,15% existe uma tendência à redução das resistências à compressão. Sendo assim, se considera 0,15% como o teor ótimo para este tipo de traço.

Por apresentar uma matriz com baixa relação cimento/cal e alta relação água/cimento (Tabela 3.13) o traço A3 apresenta visualmente uma estrutura porosa, conseqüentemente torna-se menos resistente que os outros traços (A1 e A2). A adição de fibra aumenta ainda mais esta porosidade devido ao maior teor de ar incorporado quando da produção das argamassas, provocando assim uma maior redução no desempenho do compósito. Os resultados encontrados apenas reforçam o que diz a literatura com relação às fibras de baixo módulo de elasticidade. Ou seja, de não influenciarem de forma favorável e significativa na resistência à compressão dos compósitos reforçados com as mesmas (ALHOZAIMY *et alii*, 1996).

Para o traço A2 se observa que ocorreu um aumento da resistência à compressão em todos os corpos de prova, independente do tipo de cura e da geometria dos mesmos. Provavelmente estes resultados decorrem da compensação dos danos sofridos pelos corpos de prova no ensaio de resistência à tração na flexão através da moderada relação cimento/cal.

No traço A1 este aumento ocorre apenas nos corpos de prova cilíndricos. Neste caso, o aumento conferido aos corpos de prova cúbicos pode ter sido comprometido pelos danos supostamente causados quando do ensaio de resistência à tração na flexão. Provavelmente o aumento desta propriedade deve-se às características inerentes deste traço que permitem a favorável atuação das fibras no controle da propagação das fissuras quando o compósito é solicitado e com a maior resistência de aderência fibra/matriz, tendendo a impedir o deslizamento da fibra, levando o compósito a se comportar como tal.

Como verificado, em alguns casos, as fibras podem atuar de forma desfavorável nesta propriedade. A redução da resistência à compressão provavelmente ocorre devido ao aumento da incorporação de vazios provocada pela fibra durante a produção dos compósitos.

Segundo a literatura (YOUNG *et alli*, 1998) ao se reduzir a relação altura/diâmetro dos corpos de prova de 2 para 1 a resistência à compressão aumenta em até 20%. Os resultados encontrados nos traços A2 e A3 confirmam os dados literários. Porém, os resultados do traço A1 os contradiz.

Como se trata de uma argamassa de cimento para o traço A1 o não aumento da resistência dos corpos de prova cúbicos quando comparados aos corpos de prova cilíndricos provavelmente se deve ao fato de que, por se tratar de materiais frágeis, o prévio ensaio de tração na flexão constatou micro fissuras no corpo de prova cúbico que acentuaram ainda mais a sua fragilidade. Isto provavelmente ocasionou tensões residuais que proporcionaram a redução da capacidade de deformação do material. Outro fator relevante é o efeito do corte realizado nas partes dos corpos de prova prismáticos quando da fabricação dos corpos de prova cúbicos. Este efeito pode ter introduzido tensões que comprometeram o desempenho do compósito.

Com relação às argamassas de cimento e cal (A2 e A3) a medida em que se aumenta a quantidade de cal, o compósito passa a apresentar maior plasticidade. Devido a isso a geração de fissuras, quando do ensaio a resistência à tração na flexão, é reduzida.

Neste caso os resultados encontrados mostram que quanto menos deformável a matriz maior os efeitos desfavoráveis do ensaio com corpos de prova cúbicos provenientes de ensaios de resistência à tração na flexão.

Nesta propriedade se pode dizer que o tipo de cura influenciou nos resultados dos traços que apresentam a cal como um de seus componentes. Nos traços A2 e A3 os corpos de prova que foram curados em câmara apresentaram um melhor desempenho que os curados em saco plásticos. Uma das explicações pode ser a carbonatação da cal que preenche os vazios (poros) do compósito atuando assim favoravelmente na resistência mecânica dos mesmos; a outra explicação seria no grau higrométrico dos corpos de prova sendo aqueles curados nos plásticos mais úmidos do que os curados em câmara.

#### 4.2.4 Absorção de água por imersão

Apresentam-se nas Tabelas 4.27 à 4.35 e nos Gráficos 4.16 à 4.21 os resultados médios obtidos nos ensaios de absorção de água conforme o prescrito pela NBR 9778 (1986). A apresentação e análise dos resultados refere-se apenas aos corpos de prova que não sofreram fervura.

Tabela 4.27- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A1.

Argamassa	Absorção por imersão (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	12,15	0,09	0,74
A1/0,05	12,18	0,07	0,55
A1/0,15	12,42	0,14	1,14
A1/0,30	12,34	0,15	1,18

Tabela 4.28- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A1.

Argamassa	Índice de vazios (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	22,15	0,07	0,32
A1/0,05	22,61	0,05	0,22
A1/0,15	23,00	0,21	0,91
A1/0,30	23,03	0,20	0,87

Tabela 4.29- Resultados médios das massas específicas das argamassas A1.

Massa específica	Argamassa	Massa específica média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Seca	A1/0,00	1,82	0,01	0,55
	A1/0,05	1,86	0,01	0,31
	A1/0,15	1,85	0,01	0,31
	A1/0,30	1,87	0,01	0,31
Saturada	A1/0,00	2,04	0,01	0,28
	A1/0,05	2,08	0,01	0,28
	A1/0,15	2,08	0,01	0,28
	A1/0,30	2,09	0,01	0,28
Real	A1/0,00	2,34	0,01	0,43
	A1/0,05	2,40	0,01	0,24
	A1/0,15	2,41	0,01	0,24
	A1/0,30	2,42	0,01	0,24

Tabela 4.30- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A2.

Argamassa	Absorção por imersão (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	13,34	0,14	1,04
A2/0,05	13,75	0,11	0,81
A2/0,15	13,56	0,14	1,01
A2/0,30	13,86	0,09	0,63

Tabela 4.31- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A2.

Argamassa	Índice de vazios (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	22,99	0,20	0,88
A2/0,05	24,85	0,15	0,61
A2/0,15	24,64	0,17	0,70
A2/0,30	25,22	0,10	0,40

Tabela 4.32- Resultados médios das massas específicas das argamassas A2.

<b>Massa específica</b>	<b>Argamassa</b>	<b>Massa específica média (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
Seca	A2/0,00	1,72	0,01	0,34
	A2/0,05	1,81	0,01	0,32
	A2/0,15	1,82	0,01	0,32
	A2/0,30	1,82	0,01	0,32
Saturada	A2/0,00	1,95	0,00	0,00
	A2/0,05	2,06	0,01	0,28
	A2/0,15	2,06	0,01	0,28
	A2/0,30	2,07	0,01	0,28
Real	A2/0,00	2,24	0,00	0,00
	A2/0,05	2,41	0,01	0,24
	A2/0,15	2,41	0,01	0,24
	A2/0,30	2,43	0,01	0,24

Tabela 4.33- Resultados médios da absorção de água por imersão das argamassas A3.

<b>Argamassa</b>	<b>Absorção por imersão (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A3/0,00	17,16	0,12	0,71
A3/0,05	17,40	0,04	0,25
A3/0,15	17,45	0,04	0,20
A3/0,30	17,30	0,09	0,50

Tabela 4.34- Resultados médios do índice de vazios das argamassas A3.

<b>Argamassa</b>	<b>Índice de vazios (%)</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
A3/0,00	29,64	0,19	0,64
A3/0,05	29,92	0,05	0,17
A3/0,15	30,07	0,08	0,25
A3/0,30	29,77	0,16	0,53

Tabela 4.35- Resultados médios das massas específicas das argamassas A3.

Massa específica	Argamassa	Massa específica média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Seca	A3/0,00	1,73	0,01	0,33
	A3/0,05	1,72	0,00	0,00
	A3/0,15	1,72	0,00	0,00
	A3/0,30	1,72	0,00	0,00
Saturada	A3/0,00	2,02	0,01	0,29
	A3/0,05	2,02	0,00	0,00
	A3/0,15	2,02	0,01	0,29
	A3/0,30	2,02	0,00	0,00
Real	A3/0,00	2,46	0,01	0,47
	A3/0,05	2,45	0,01	0,24
	A3/0,15	2,46	0,01	0,23
	A3/0,30	2,45	0,01	0,24

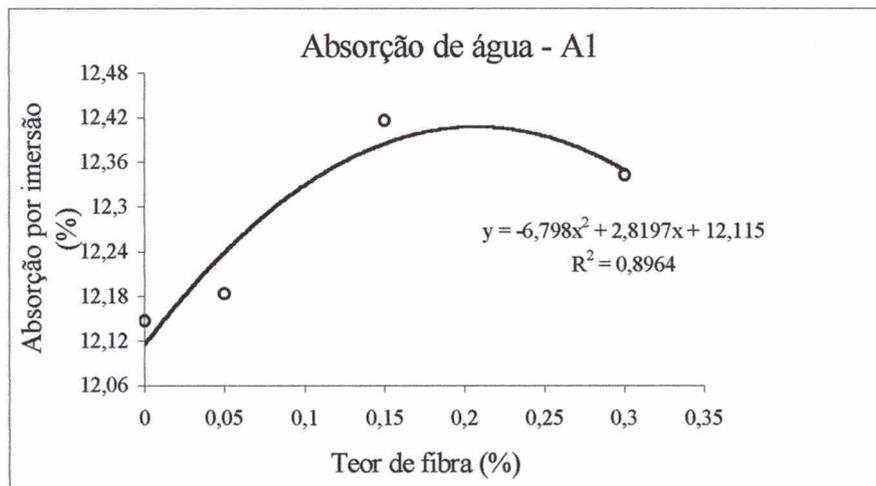


Gráfico 4.16- Correlação dos teores de fibra com a absorção de água por imersão das argamassas A1.

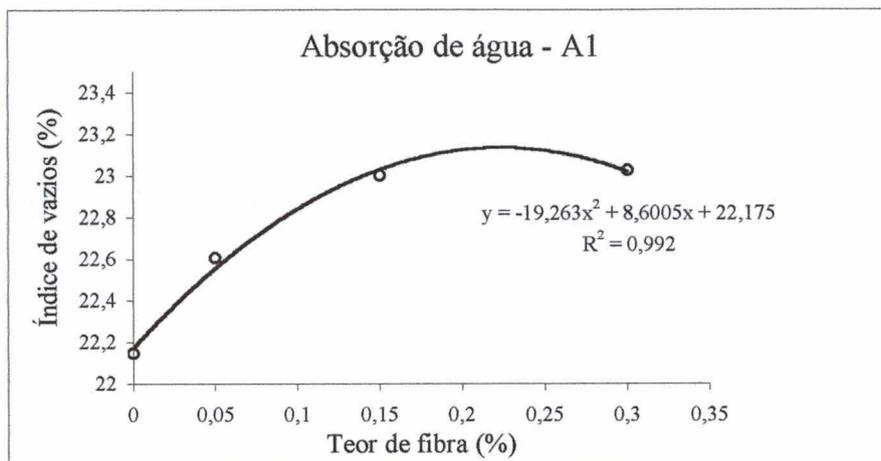


Gráfico 4.17- Correlação dos teores de fibra com o índice de vazios das argamassas A1.

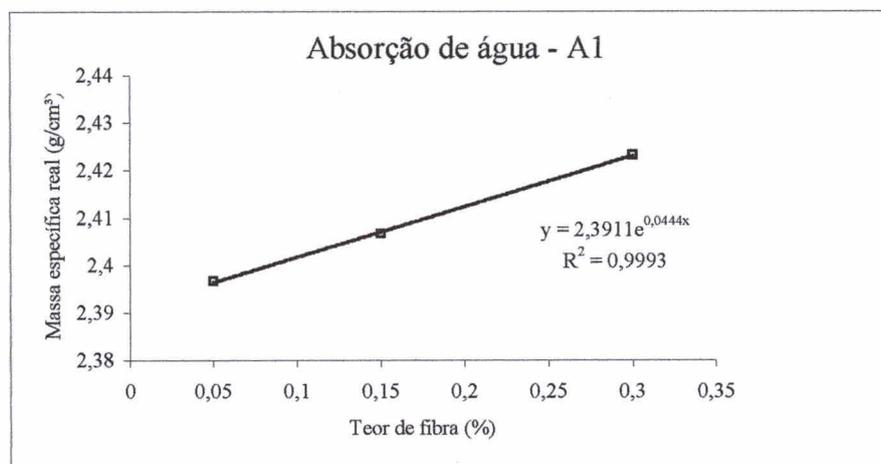


Gráfico 4.18- Correlação dos teores de fibra com a massa específica real das argamassas A1.

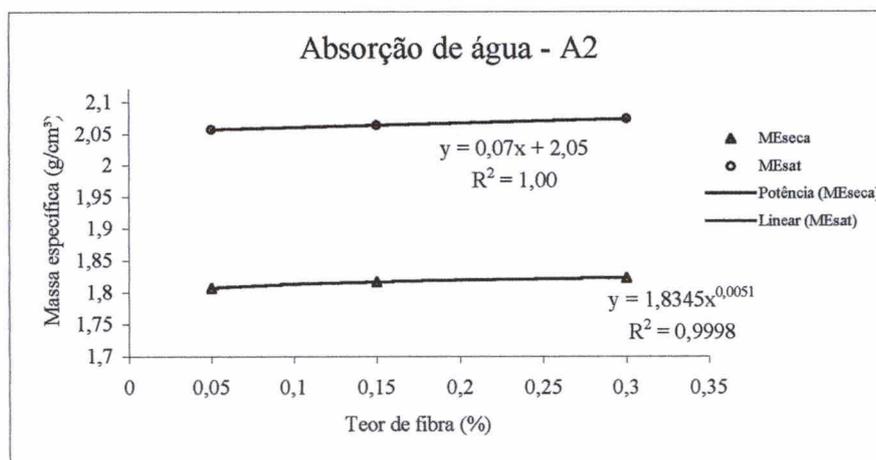


Gráfico 4.19- Correlação dos teores de fibra com as massas específicas das argamassas A2.

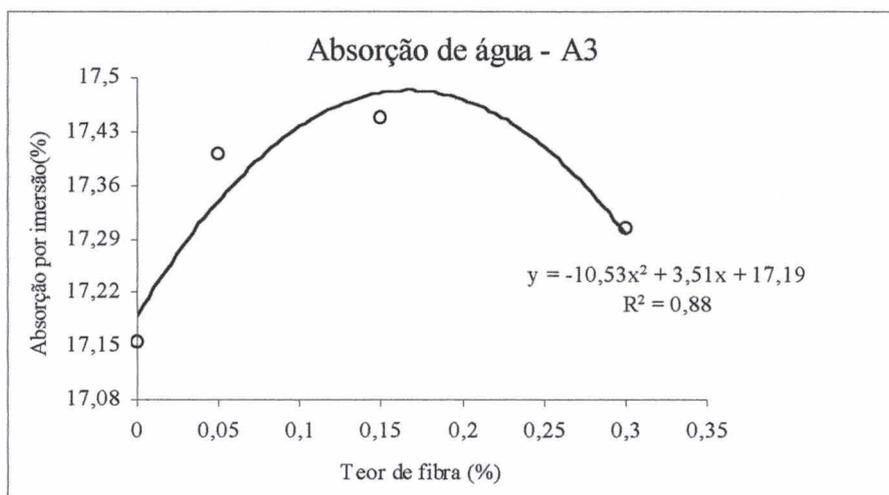


Gráfico 4.20- Correlação dos teores de fibra com a absorção de água por imersão das argamassas A3.

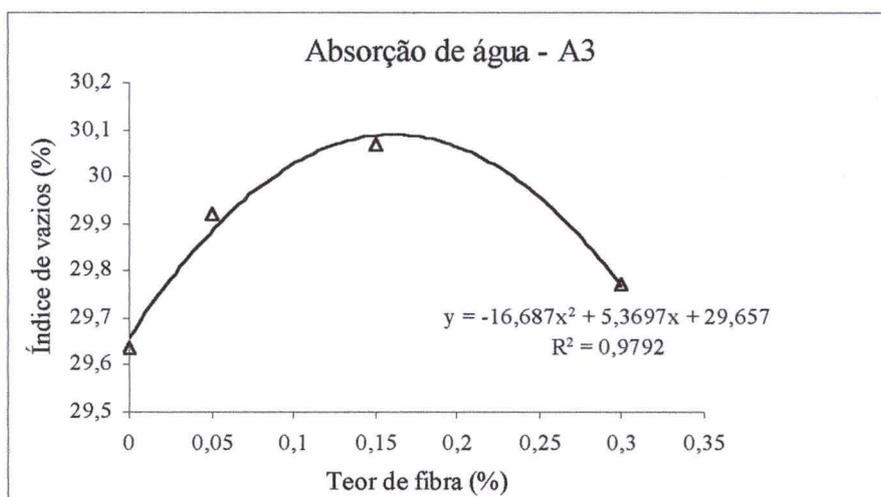


Gráfico 4.21- Correlação dos teores de fibra com o índice de vazios das argamassas A3.

A análise estatística dos resultados (ver Anexos) para o ensaio absorção de água por imersão mostra que para o traço A1 os resultados não diferem significativamente entre si. Enquanto que para o traço A2 e A3 ocorre diferença significativa.

Com relação ao índice de vazios, estatisticamente (ver Anexos), ocorre diferença significativa entre os resultados em todos os traços.

Para as massas específicas (seca, saturada e real) a análise estatística (ver Anexos) mostra que ocorre diferença significativa entre os resultados do traço A1 e A2. O traço A3 estatisticamente não apresenta diferença significativa.

Tabela 4.36- Variação da absorção por imersão.

<b>Argamassa</b>	<b>Variação entre a absorção por imersão das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)</b>
A1/0,05	+ 0,25
A1/0,15	+ 2,22
A1/0,30	+ 1,56
A2/0,05	+ 3,07
A2/0,15	+ 1,65
A2/0,30	+ 3,90
A3/0,05	+ 1,40
A3/0,15	+ 1,69
A3/0,30	+ 0,82

Tabela 4.37- Variação do índice de vazios.

<b>Argamassa</b>	<b>Variação entre índice de vazios das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)</b>
A1/0,05	+ 2,08
A1/0,15	+ 3,84
A1/0,30	+ 3,97
A2/0,05	+ 8,09
A2/0,15	+ 7,18
A2/0,30	+ 9,70
A3/0,05	+ 0,94
A3/0,15	+ 1,45
A3/0,30	+ 0,44

Tabela 4.38- Variação das massas específicas.

<b>Argamassa</b>	<b>Variação entre as massas específicas das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)</b>
<b>Massa específica seca</b>	
A1/0,05	+ 2,20
A1/0,15	+ 1,65
A1/0,30	+ 2,75
A2/0,05	+ 5,23
A2/0,15	+ 5,23
A2/0,30	+ 5,81

A3/0,05	- 0,58
A3/0,15	- 0,58
A3/0,30	- 0,58
<b>Massa específica saturada</b>	
A1/0,05	+ 1,96
A1/0,15	+ 1,96
A1/0,30	+ 2,45
A2/0,05	+ 5,64
A2/0,15	+ 5,64
A2/0,30	+ 6,15
A3/0,05	0
A3/0,15	0
A3/0,30	0
<b>Massa específica real</b>	
A1/0,05	+ 2,56
A1/0,15	+ 2,99
A1/0,30	+ 3,42
A2/0,05	+ 7,59
A2/0,15	+ 7,59
A2/0,30	+ 8,48
A3/0,05	- 0,41
A3/0,15	0
A3/0,30	- 0,41

Apesar da diferença significativa apresentada entre alguns resultados pela análise estatística (ver Anexos) ao se analisar a variação percentual (Tabelas 4.36, 4.37 e 4.38) se pode dizer que a adição de fibras não influencia na absorção por imersão, no índice de vazio, salvo pelo traço A2, e nas massas específicas.

Porém, ao se correlacionar os teores de fibras com a absorção de água por imersão e com o índice de vazios no traço A1 e A3 como mostram os gráficos 4.16, 4.20, 4.17 e 4.21, respectivamente, se observa que a adição de fibra tende a aumentar a absorção de água e o índice de vazios em volumes abaixo de 0,15%, sendo que para teores acima deste valor a tendência é que ocorra uma redução.

Esta tendência ao aumento da absorção de água por imersão é consequência do aumento do índice de vazios nas argamassas pelo fato das fibras contribuírem para o aumento da incorporação de ar pelos compósitos durante o seu processo de mistura.

Para as massas específicas ocorre correlação no traço A1 entre o teor de fibra e as massas específicas secas (Gráfico 4.18) e no traço A2 entre o teor de fibra e as massas específicas seca e real mostradas no Gráfico 4.19. Em ambos os casos se verifica que as massas específicas são diretamente proporcionais ao teor de fibra. Como a adição de fibra contribui para o aumento do teor de ar incorporado pelos compósitos estas correlações contradizem o fato de que a massa específica é inversamente proporcional ao índice de vazios.

#### 4.2.5 Absorção de água por capilaridade

As Tabelas 4.39 à 4.42 e os Gráficos 4.22 à 4.24 apresentam os resultados encontrados neste ensaio.

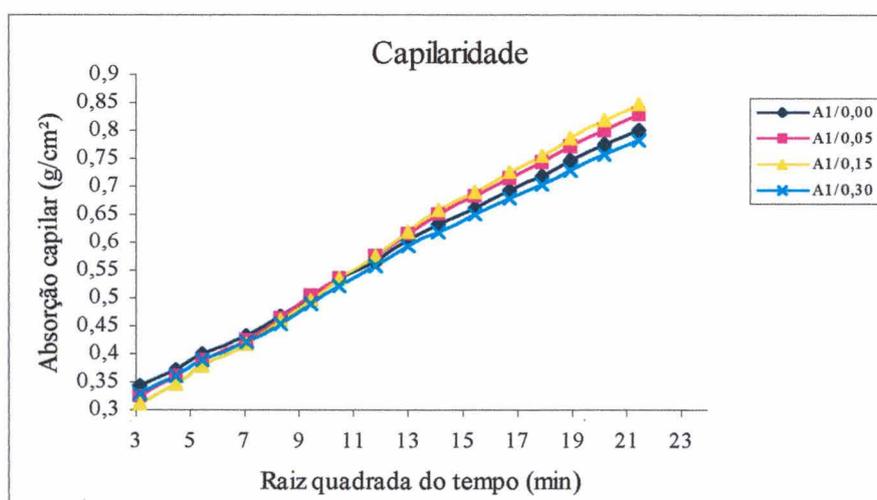


Gráfico 4.22- Absorção de água por capilaridade das argamassas A1.

Tabela 4.39- Correlação obtida no ensaio de absorção por capilaridade das argamassas A1.

Argamassa	Coefficiente de correlação (R <sup>2</sup> )	Equação da reta ajustada	Coefficiente de absorção
A1/0,00	0,9984	y = 0,0256x + 0,2605	0,0256
A1/0,05	0,9976	y = 0,0282x + 0,2365	0,0282
A1/0,15	0,9979	y = 0,0301x + 0,2154	0,0301
A1/0,30	0,9975	y = 0,0253x + 0,2497	0,0253

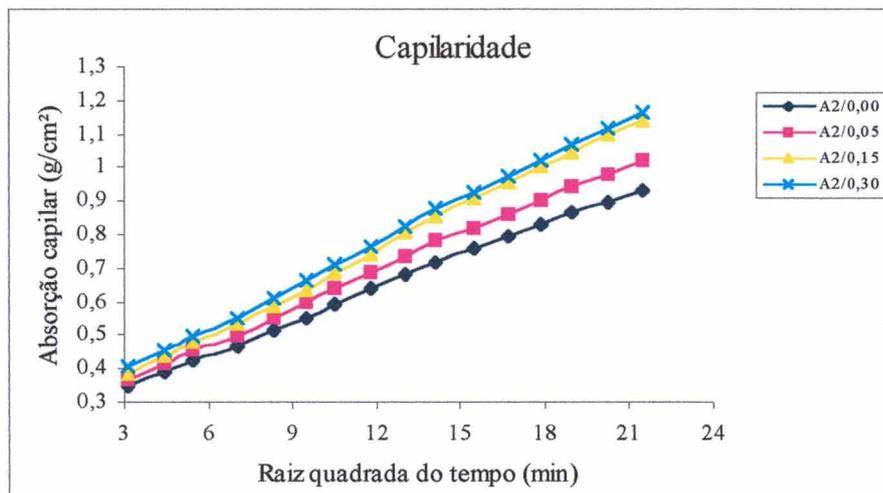


Gráfico 4.23- Absorção de água por capilaridade das argamassas A2.

Tabela 4.40- Correlação obtida no ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassa A2.

Argamassa	Coefficiente de correlação (R <sup>2</sup> )	Equação da reta ajustada	Coefficiente de absorção
A2/0,00	0,9987	y = 0,0325x + 0,2478	0,0325
A2/0,05	0,9988	y = 0,0362x + 0,2545	0,0362
A2/0,15	0,9990	y = 0,0422x + 0,2444	0,0422
A2/0,30	0,9990	y = 0,0423x + 0,2643	0,0423

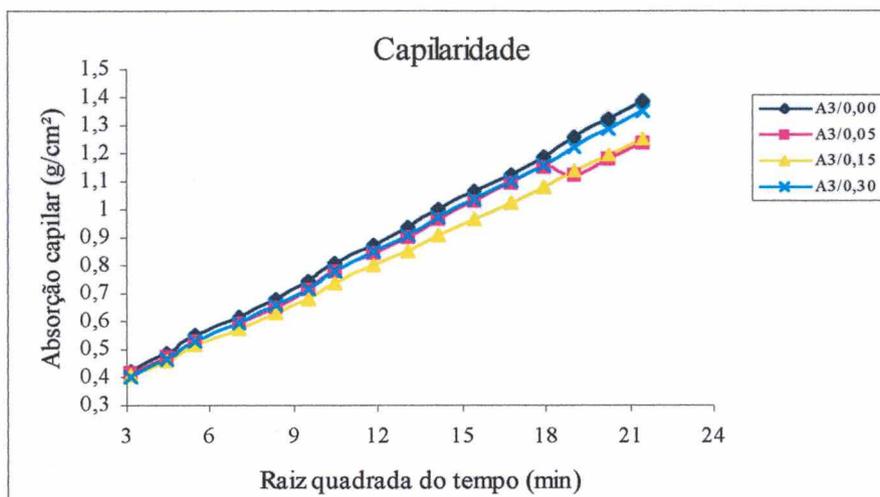


Gráfico 4.24- Absorção de água por capilaridade das argamassas A3.

Tabela 4.41- Correlação obtida no ensaio de absorção de água por capilaridade das argamassa A3.

Argamassa	Coefficiente de correlação (R <sup>2</sup> )	Equação da reta ajustada	Coefficiente de absorção
A3/0,00	0,9995	y = 0,0527x + 0,2493	0,0527
A3/0,05	0,9900	y = 0,0464x + 0,2781	0,0464
A3/0,15	0,9995	y = 0,0463x + 0,2497	0,0463
A3/0,30	0,9996	y = 0,0521x + 0,2318	0,0521

Tabela 4.42- Variação da absorção por capilaridade.

Argamassa	Variação entre a absorção por capilaridade das argamassas reforçadas e das argamassas de referência (%)
A1/0,05	+ 3,75
A1/0,15	+ 6,25
A1/0,30	- 2,50
A2/0,05	+ 9,68
A2/0,15	+ 22,58
A2/0,30	+ 24,73
A3/0,05	- 10,14
A3/0,15	- 9,42
A3/0,30	- 2,17

Analisando os resultados encontrados se pode concluir que no traço A1 as fibras não alteraram esta propriedade. Porém, para o traço A2 ocorre um aumento e para o traço A3 uma redução de absorção de água pelas argamassas.

Os resultados mostram coeficientes de absorção capilar baixos, onde os mesmos são diretamente proporcionais a relação cimento/cal. O procedimento experimental utilizado neste ensaio provavelmente explica estes resultados. Ao se utilizar um impermeabilizante nas faces laterais dos corpos de prova a entrada da água tornou-se unidirecional além do fato de que a água que percolava pelos poros não evaporava. Outro fator que deve ser considerado é a influência do óxido de magnésio que ao se formar pode ter preenchido estes poros que possuem dimensões microscópicas.

A análise dos gráficos permite concluir que a absorção capilar é diretamente proporcional ao tempo. Ao analisar a influência da variação dos teores se observa que para o traço A2 e A3 a absorção capilar é diretamente proporcional ao teor de fibras adicionado à mistura.

## CAPÍTULO 5

# CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo encontram-se as principais conclusões obtidas no Estudo Experimental da referente pesquisa, além de recomendações para trabalhos futuros.

### 5.1 Conclusões

As fibras atuam nos compósitos como um agente capaz de melhorar a coesão das matrizes. Isto resulta em uma redução da trabalhabilidade e do índice de consistência. Estas reduções são diretamente proporcionais ao teor de fibra adicionado.

Em traços que não possuem a cal como um de seus componentes se observa que existe uma tendência deste material em aumentar a sua retenção de água à medida em que se eleva o teor de fibra. A cal inibe a atuação das fibras quando da retenção de água. No caso dos traços que possuem a cal na sua composição a tendência é que ocorra uma redução desta propriedade à medida que o teor de fibras for elevado.

Com relação à retração, apesar dos resultados serem semi-quantitativos se conclui que a perda de massa do compósito é diretamente proporcional ao teor de fibra. Apesar de provocarem uma maior perda de massa pode-se notar que as fibras reduzem a retração não só nas primeiras horas mas ao longo de todo o período de cura (28 dias). As fibras podem ter desenvolvido um "efeito de compensação" com relação a expansão do compósito causada pela não maturação prévia da cal antes da sua utilização, atuando assim na estabilização dimensional do compósito.

Na resistência à tração na flexão quando adicionadas em teores entre 0,05 e 0,30%, as fibras não elevaram o desempenho do compósito. No caso das argamassas menos resistentes (A3) estas adições chegaram a reduzir consideravelmente esta propriedade. Porém, atuam favoravelmente na forma de ruptura das argamassas reforçadas. Onde os mesmos passam a apresentar uma pequena deformação plástica até atingir a ruptura.

Para a resistência à compressão pode-se concluir que para os traços A1 e A2 o teor de 0,05 e 0,15%, respectivamente, são considerados como o teor ótimo de fibras a serem adicionados à mistura. Porém no traço A3 a adição de fibra, em qualquer dos teores analisados, contribui desfavoravelmente nesta propriedade. Nas argamassas mistas de cimento e cal verifica-se que o tipo de cura influencia.

O método de ensaio prescrito pela DIN 18555: part 3 pode levar a não confiabilidade dos resultados quando utilizado em matrizes muito resistentes.

Provavelmente o aparente aumento da resistência mecânica destas argamassas pode estar relacionado a três fatores:

- "Melhor qualidade" dos hidratos formados devido a nucleação heterogênea;
- A ruptura menos frágil devido a incorporação de fibras;
- Uma melhor distribuição do tamanho dos poros.

Na absorção por imersão, índice de vazios e massas específicas a adição de fibras não apresentaram influência significativa.

A adição de fibras não mostram influência na absorção de água por capilaridade. A metodologia de ensaio utilizada neste ensaio e a não maturação prévia da cal provocaram baixos coeficientes de absorção.

## **5.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Analisar a influência das fibras na interface argamassa/substrato.

Verificar a influência das fibras nos compósitos com a cal previamente maturada.

Aprimorar os ensaios de retração e módulo de deformação utilizados.

Verificar a influência das fibras nas propriedades das argamassas que contenham incorporador de ar em substituição a cal.

Analisar microestruturalmente os compósitos formulados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. Exemplo de aplicação da ciência dos materiais aos materiais de construção civil – o caso dos materiais fibrosos. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, I, 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1988. p. 34-41.

AGOPYAN, V.; DANTAS, F. A. S. Estudo da influência das fibras de polipropileno na fissuração de pastas e argamassas de cimento, devida ao fenômeno da retração. **Anais EPUSP**, sér. A, pt. 5, São Paulo, p. 607-618, 1988.

AÏTCIN, P.-C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: PINI, 2000.

ALHOZAIMY, A. M.; SOROUSHIAN, P.; MIRZA, F. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of pozzolanic materials. **Cement & Concrete Composites**, v. 18, p. 85-92, 1996.

ALLAN, M. L.; KUKACKA, L. E. Permeability of microcracked fibre – reinforced containment barriers. **Waste Management**, USA, v. 15, n. 2, p. 171-177, 1995.

ALMEIDA, M. O. **Estudo da tenacidade e proposta de nova configuração do ensaio de flexão em placas para os concretos reforçados com fibras de aço**. 1999. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas, Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: cimento portland – determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_. **NBR 7217**: agregados – determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 7220**: Agregados – determinação de impurezas orgânicas e húmicas em agregados, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 7251**: agregado em estado solto - determinação da massa unitária, Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_. **NBR 9778**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 9779**: argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por capilaridade, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_. **NBR 13276**: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_. **NBR 13278**: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_. **NBR 13279**: argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos, Rio de Janeiro, 1995.

BAYLAYSSAC, J. P. **Relations entre performances mécaniques, microstructure et durabilité de bétons**. 1992. 192 p. Thèse (Doctorat Génie Civil) – Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse , Toulouse, France.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. London and New York: Elsevier Applied Publishers Ltd, 1990.

BORTOLUZZO, C. W.; LIBORIO, J. B. L. Determinação das tensões devido retração impedida em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UEFS/PPGEC, 1999. v. 1, p. 125-136.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS 5628: Part 3: materials and components, desing and workmanship**, Londres, 1985.

\_\_\_\_. **BS 1200: sands for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwork, blockwalling**, Londres, 1976.

BUDINSKI, K. G. **Engineering Materials: properties and selection**. New Jersey: Prentice Hall International, 5ª edition, 1996. 653 p.

CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar - propriedades e recomendações**. 2000. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência da argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CEPED/EPUFBA/UCSAL/UEFS, 1997. p. 131-146.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. **Boletim 68 IPT**, 1995, São Paulo. 118 p.

DAFICO, D. A.; PAZ, M. A. da S.; SANTOS, S. Utilização de fibras de polipropileno em argamassas de assentamento de blocos cerâmicos com furos na vertical. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CEPED/EPUFBA/UCSAL/UEFS, 1997. p. 296-306.

DANTAS F. A. S.; AGOPYAN, V. Adição de fibras em concretos de baixo consumo de cimento – análise da fissuração devido à retração. **Boletim IPT**, 1988, São Paulo, 12 p.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18555: part 3** – testing mortars containing mineral binders: determination of flexural strength, compressive strength and bulk density. Berlin, 1982.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimento**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: PINI, 1994.

HANNANT, D. J. Fibre-reinforced cements and concretes. In: J. M. Illston. **Construction Materials**. 2ª edition. E & FN SPON, 1994.

HANNANT, D. J. Durability of polypropylene fibers in portland cement-based composites: eighteen years of data. **Cement and Concrete Research**, USA, v. 28, n. 12, p. 1809-1817, 1998.

HOLLAWAY, L. Polymers and polymer composites. In: J. M. Illston. **Construction Materials**. 2ª edition. E & FN SPON, 1994.

HUANG, W. Properties of cement-fly ashgrout admixed with bentonite, silica fume, or organic fiber. **Cement and Concrete Research**, USA, v. 27, n. 3, p. 395-406, 1997.

INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES – RILEM. **LUM A 6**: compressive strength of mortar. France: E & FN Spon. RILEM, 1991.

———. **LUM A 7**: flexural strength of mortar. France: E & FN Spon. RILEM, 1991.

———. **MR 3**: the complex workability – consistence - plasticity. France: E & FN Spon. RILEM, 1982.

———. **MR 4**: water-retention capacity of mortar. France: E & FN Spon. RILEM, 1982.

\_\_\_\_\_. **MR 12**: determination of changes in length of mortar specimens (based on BS 187: 1977). France: E & FN Spon. RILEM, 1982.

JOHNSTON, C. D. Fibre-reinforced cement and concrete. In: V. M. MALHOTRA. **Advances in Concrete Technology**. 2ª edition. Ottawa: V. M. Malhotra, 1992.

KAYALI, O.; HAQUE, M. N.; ZHU, B. Drying shrinkage of fibre-reinforced lightweight aggregate concrete containing fly ash. **Cement and Concrete Research**, 27, p. 1835-1840, 1999.

KOPSCHITZ, P.; FRANCINETE, Jr., P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CEPED/EPUFBA/UCSAL/UEFS, 1997. p. 120-132.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MORLIER, P.; KHENFER M. M. Effet de la longueur des fibres sur les propriétés mécaniques des ciments renforcés de fibres cellulósiques. **Materials and Structures**, v. 24, p. 185-190, 1991.

MÜLLER, A.; GLEIZE, Ph.; ROMAN, H. R. Propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento com adições minerais e orgânicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UEFES/PPGEC, 1999. v. 1, p. 309-322.

PEREIRA, P. C.; IKEDA, J. A.; IKEDA, N. A.; CAMPOS, C. O.; TEXEIRA, L. M.; CARASEK, H. Teor de cimento ou a/c: quem exerce maior influência na resistência de aderência?. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UEFES/PPGEC, 1999. v. 2, p. 489-502.

PINTO, J. A. N. **Elementos para dosagem de argamassas**. 2ª edição. Santa Maria, 1996. 143 p.

PINTO Jr., N. O.; BINA, P. Pisos industriais construídos com concreto dosado com fibras. In: REIBRAC – IBRACON, 38º, 1996, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 1996. v. 1, p. 63-78.

PUTERMAN, M. Natural and accelerated weathering of PVC and polypropylene waste-water pipes. **Materials and Structures**, v. 22, p. 170-175, 1989.

REGATTIERI, C. E. X.; SILVA, M. G.; HELENE, P.; AGOPYAN, V.; ABREU, J. V. Estudo de algumas propriedades do concreto reforçado com fibras de aço e polipropileno destinados a pavimentos. In: REIBRAC – IBRACON, 38º, 1996, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 1996. v. 1, p. 1-14.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**: recebimento, transporte interno, estocagem, manuseio e aplicação. São Paulo: PINI, 1995.

ROCHA, M. F. P.; OLIVEIRA, L. A. P. Influência da absorção capilar dos blocos cerâmicos na resistência à compressão da argamassa de assentamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UEFS/PPGEC, 1999. v. 2, p. 477-487.

ROMAN, H. Argamassas de assentamento para alvenarias. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, III, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CTC-UFSC/DEC/NPC, 1991. p. 111-116.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: UFSC, 1999. 83 p.

SABBATINI, F. H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistentes. **Boletim IPT**, 1986, São Paulo, 26 p.

SÁNCHEZ, J.; BARRIOS, A. La retraccio en los morteros de cal. **Materiales de Construcción**, v. 47, n. 245, p. 17-28, jan./fev./mar, 1997.

SANJUÁN, M. A.; MORAGUES, A. Polypropylene-fibre-reinforced mortar mixes: optimization to control plastic shrinkage. **Composites Science and Technology**, v. 57, p. 655-660, 1997.

SANJUÁN, M. A. *et alli*. Effect of polypropylene fibre reinforced mortars on steel reinforcement corrosion induced by carbonation. **Materials and Structures**, v. 31, p. 343-349, jun. 1998.

SARVARANTA, L.; MIKKOLA, E. Fibre mortar composites under fire conditions: effects of ageing and moisture content of specimens. **Materials and Structures**, v. 27, p. 532-538, 1994.

SAVASTANO Jr., H.; DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras – correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas. **Boletim 67 IPT**, 1994, São Paulo: PINI.

TANESI, J.; TORNERI, P.; FIGUEIREDO, A. D. A influência das fibras de polipropileno na fissuração por retração. In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, IV – CONGRESSO DE CONTROLE DE QUALIDADE, VI, 1997, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: LEME-CPGEC/DEC/UFRGS, 1997. p. 273-280.

TANESI, J.; AGOPYAN, V. Compósitos reforçados com fibras plásticas para construção civil. ENCONTRO TECNOLOGIA DE SISTEMAS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL, II, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 1997. P. 219-252.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. Fissuração por retração em concretos reforçados com fibras de polipropileno (CRFP). **Boletim IPT**, 1999, São Paulo.

TAYLOR, G. D. **Construction Materials**. Longman Scientific & Technical, 1994.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: PINI, 1989.

TOLÊDO FILHO, R. D.; SANJUÁN, M. A. Effect to low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortar at early age. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1597-1664, 1999.

TOUTANJI, H.; McNEIL, S.; BAYASI, Z. Chloride permeability and impact resistance of polypropylene-fiber-reinforced silica fume concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 28, n. 7, p. 961-968, 1998.

TOUTANJI, H. Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 13, p. 171-177, 1999.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

YOUNG, J. F.; MINDESS, S.; GRAY, R. J.; BENTUR, A. **The Science and Technology of Civil Engineering Materials**. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

**Anexo A**

Tabela A1- Resultados do índice de consistência das argamassas A1.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	266	259	7,02	2,71
	252			
	260			
A1/0,05	245	243	2,65	1,09
	240			
	244			
A1/0,15	228	229	1,00	0,44
	230			
	229			
A1/0,30	200	198	2,08	1,05
	196			
	197			

Tabela A2- Comparação entre as médias do índice de consistência das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	6166,917	3	2055,639	133,3387	3,61E-07	4,06618
Dentro dos grupos	123,3333	8	15,41667			
Total	6290,25	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	197,6667	x4-x1	61,66667	DS
R2	7,390132	<b>X2</b>	229,0000	x4-x2	30,33333	DS
R3	9,158323	<b>X3</b>	243,0000	x4-x3	16,33333	DS
R4	10,26911	<b>X4</b>	259,3333	x3-x1	45,33333	DS
				x3-x2	14,00000	DS
				x2-x1	31,33333	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > R_k$ .

Tabela A3- Resultados da retenção de água das argamassas A1.

Argamassa	Retenção (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	76,69	76,50	0,17	0,22
	76,38			
	76,42			
A1/0,05	82,34	82,32	0,02	0,02
	82,30			
	82,33			
A1/0,15	84,08	83,82	0,27	0,32
	83,54			
	83,84			
A1/0,30	85,06	85,28	0,24	0,28
	85,26			
	85,54			

Tabela A4- Comparação entre as médias da retenção de água das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	133,3938	3	44,46459	1111,297	8,07E-11	4,06618
Dentro dos grupos	0,320091	8	0,04001			
Total	133,7139	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	76,49802	x4-x1	8,784761	DS
R2	0,376486	<b>X2</b>	82,32466	x4-x2	2,958121	DS
R3	0,466566	<b>X3</b>	83,81993	x4-x3	1,462852	DS
R4	0,523154	<b>X4</b>	85,28278	x3-x1	7,321909	DS
				x3-x2	1,495270	DS
				x2-x1	5,826640	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > R_k$ .

Tabela A5– Resultados da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	8,96	8,47	0,61	7,16
	8,65			
	7,79			
A1/0,05	7,63	8,49	0,89	10,51
	9,25			
	8,58			
A1/0,15	7,37	7,77	0,37	4,82
	8,11			
	7,84			
A1/0,30	8,11	8,15	0,13	1,58
	8,04			
	8,29			

Tabela A6- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	1,0105	3	0,336833	1,135138	0,391529	4,06618
Dentro dos grupos	2,373867	8	0,296733			
Total	3,384367	11				
RK		X1	7,773333	x4-x1	0,713333	NDS
R2	1,022745	X2	8,146667	x4-x2	0,340000	NDS
R3	1,270586	X3	8,466667	x4-x3	0,020000	NDS
R4	1,424691	X4	8,486667	x3-x1	0,693333	NDS
				x3-x2	0,320000	NDS
				x2-x1	0,373333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A7– Resultados da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	8,23	7,50	0,63	8,44
	7,10			
	7,17			
A1/0,05	8,32	8,18	0,20	2,43
	7,95			
	8,26			
A1/0,15	7,83	7,57	0,41	5,36
	7,77			
	7,10			
A1/0,30	8,26	8,28	0,10	1,16
	8,38			
	8,19			

Tabela A8- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	1,4638	3	0,487933	3,179755	0,084747	4,06618
Dentro dos grupos	1,2276	8	0,15345			
Total	2,691400	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	7,5	x4-x1	0,776667	NDS
R2	0,737293	<b>X2</b>	7,566667	x4-x2	0,710000	NDS
R3	0,913701	<b>X3</b>	8,176667	x4-x3	0,100000	NDS
R4	1,024521	<b>X4</b>	8,276667	x3-x1	0,676667	NDS
				x3-x2	0,610000	NDS
				x2-x1	0,066667	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A9– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	13,98	14,52	0,79	5,42
	15,47			
	14,51			
	14,16			
	15,43			
	13,55			
A1/0,05	14,92	15,61	0,91	5,85
	16,39			
	15,29			
	15,89			
	14,37			
	16,78			
A1/0,15	16,24	13,97	1,22	8,73
	13,72			
	14,4			
	13,13			
	13,28			
	13,05			
A1/0,30	12,72	13,73	0,58	4,22
	13,66			
	14,43			
	13,97			
	14,02			
	13,59			

Tabela A10- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em câmara das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	6					
A1/0,05	6					
A1/0,15	6					
A1/0,30	6					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	12,53141	3	4,177138	5,103671	0,008747	3,09839
Dentro dos grupos	16,36915	20	0,818458			
Total	28,90056	23				

<b>RK</b>		<b>X1</b>	13,73167	x4-x1	1,875000	DS
R2	0,889608	<b>X2</b>	13,97000	x4-x2	1,636667	DS
R3	1,079592	<b>X3</b>	14,51667	x4-x3	1,090000	DS
R4	1,194186	<b>X4</b>	15,60667	x3-x1	0,785000	NDS
				x3-x2	0,546667	NDS
				x2-x1	0,238333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A11– Resultados da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	14,17	14,21	0,87	6,14
	13,72			
	15,15			
	15,34			
	13,12			
	13,75			
A1/0,05	14,6	16,31	1,53	9,38
	16,18			
	16,49			
	17,33			
	14,68			
	18,55			
A1/0,15	14,08	13,45	1,47	10,94
	15,6			
	13,82			
	11,95			
	11,61			
	13,66			
A1/0,30	15,19	15,99	1,05	6,55
	16,37			
	15,44			
	17,94			
	15,75			
	15,26			

Tabela A12- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em saco plástico das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	6					
A1/0,05	6					
A1/0,15	6					

A1/0,30	6					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>
Entre grupos	34,22945	3	11,40982	7,174665	0,001863	3,09839
Dentro dos grupos	31,80585	20	1,590292			
Total	66,03530	23				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	13,45333	x4-x1	2,851667	DS
R2	1,240050	<b>X2</b>	14,20833	x4-x2	2,096667	DS
R3	1,504874	<b>X3</b>	15,99167	x4-x3	0,313333	NDS
R4	1,664609	<b>X4</b>	16,30500	x3-x1	2,538333	DS
				x3-x2	1,783333	DS
				x2-x1	0,755000	NDS'

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A13– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	13,7	15,82	1,96	12,37
	16,19			
	17,56			
A1/0,05	18,82	18,69	0,87	4,67
	17,76			
	19,49			
A1/0,15	17,4	16,97	1,05	6,17
	15,78			
	17,74			
A1/0,30	18,62	16,40	4,25	25,90
	19,07			
	11,5			

Tabela A14- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>

Entre grupos	14,41953	3	4,806511	0,74037	0,55716	4,0661
Dentro dos grupos	51,93633	8	6,492042			
Total	66,35587	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	15,81667	x4-x1	2,87333	NDS
R2	4,795651	<b>X2</b>	16,24667	x4-x2	2,44333	NDS
R3	5,943077	<b>X3</b>	16,98000	x4-x3	1,71000	NDS
R4	6,663896	<b>X4</b>	18,69000	x3-x1	1,16333	NDS
				x3-x2	0,73333	NDS
				x2-x1	0,43000	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A15- Resultados da absorção por imersão das argamassas A1.

Argamassa	Absorção por imersão (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	12,25	12,15	0,09	0,74
	12,1			
	12,09			
A1/0,05	12,14	12,18	0,07	0,55
	12,26			
	12,15			
A1/0,15	12,39	12,42	0,14	1,14
	12,57			
	12,29			
A1/0,30	12,51	12,34	0,15	1,18
	12,28			
	12,24			

Tabela A16- Comparação entre as médias da absorção por imersão das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,148758	3	0,049586	3,684417	0,062251	4,06618
Dentro dos grupos	0,107667	8	0,013458			

Total	0,256425	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	12,14667	x4-x1	0,270000	NDS
R2	0,218349	<b>X2</b>	12,18333	x4-x2	0,233333	NDS
R3	0,270592	<b>X3</b>	12,34333	x4-x3	0,073333	NDS
R4	0,303412	<b>X4</b>	12,41667	x3-x1	0,196667	NDS
				x3-x2	0,160000	NDS
				x2-x1	0,036667	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A17- Resultados do índice de vazios das argamassas A1.

Argamassa	Índice de vazios (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	22,21	22,15	0,07	0,32
	22,07			
	22,16			
A1/0,05	22,56	22,61	0,05	0,22
	22,66			
	22,6			
A1/0,15	22,93	23,00	0,21	0,91
	23,24			
	22,84			
A1/0,30	23,24	23,03	0,20	0,87
	23,00			
	22,84			

Tabela A18- Comparação entre as médias do índice de vazios das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	1,540625	3	0,513542	22,29559	0,000306	4,06618
Dentro dos grupos	0,184267	8	0,023033			
Total	1,724892	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	22,14667	x4-x1	0,88000	DS
R2	0,285650	<b>X2</b>	22,60667	x4-x2	0,42000	DS
R3	0,353996	<b>X3</b>	23,00333	x4-x3	0,023333	NDS
R4	0,396931	<b>X4</b>	23,02667	x3-x1	0,856667	DS
				x3-x2	0,396667	NDS

Tabela A22- Comparação entre as médias da massa específica real das argamassas A1.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,011767	3	0,003922	78,44444	2,84E-06	4,06618
Dentro dos grupos	0,000400	8	5E-05			
Total	0,012167	11				
RK		X1	2,340000	x4-x1	0,083333	DS
R2	0,013308	X2	2,396667	x4-x2	0,026667	DS
R3	0,016493	X3	2,406667	x4-x3	0,016667	DS
R4	0,018493	X4	2,423333	x3-x1	0,066667	DS
				x3-x2	0,010000	NDS
				x2-x1	0,056667	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela A23- Resultados da absorção por capilaridade das argamassas A1.

Argamassa	Período de leitura (min)	Absorção capilar (g/cm <sup>2</sup> )	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	10	0,33	0,34	0,02	6,19
		0,37			
		0,33			
A1/0,00	20	0,36	0,37	0,02	5,59
		0,40			
		0,36			
A1/0,00	30	0,39	0,40	0,02	4,99
		0,42			
		0,39			
A1/0,00	50	0,42	0,43	0,02	4,67
		0,45			
		0,42			
A1/0,00	70	0,46	0,47	0,02	4,53
		0,49			
		0,45			
A1/0,00	90	0,50	0,50	0,02	4,05
		0,52			
		0,48			

A1/0,00	110	0,54	0,53	0,02	3,53
		0,55			
		0,52			
A1/0,00	140	0,57	0,57	0,02	3,33
		0,58			
		0,55			
A1/0,00	170	0,61	0,60	0,02	3,11
		0,62			
		0,58			
A1/0,00	200	0,64	0,63	0,02	3,18
		0,65			
		0,61			
A1/0,00	240	0,67	0,66	0,02	3,22
		0,68			
		0,64			
A1/0,00	280	0,70	0,69	0,02	3,06
		0,71			
		0,67			
A1/0,00	320	0,73	0,72	0,02	2,93
		0,74			
		0,70			
A1/0,00	360	0,76	0,75	0,02	2,92
		0,76			
		0,72			
A1/0,00	410	0,79	0,77	0,02	3,03
		0,79			
		0,75			
A1/0,00	460	0,81	0,80	0,02	3,03
		0,82			
		0,77			
A1/0,05	10	0,34	0,33	0,01	3,01
		0,32			
		0,32			
A1/0,05	20	0,37	0,36	0,01	2,34
		0,35			
		0,36			
A1/0,05	30	0,40	0,39	0,01	2,14
		0,38			
		0,39			
A1/0,05	50	0,43	0,42	0,01	1,94
		0,42			
		0,43			
A1/0,05	70	0,47	0,47	0,01	1,98
		0,46			
		0,47			

A1/0,05	90	0,50	0,50	0,01	2,39
		0,49			
		0,51			
A1/0,05	110	0,53	0,54	0,01	2,78
		0,52			
		0,55			
A1/0,05	140	0,57	0,57	0,02	3,29
		0,56			
		0,59			
A1/0,05	170	0,62	0,61	0,02	3,99
		0,59			
		0,64			
A1/0,05	200	0,65	0,65	0,03	4,22
		0,63			
		0,68			
A1/0,05	240	0,67	0,68	0,03	4,51
		0,66			
		0,72			
A1/0,05	280	0,70	0,71	0,04	5,35
		0,68			
		0,76			
A1/0,05	320	0,73	0,74	0,04	5,42
		0,71			
		0,79			
A1/0,05	360	0,76	0,77	0,04	5,69
		0,74			
		0,82			
A1/0,05	410	0,78	0,80	0,05	5,96
		0,76			
		0,85			
A1/0,05	460	0,81	0,83	0,05	6,57
		0,79			
		0,89			
A1/0,15	10	0,33	0,31	0,02	7,00
		0,29			
		0,32			
A1/0,15	20	0,36	0,35	0,02	6,47
		0,32			
		0,35			
A1/0,15	30	0,39	0,38	0,02	5,62
		0,35			
		0,39			
A1/0,15	50	0,43	0,42	0,02	5,23
		0,39			
		0,43			

A1/0,15	70	0,48	0,46	0,02	4,85
		0,43			
		0,47			
A1/0,15	90	0,51	0,50	0,02	4,47
		0,47			
		0,51			
A1/0,15	110	0,55	0,54	0,02	4,23
		0,51			
		0,55			
A1/0,15	140	0,59	0,58	0,02	3,83
		0,55			
		0,58			
A1/0,15	170	0,64	0,62	0,02	3,56
		0,59			
		0,62			
A1/0,15	200	0,67	0,66	0,02	2,79
		0,64			
		0,66			
A1/0,15	240	0,71	0,69	0,02	2,89
		0,67			
		0,69			
A1/0,15	280	0,74	0,72	0,02	2,78
		0,70			
		0,72			
A1/0,15	320	0,78	0,75	0,02	2,77
		0,73			
		0,75			
A1/0,15	360	0,81	0,79	0,02	2,70
		0,77			
		0,78			
A1/0,15	410	0,84	0,82	0,02	2,77
		0,80			
		0,81			
A1/0,15	460	0,87	0,85	0,02	2,72
		0,83			
		0,84			
A1/0,30	10	0,31	0,33	0,03	9,78
		0,31			
		0,36			
A1/0,30	20	0,34	0,36	0,04	9,99
		0,33			
		0,40			
A1/0,30	30	0,38	0,39	0,04	10,57
		0,35			
		0,43			

A1/0,30	50	0,41	0,42	0,05	11,08
		0,38			
		0,47			
A1/0,30	70	0,45	0,45	0,06	13,69
		0,39			
		0,51			
A1/0,30	90	0,49	0,49	0,06	12,47
		0,43			
		0,55			
A1/0,30	110	0,52	0,52	0,07	13,13
		0,45			
		0,59			
A1/0,30	140	0,56	0,56	0,08	13,81
		0,48			
		0,63			
A1/0,30	170	0,60	0,59	0,08	13,60
		0,51			
		0,67			
A1/0,30	200	0,63	0,62	0,09	13,93
		0,53			
		0,70			
A1/0,30	240	0,66	0,65	0,09	14,46
		0,55			
		0,74			
A1/0,30	280	0,69	0,68	0,10	14,43
		0,57			
		0,77			
A1/0,30	320	0,72	0,70	0,10	14,84
		0,59			
		0,80			
A1/0,30	360	0,75	0,73	0,11	15,21
		0,61			
		0,83			
A1/0,30	410	0,78	0,76	0,11	15,18
		0,63			
		0,86			
A1/0,30	460	0,80	0,78	0,12	15,16
		0,65			
		0,89			

**Anexo B**

Tabela B1- Resultados do índice de consistência das argamassas A2.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	269	268	0,58	0,22
	268			
	268			
A2/0,05	239	239	0,58	0,24
	240			
	239			
A2/0,15	225	224	0,58	0,26
	224			
	224			
A2/0,30	204	206	2,08	1,01
	208			
	207			

Tabela B2- Comparação entre as médias do índice de consistência das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	6194,25	3	2064,75	1548,563	2,15E-11	4,06618
Dentro dos grupos	10,66667	8	1,333333			
Total	6204,917	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	206,3333	x4-x1	62	DS
R2	2,173333	<b>X2</b>	224,3333	x4-x2	44	DS
R3	2,693333	<b>X3</b>	239,3333	x4-x3	29	DS
R4	3,02	<b>X4</b>	268,3333	x3-x1	33	DS
				x3-x2	15	DS
				x2-x1	18	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > R_k$ .

Tabela B3- Resultados da retenção de água das argamassas A2.

Argamassa	Retenção (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	84,91	84,92	0,49	0,58
	85,41			
	84,43			
A2/0,05	84,60	84,58	0,51	0,60
	85,08			
	84,07			
A2/0,15	85,00	85,22	0,19	0,22
	85,31			
	85,34			
A2/0,30	84,50	84,59	0,16	0,18
	84,49			
	84,77			

Tabela B4- Comparação entre as médias da retenção de água das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,83506	3	0,278353	2,010035	0,191187	4,06618
Dentro dos grupos	1,107855	8	0,138482			
Total	1,942915	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	84,58287	x4-x1	0,635316	DS
R2	0,700418	<b>X2</b>	84,58636	x4-x2	0,631831	DS
R3	0,867995	<b>X3</b>	84,91546	x4-x3	0,302732	DS
R4	0,973271	<b>X4</b>	85,21819	x3-x1	0,332583	DS
				x3-x2	0,329099	DS
				x2-x1	0,003485	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > R_k$ .

Tabela B5-- Resultados da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	5,94	5,81	0,34	5,92
	5,42			
	6,07			
A2/0,05	6,18	5,95	0,2	3,41
	5,81			
	5,85			
A2/0,15	6,73	6,18	0,48	7,69
	5,95			
	5,87			
A2/0,30	5,16	5,41	0,41	7,63
	5,19			
	5,89			

Tabela B6- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,936567	3	0,312189	2,246367	0,160194	4,06618
Dentro dos grupos	1,1118	8	0,138975			
Total	2,048367	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	5,413333	x4-x1	0,77	NDS
R2	0,701658	<b>X2</b>	5,81	x4-x2	0,373333	NDS
R3	0,869539	<b>X3</b>	5,946667	x4-x3	0,236667	NDS
R4	0,975003	<b>X4</b>	6,183333	x3-x1	0,533333	NDS
				x3-x2	0,136667	NDS
				x2-x1	0,396667	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B7– Resultados da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	5,01	5,1	0,14	2,76
	4,92			
	5,38			
A2/0,05	5,6	5,56	0,25	4,46
	5,78			
	5,29			
A2/0,15	5,32	5,38	0,06	1,06
	5,4			
	5,43			
A2/0,30	4,68	4,96	0,39	7,82
	4,49			
	5,4			

Tabela B8- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,856633	3	0,285544	3,221637	0,082533	4,06618
Dentro dos grupos	0,709067	8	0,088633			
Total	1,5657	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	4,856667	x4-x1	0,7	NDS
R2	0,560345	<b>X2</b>	5,103333	x4-x2	0,453333	NDS
R3	0,694415	<b>X3</b>	5,383333	x4-x3	0,173333	NDS
R4	0,778639	<b>X4</b>	5,556667	x3-x1	0,526667	NDS
				x3-x2	0,28	NDS
				x2-x1	0,246667	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B9– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	7,8	7,06	0,58	8,26
	7,15			
	7,21			
	7,31			
	6,05			
	6,86			
A2/0,05	8,19	8,61	0,71	8,23
	9,33			
	9,05			
	8,18			
	9,3			
	7,63			
A2/0,15	10,24	9,58	0,76	7,96
	9,18			
	8,28			
	9,57			
	10,28			
	9,95			
A2/0,30	8,2	8,36	0,68	8,11
	8,54			
	8,76			
	9,25			
	8,17			
	7,24			

Tabela 10- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em câmara das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	6					
A2/0,05	6					
A2/0,15	6					
A2/0,30	6					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	19,4038	3	6,467933	13,7271	4,32E-05	3,098393
Dentro dos grupos	9,4236	20	0,47118			
Total	28,8274	23				

<b>RK</b>		<b>X1</b>	7,063333	x4-x1	2,52	DS
R2	0,674985	<b>X2</b>	8,36	x4-x2	1,223333	DS
R3	0,819134	<b>X3</b>	8,613333	x4-x3	0,97	DS
R4	0,906082	<b>X4</b>	9,583333	x3-x1	1,55	DS
				x3-x2	0,253333	NDS
				x2-x1	1,296667	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B11– Resultados da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	6,85	7,21	0,43	5,95
	6,63			
	7,53			
	7,76			
	7,4			
	7,1			
A2/0,05	7,6	7,61	0,54	7,06
	8,56			
	7,59			
	7,02			
	7,18			
	7,68			
A2/0,15	8,49	8,31	0,5	5,97
	7,81			
	7,76			
	9,07			
	8,54			
	8,19			
A2/0,30	8,14	8,12	0,18	2,18
	8,2			
	8,2			
	7,86			
	8,35			
	7,97			

Tabela B12- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em saco plástico das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	6					
A2/0,05	6					
A2/0,15	6					

A2/0,30	6					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>
Entre grupos	4,4767	3	1,492233	7,96743	0,00109	3,098393
Dentro dos grupos	3,745833	20	0,187292			
Total	8,222533	23				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	7,211667	x4-x1	1,098333	DS
R2	0,425559	<b>X2</b>	7,605	x4-x1	0,705	DS
R3	0,516441	<b>X3</b>	8,12	x4-x3	0,19	NDS
R4	0,571259	<b>X4</b>	8,31	x3-x1	0,908333	DS
				x3-x2	0,515	DS
				x2-x1	0,393333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B13– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	7,61	7,60667	0,50501	6,639022
	8,11			
	7,1			
A2/0,05	8,67	7,77667	0,78143	10,0484
	7,22			
	7,44			
A2/0,15	8,86	8,69000	0,18083	2,080914
	8,71			
	8,5			
A2/0,30	8,49	8,42000	0,06245	0,741686
	8,37			
	8,4			

Tabela B14- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>

Entre grupos	2,388733	3	0,796244	3,529974	0,068252	4,06618
Dentro dos grupos	1,804533	8	0,225567			
Total	4,193267	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	7,606667	x4-x1	1,083333	NDS
R2	0,893911	<b>X2</b>	7,776667	x4-x2	0,913333	NDS
R3	1,107792	<b>X3</b>	8,42	x4-x3	0,27	NDS
R4	1,242153	<b>X4</b>	8,69	x3-x1	0,813333	NDS
				x3-x2	0,643333	NDS
				x2-x1	0,17	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B15- Resultados da absorção por imersão das argamassas A2.

Argamassa	Absorção por imersão (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	13,42	13,34	0,138564	1,038711
	13,42			
	13,18			
A2/0,05	13,65	13,75	0,111355	0,809857
	13,87			
	13,73			
A2/0,15	13,5	13,56333	0,136504	1,006419
	13,72			
	13,47			
A2/0,30	13,93	13,85667	0,087369	0,630519
	13,76			
	13,88			

Tabela B16- Comparação entre as médias da absorção por imersão das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,462892	3	0,154297	10,66571	0,003609	4,06618
Dentro dos grupos	0,115733	8	0,014467			

Total	0,578625	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	13,34	x4-x1	0,516667	DS
R2	0,226382	<b>X2</b>	13,56333	x4-x2	0,293333	DS
R3	0,280547	<b>X3</b>	13,75	x4-x3	0,106667	NDS
R4	0,314573	<b>X4</b>	13,85667	x3-x1	0,41	DS
				x3-x2	0,186667	NDS
				x2-x1	0,223333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B17- Resultados do índice de vazios das argamassas A2.

Argamassa	Índice de vazios (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	23,12	22,99333	0,20232	0,879907
	23,1			
	22,76			
A2/0,05	24,72	24,85333	0,152753	0,614616
	25,02			
	24,82			
A2/0,15	24,61	24,64333	0,172434	0,699717
	24,83			
	24,49			
A2/0,30	25,32	25,22333	0,100167	0,397119
	25,12			
	25,23			

Tabela B18- Comparação entre as médias do índice de vazios das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	8,7543	3	2,9181	112,1987	7,08E-07	4,06618
Dentro dos grupos	0,208067	8	0,026008			
Total	8,962367	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	22,99333	x4-x1	2,23	DS
R2	0,3035381	<b>X2</b>	24,64333	x4-x2	0,58	DS
R3	0,3761638	<b>X3</b>	24,85333	x4-x3	0,37	DS
R4	0,4217876	<b>X4</b>	25,22333	x3-x1	1,86	DS
				x3-x2	0,21	NDS

				x2-x1	1,65	DS
--	--	--	--	-------	------	----

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B19- Resultados da massa específica das argamassas A2.

Argamassa	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	1,72	1,723333	0,005774	0,335019
	1,72			
	1,73			
A2/0,05	1,81	1,806667	0,005774	0,319567
	1,8			
	1,81			
A2/0,15	1,82	1,816667	0,005774	0,317807
	1,81			
	1,82			
A2/0,30	1,82	1,823333	0,005774	0,316645
	1,83			
	1,82			
A2/0,00	1,95	1,95	0	0
	1,95			
	1,95			
A2/0,05	2,06	2,056667	0,005774	0,280721
	2,05			
	2,06			
A2/0,15	2,07	2,063333	0,005774	0,279814
	2,06			
	2,06			
A2/0,30	2,07	2,073333	0,005774	0,278465
	2,08			
	2,07			
A2/0,00	2,24	2,24	0	0
	2,24			
	2,24			
A2/0,05	2,41	2,406667	0,005774	0,239896
	2,41			
	2,4			
A2/0,15	2,4	2,406667	0,005774	0,239896
	2,41			
	2,41			
A2/0,30	2,43	2,433333	0,005774	0,237267
	2,44			
	2,43			

Tabela B20- Comparação entre as médias da massa específica seca das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,019558	3	0,006519	195,5833	8,01E-08	4,06618
Dentro dos grupos	0,000267	8	3,33E-05			
Total	0,019825	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	1,723333	x4-x1	0,1	DS
R2	0,0108667	<b>X2</b>	1,806667	x4-x2	0,016667	DS
R3	0,0134667	<b>X3</b>	1,816667	x4-x3	0,006667	NDS
R4	0,0151	<b>X4</b>	1,823333	x3-x1	0,093333	NDS
				x3-x2	0,01	NDS
				x2-x1	0,083333	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B21- Comparação entre as médias da massa específica saturada das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,029892	3	0,009964	398,5556	4,79E-09	4,06618
Dentro dos grupos	0,0002	8	2,5E-05			
Total	0,030092	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	1,95	x4-x1	0,123333	DS
R2	0,0094108	<b>X2</b>	2,056667	x4-x2	0,016667	DS
R3	0,0116625	<b>X3</b>	2,063333	x4-x3	0,01	DS
R4	0,013077	<b>X4</b>	2,073333	x3-x1	0,113333	DS
				x3-x2	0,006667	NDS
				x2-x1	0,106667	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B22- Comparação entre as médias da massa específica real das argamassas A2.

Grupo	Nº da amostra					
A2/0,00	3					
A2/0,05	3					
A2/0,15	3					
A2/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,070767	3	0,023589	943,5556	1,55E-10	4,06618
Dentro dos grupos	0,0002	8	2,5E-05			
Total	0,070967	11				
RK		X1	2,24	x4-x1	0,193333	DS
R2	0,0094108	X2	2,406667	x4-x2	0,026667	DS
R3	0,0116625	X3	2,406667	x4-x3	0,026667	DS
R4	0,013077	X4	2,433333	x3-x1	0,166667	DS
				x3-x2	0	NDS
				x2-x1	0,166667	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela B23- Resultados da absorção por capilaridade das argamassas A2.

Argamassa	Período de leitura (min)	Absorção capilar (g/cm <sup>2</sup> )	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A2/0,00	10	0,36	0,35	0,02	5,53
		0,36			
		0,33			
A2/0,00	20	0,40	0,39	0,02	4,89
		0,40			
		0,37			
A2/0,00	30	0,44	0,43	0,02	4,86
		0,44			
		0,40			
A2/0,00	50	0,48	0,47	0,02	4,29
		0,48			
		0,44			
A2/0,00	70	0,52	0,51	0,02	4,21
		0,53			
		0,49			
A2/0,00	90	0,56	0,55	0,02	4,05
		0,57			
		0,53			

A2/0,00	110	0,60	0,59	0,02	4,12
		0,61			
		0,57			
A2/0,00	140	0,65	0,64	0,02	3,92
		0,66			
		0,61			
A2/0,00	170	0,69	0,68	0,03	3,94
		0,70			
		0,65			
A2/0,00	200	0,73	0,72	0,03	3,94
		0,74			
		0,69			
A2/0,00	240	0,76	0,76	0,03	3,70
		0,78			
		0,73			
A2/0,00	280	0,80	0,79	0,03	3,65
		0,82			
		0,76			
A2/0,00	320	0,83	0,83	0,03	3,74
		0,86			
		0,80			
A2/0,00	360	0,87	0,86	0,03	3,53
		0,89			
		0,83			
A2/0,00	410	0,90	0,90	0,03	3,48
		0,93			
		0,87			
A2/0,00	460	0,94	0,93	0,03	3,48
		0,96			
		0,90			
A2/0,05	10	0,35	0,37	0,03	9,36
		0,41			
		0,35			
A2/0,05	20	0,40	0,41	0,04	8,49
		0,45			
		0,39			
A2/0,05	30	0,44	0,45	0,03	7,71
		0,49			
		0,42			
A2/0,05	50	0,49	0,50	0,03	6,74
		0,54			
		0,47			
A2/0,05	70	0,55	0,55	0,03	5,84
		0,58			
		0,52			

A2/0,05	90	0,60	0,60	0,03	5,18
		0,63			
		0,56			
A2/0,05	110	0,64	0,64	0,03	4,85
		0,67			
		0,61			
A2/0,05	140	0,69	0,69	0,03	4,47
		0,71			
		0,65			
A2/0,05	170	0,75	0,74	0,03	4,11
		0,76			
		0,70			
A2/0,05	200	0,79	0,78	0,03	3,49
		0,80			
		0,75			
A2/0,05	240	0,83	0,82	0,03	3,06
		0,84			
		0,79			
A2/0,05	280	0,87	0,86	0,03	2,95
		0,88			
		0,83			
A2/0,05	320	0,91	0,90	0,02	2,53
		0,92			
		0,88			
A2/0,05	360	0,94	0,94	0,02	2,20
		0,96			
		0,92			
A2/0,05	410	0,98	0,98	0,02	1,84
		1,00			
		0,96			
A2/0,05	460	1,02	1,02	0,02	1,48
		1,03			
		1,00			
A2/0,15	10	0,36	0,39	0,02	6,09
		0,39			
		0,40			
A2/0,15	20	0,41	0,43	0,02	5,43
		0,44			
		0,45			
A2/0,15	30	0,45	0,48	0,02	4,69
		0,48			
		0,50			
A2/0,15	50	0,51	0,53	0,02	4,01
		0,53			
		0,55			

A2/0,15	70	0,57	0,59	0,02	3,99
		0,58			
		0,61			
A2/0,15	90	0,62	0,64	0,02	3,74
		0,62			
		0,66			
A2/0,15	110	0,67	0,69	0,02	3,32
		0,68			
		0,71			
A2/0,15	140	0,73	0,74	0,02	3,05
		0,73			
		0,77			
A2/0,15	170	0,80	0,80	0,02	2,58
		0,79			
		0,83			
A2/0,15	200	0,85	0,86	0,02	2,15
		0,84			
		0,87			
A2/0,15	240	0,91	0,91	0,02	1,97
		0,89			
		0,92			
A2/0,15	280	0,96	0,95	0,02	1,86
		0,93			
		0,97			
A2/0,15	320	1,01	1,00	0,02	2,04
		0,98			
		1,01			
A2/0,15	360	1,06	1,05	0,02	2,16
		1,02			
		1,05			
A2/0,15	410	1,12	1,10	0,03	2,38
		1,07			
		1,10			
A2/0,15	460	1,16	1,14	0,03	2,25
		1,11			
		1,14			
A2/0,30	10	0,42	0,40	0,02	5,53
		0,39			
		0,40			
A2/0,30	20	0,47	0,45	0,02	4,89
		0,44			
		0,45			
A2/0,30	30	0,51	0,50	0,02	4,86
		0,49			
		0,49			

A2/0,30	50	0,55	0,55	0,02	4,29
		0,55			
		0,54			
A2/0,30	70	0,61	0,61	0,02	4,21
		0,62			
		0,59			
A2/0,30	90	0,66	0,66	0,02	4,05
		0,68			
		0,64			
A2/0,30	110	0,71	0,71	0,02	4,12
		0,74			
		0,69			
A2/0,30	140	0,77	0,77	0,02	3,92
		0,80			
		0,74			
A2/0,30	170	0,82	0,83	0,03	3,94
		0,86			
		0,80			
A2/0,30	200	0,86	0,87	0,03	3,94
		0,92			
		0,85			
A2/0,30	240	0,91	0,93	0,03	3,70
		0,97			
		0,90			
A2/0,30	280	0,95	0,97	0,03	3,65
		1,02			
		0,95			
A2/0,30	320	0,99	1,02	0,03	3,74
		1,07			
		1,00			
A2/0,30	360	1,03	1,07	0,03	3,53
		1,12			
		1,05			
A2/0,30	410	1,07	1,12	0,03	3,48
		1,17			
		1,10			
A2/0,30	460	1,11	1,16	0,03	3,48
		1,22			
		1,16			



Tabela C1- Resultados do índice de consistência das argamassas A3.

Argamassa	Índice de Consistência (mm)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A1/0,00	262	260	3,46	1,33
	262			
	256			
A1/0,05	252	254	7,64	3,01
	247			
	262			
A1/0,15	244	243	2,65	1,09
	240			
	245			
A1/0,30	231	235	3,51	1,50
	238			
	235			

Tabela C2- Comparação entre as médias do índice de consistência das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A1/0,00	3					
A1/0,05	3					
A1/0,15	3					
A1/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	1136,333	3	378,7778	16,89715	0,000802	4,06618
Dentro dos grupos	179,3333	8	22,41667			
Total	1315,667	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	234,6667	x4-x1	25,33333	DS
R2	8,911329	<b>X2</b>	243,0000	x4-x2	17,00000	DS
R3	11,04349	<b>X3</b>	253,6667	x4-x3	6,333333	NDS
R4	12,38292	<b>X4</b>	260,0000	x3-x1	19,00000	DS
				x3-x2	10,66667	DS
				x2-x1	8,333333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > R_k$ .

Tabela C3- Resultados retenção de água das argamassas A3.

Argamassa	Retenção (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	89,91	89,25	1,14	1,28
	89,91			
	87,93			
A3/0,05	90,97	91,03	0,10	0,11
	90,97			
	91,15			
A3/0,15	90,45	90,32	0,11	0,12
	90,26			
	90,26			
A3/0,30	89,36	89,11	0,29	0,33
	88,78			
	89,18			

Tabela C4- Comparação entre as médias da retenção de água das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	7,493884	3	2,497961	7,084987	0,01216	4,0662
Dentro dos grupos	2,820568	8	0,352571			
Total	10,31445	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	89,10768	x4-x1	1,92078	DS
R2	1,117584	<b>X2</b>	89,25151	x4-x2	1,77695	DS
R3	1,384981	<b>X3</b>	90,32346	x4-x3	0,70499	NDS
R4	1,552962	<b>X4</b>	91,02846	x3-x1	1,21578	NDS
				x3-x2	1,07196	NDS
				x2-x1	0,14383	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C5– Resultado da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	2,63	2,78	0,13	4,68
	2,85			
	2,86			
A3/0,05	2,44	2,32	0,16	6,77
	2,14			
	2,37			
A3/0,15	2,55	2,46	0,08	3,33
	2,44			
	2,39			
A3/0,30	2,2	2,24	0,14	6,25
	2,13			
	2,4			

Tabela C6- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em câmara das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,508467	3	0,169489	9,989522	0,00442	4,0662
Dentro dos grupos	0,135733	8	0,016967			
Total	0,6442	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	2,243333	x4-x1	0,53667	DS
R2	0,245163	<b>X2</b>	2,316667	x4-x2	0,46333	DS
R3	0,303822	<b>X3</b>	2,460000	x4-x3	0,32000	NDS
R4	0,340671	<b>X4</b>	2,780000	x3-x1	0,21667	NDS
				x3-x2	0,14333	NDS
				x2-x1	0,07333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C7– Resultados da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Resistência (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	2,97	2,98	0,29	9,73
	2,7			
	3,28			
A3/0,05	2,51	2,51	0,08	2,99
	2,58			
	2,43			
A3/0,15	2,38	2,65	0,24	9,12
	2,84			
	2,74			
A3/0,30	2,45	2,29	0,14	5,92
	2,21			
	2,22			

Tabela C8- Comparação entre as médias da resistência à tração na flexão com cura em saco plástico das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,756625	3	0,252208	6,046953	0,018749	4,06618
Dentro dos grupos	0,333667	8	0,041708			
Total	1,090292	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	2,293333	x4-x1	0,69000	DS
R2	0,384387	<b>X2</b>	2,506667	x4-x2	0,47667	DS
R3	0,476357	<b>X3</b>	2,653333	x4-x3	0,33000	NDS
R4	0,534132	<b>X4</b>	2,983333	x3-x1	0,36000	NDS
				x3-x2	0,14667	NDS
				x2-x1	0,21333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C9– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em câmara das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	4,65	4,87	0,19	3,95
	4,9			
	5,11			
	5,06			
	4,83			
	4,67			
A3/0,05	4,11	4,09	0,11	2,78
	4,01			
	4,22			
	4,22			
	3,94			
	4,05			
A3/0,15	4,38	4,49	0,18	4,05
	4,62			
	4,63			
	4,46			
	4,2			
	4,67			
A3/0,30	3,81	3,74	0,19	5,08
	3,55			
	4,04			
	3,53			
	3,79			
	3,69			

Tabela C10- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em câmara das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	6					
A3/0,05	6					
A3/0,15	6					
A3/0,30	6					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	4,349283	3	1,449761	48,71782	2,2E-09	3,0989
Dentro dos grupos	0,595167	20	0,029758			
Total	4,94445	23				

<b>RK</b>		<b>X1</b>	3,735000	x4-x1	1,13500	DS
R2	0,169631	<b>X2</b>	4,091667	x4-x2	0,77833	DS
R3	0,205857	<b>X3</b>	4,493333	x4-x3	0,37667	DS
R4	0,227708	<b>X4</b>	4,870000	x3-x1	0,75833	DS
				x3-x2	0,40167	DS
				x2-x1	0,35667	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{critico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C11– Resultados da resistência à compressão em corpos de prova cúbicos (4x4 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	4,26	4,18	0,20	4,82
	4,18			
	3,84			
	4,09			
	4,43			
	4,28			
A3/0,05	3,61	3,57	0,26	7,25
	3,1			
	3,47			
	3,75			
	3,79			
	3,72			
A3/0,15	3,83	3,81	0,12	3,27
	3,77			
	3,94			
	3,93			
	3,79			
	3,6			
A3/0,30	3,33	3,17	0,18	5,57
	3,16			
	3,21			
	2,84			
	3,31			
	3,19			

Tabela C12- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cúbicos com cura em saco plástico das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	6					
A3/0,05	6					
A3/0,15	6					
A3/0,30	6					

Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	3,209517	3	1,069839	27,70646	2,5E-07	3,0984
Dentro dos grupos	0,772267	20	0,038613			
Total	3,981783	23				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	3,173333	x4-x1	1,00667	DS
R2	0,193228	<b>X2</b>	3,573333	x4-x2	0,60667	DS
R3	0,234493	<b>X3</b>	3,810000	x4-x3	0,37000	DS
R4	0,259384	<b>X4</b>	4,180000	x3-x1	0,63667	DS
				x3-x2	0,23667	DS
				x2-x1	0,40000	DS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C13– Resultados da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3.

Argamassa	Resistência (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	3,85	3,76	0,08	2,18
	3,74			
	3,69			
A3/0,05	3,2	3,12	0,08	2,42
	3,05			
	3,11			
A3/0,15	3,28	3,25	0,03	0,89
	3,23			
	3,23			
A3/0,30	3,22	3,17	0,16	5,08
	3,3			
	2,99			

Tabela C14- Comparação entre as médias da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) com cura em saco plástico das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>

Entre grupos	0,784225	3	0,261408	26,71976	0,000161	4,06618
Dentro dos grupos	0,078267	8	0,009783			
Total	0,862492	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	3,120000	x4-x1	0,64000	DS
R2	0,186166	<b>X2</b>	3,170000	x4-x2	0,59000	DS
R3	0,230709	<b>X3</b>	3,246667	x4-x3	0,51333	DS
R4	0,258691	<b>X4</b>	3,760000	x3-x1	0,12667	NDS
				x3-x2	0,07667	NDS
				x2-x1	0,05000	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{critico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C15- Resultados da absorção por imersão das argamassas A3.

Argamassa	Absorção por imersão (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	17,25	17,16	0,12	0,71
	17,20			
	17,02			
A3/0,05	17,38	17,40	0,04	0,25
	17,45			
	17,37			
A3/0,15	17,45	17,45	0,03	0,20
	17,41			
	17,48			
A3/0,30	17,40	17,30	0,09	0,50
	17,23			
	17,28			

Tabela C16- Comparação entre as médias da absorção por imersão das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>critico</sub>
Entre grupos	0,147667	3	0,049222	7,751531	0,00942	4,0662
Dentro dos grupos	0,050800	8	0,00635			
Total	0,198467	11				

<b>RK</b>		<b>X1</b>	17,15667	x4-x1	0,29000	DS
R2	0,149984	<b>X2</b>	17,30333	x4-x2	0,14333	NDS
R3	0,185869	<b>X3</b>	17,40000	x4-x3	0,04667	NDS
R4	0,208413	<b>X4</b>	17,44667	x3-x1	0,24333	DS
				x3-x2	0,09667	NDS
				x2-x1	0,14667	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C17- Resultados do índice de vazios das argamassas A3.

Argamassa	Índice de vazios (%)	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	29,83	29,64	0,19	0,64
	29,63			
	29,45			
A3/0,05	29,92	29,92	0,05	0,17
	29,97			
	29,87			
A3/0,15	30,07	30,07	0,08	0,25
	29,99			
	30,14			
A3/0,30	29,95	29,77	0,16	0,53
	29,66			
	29,7			

Tabela C18- Comparação entre as médias do índice de vazios das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,311233	3	0,103744	6,017077	0,01900	4,0662
Dentro dos grupos	0,137933	8	0,017242			
Total	0,449167	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	29,63667	x4-x1	0,43000	DS
R2	0,24714202	<b>X2</b>	29,77000	x4-x2	0,29667	NDS
R3	0,30627416	<b>X3</b>	29,92000	x4-x3	0,14667	NDS
R4	0,34342128	<b>X4</b>	30,06667	x3-x1	0,28333	NDS
				x3-x2	0,15000	NDS
				x2-x1	0,13333	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C19- Resultados da massa específica das argamassas A3.

Argamassa	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )		Média (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	Seca	1,73	1,73	0,01	0,33
		1,72			
		1,73			
A3/0,05		1,72	1,72	0,00	0,00
		1,72			
		1,72			
A3/0,15		1,72	1,72	0,00	0,00
		1,72			
		1,72			
A3/0,30		1,72	1,72	0,00	0,00
		1,72			
		1,72			
A3/0,00	Saturada	2,03	2,02	0,01	0,29
		2,02			
		2,02			
A3/0,05		2,02	2,02	0,00	0,00
		2,02			
		2,02			
A3/0,15		2,02	2,02	0,01	0,29
		2,02			
		2,03			
A3/0,30		2,02	2,02	0,00	0,00
		2,02			
		2,02			
A3/0,00	Real	2,47	2,46	0,01	0,47
		2,45			
		2,45			
A3/0,05		2,46	2,45	0,01	0,24
		2,45			
		2,45			
A3/0,15		2,46	2,46	0,01	0,23
		2,46			
		2,47			
A3/0,30		2,46	2,45	0,01	0,24
		2,45			
		2,45			

Tabela C20- Comparação entre as médias da massa específica seca das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					

A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>
Entre grupos	1E-04	3	3,33E-05	4	0,05189	4,0662
Dentro dos grupos	6,67E-05	8	8,33E-06			
Total	0,000167	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	1,720000	x4-x1	0,00667	NDS
R2	0,005433	<b>X2</b>	1,720000	x4-x2	0,00667	NDS
R3	0,006733	<b>X3</b>	1,720000	x4-x3	0,00667	NDS
R4	0,007550	<b>X4</b>	1,726667	x3-x1		NDS
				x3-x2		NDS
				x2-x1		NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C21- Comparação entre as médias da massa específica saturada das argamassas A3.

<b>Grupo</b>	<b>Nº da amostra</b>					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>gl</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F<sub>crítico</sub></b>
Entre grupos	3,33E-05	3	1,11E-05	0,666667	0,595719	4,06618
Dentro dos grupos	0,000133	8	1,67E-05			
Total	0,000167	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	2,020000	x4-x1	0,003333	NDS
R2	0,007684	<b>X2</b>	2,020000	x4-x2	0,003333	NDS
R3	0,009522	<b>X3</b>	2,023333	x4-x3	0	NDS
R4	0,010677	<b>X4</b>	2,023333	x3-x1	0,003333	NDS
				x3-x2	0,003333	NDS
				x2-x1	0	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C22- Comparação entre as médias da massa específica real das argamassas A3.

Grupo	Nº da amostra					
A3/0,00	3					
A3/0,05	3					
A3/0,15	3					
A3/0,30	3					
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	0,000200	3	6,67E-05	1,142857	0,3889	4,0662
Dentro dos grupos	0,000467	8	5,83E-05			
Total	0,000667	11				
<b>RK</b>		<b>X1</b>	2,453333	x4-x1	0,010000	NDS
R2	0,014375	<b>X2</b>	2,453333	x4-x2	0,010000	NDS
R3	0,017815	<b>X3</b>	2,453333	x4-x3	0,006667	NDS
R4	0,019975	<b>X4</b>	2,463333	x3-x1	0,003333	NDS
				x3-x2	0,003333	NDS
				x2-x1	0	NDS

OBS: Os valores diferem significativamente (DS) quando  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $x_i - x_j > RK$ .

Tabela C23- Resultados da absorção por capilaridade das argamassas A3.

Argamassa	Período de leitura (min)	Absorção capilar (g/cm <sup>2</sup> )	Média (%)	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
A3/0,00	10	0,42	0,42	0,02	4,16
		0,41			
		0,44			
A3/0,00	20	0,48	0,49	0,02	4,94
		0,47			
		0,51			
A3/0,00	30	0,54	0,55	0,03	5,05
		0,53			
		0,58			
A3/0,00	50	0,61	0,61	0,03	5,28
		0,58			
		0,65			
A3/0,00	70	0,67	0,68	0,04	5,70
		0,64			
		0,72			
A3/0,00	90	0,73	0,74	0,05	6,08
		0,70			
		0,79			

A3/0,00	110	0,80	0,81	0,05	6,15
		0,76			
		0,86			
A3/0,00	140	0,86	0,87	0,05	6,27
		0,83			
		0,93			
A3/0,00	170	0,92	0,93	0,06	6,21
		0,88			
		1,00			
A3/0,00	200	0,99	1,00	0,06	6,15
		0,94			
		1,07			
A3/0,00	240	1,05	1,06	0,07	6,25
		1,00			
		1,13			
A3/0,00	280	1,11	1,12	0,07	6,23
		1,06			
		1,20			
A3/0,00	320	1,18	1,19	0,07	6,21
		1,12			
		1,27			
A3/0,00	360	1,24	1,25	0,08	6,21
		1,18			
		1,34			
A3/0,00	410	1,31	1,32	0,08	6,12
		1,24			
		1,40			
A3/0,00	460	1,37	1,38	0,09	6,14
		1,31			
		1,47			
A3/0,05	10	0,39	0,41	0,03	6,68
		0,41			
		0,44			
A3/0,05	20	0,45	0,47	0,03	6,71
		0,46			
		0,50			
A3/0,05	30	0,51	0,53	0,03	6,41
		0,51			
		0,57			
A3/0,05	50	0,58	0,59	0,03	5,79
		0,57			
		0,63			
A3/0,05	70	0,64	0,65	0,04	5,60
		0,63			
		0,69			

A3/0,05	90	0,71	0,72	0,04	5,78
		0,68			
		0,76			
A3/0,05	110	0,77	0,78	0,05	5,98
		0,73			
		0,83			
A3/0,05	140	0,84	0,84	0,05	6,25
		0,79			
		0,90			
A3/0,05	170	0,90	0,90	0,06	6,35
		0,85			
		0,96			
A3/0,05	200	0,96	0,96	0,06	6,50
		0,90			
		1,03			
A3/0,05	240	1,03	1,03	0,07	6,67
		0,96			
		1,10			
A3/0,05	280	1,09	1,09	0,07	5,95
		1,03			
		1,16			
A3/0,05	320	1,15	1,15	0,08	7,00
		1,07			
		1,23			
A3/0,05	360	1,11	1,12	0,29	25,58
		0,84			
		1,41			
A3/0,05	410	1,17	1,18	0,28	23,95
		0,90			
		1,47			
A3/0,05	460	1,23	1,24	0,28	22,47
		0,96			
		1,52			
A3/0,15	10	0,41	0,40	0,01	2,05
		0,40			
		0,41			
A3/0,15	20	0,46	0,46	0,01	1,89
		0,45			
		0,46			
A3/0,15	30	0,52	0,51	0,01	1,66
		0,51			
		0,51			
A3/0,15	50	0,58	0,57	0,01	1,90
		0,57			
		0,57			

A3/0,15	70	0,64	0,63	0,01	2,28
		0,62			
		0,61			
A3/0,15	90	0,70	0,68	0,02	2,43
		0,68			
		0,67			
A3/0,15	110	0,76	0,74	0,02	2,86
		0,74			
		0,72			
A3/0,15	140	0,82	0,80	0,03	3,29
		0,80			
		0,77			
A3/0,15	170	0,88	0,85	0,03	3,65
		0,85			
		0,82			
A3/0,15	200	0,94	0,91	0,04	3,88
		0,91			
		0,87			
A3/0,15	240	1,00	0,96	0,04	4,04
		0,97			
		0,92			
A3/0,15	280	1,06	1,02	0,04	4,19
		1,03			
		0,97			
A3/0,15	320	1,12	1,08	0,05	4,29
		1,08			
		1,03			
A3/0,15	360	1,18	1,13	0,05	4,38
		1,14			
		1,08			
A3/0,15	410	1,24	1,19	0,05	4,58
		1,20			
		1,13			
A3/0,15	460	1,30	1,25	0,06	4,70
		1,27			
		1,18			
A3/0,30	10	0,39	0,40	0,01	3,35
		0,40			
		0,42			
A3/0,30	20	0,45	0,47	0,02	3,48
		0,47			
		0,48			
A3/0,30	30	0,51	0,53	0,02	3,47
		0,53			
		0,55			

A3/0,30	50	0,58	0,59	0,02	3,36
		0,59			
		0,62			
A3/0,30	70	0,64	0,65	0,02	3,68
		0,65			
		0,68			
A3/0,30	90	0,70	0,72	0,03	4,18
		0,70			
		0,75			
A3/0,30	110	0,76	0,78	0,03	4,40
		0,76			
		0,82			
A3/0,30	140	0,83	0,85	0,04	5,10
		0,82			
		0,90			
A3/0,30	170	0,89	0,91	0,05	5,23
		0,88			
		0,96			
A3/0,30	200	0,94	0,97	0,05	5,43
		0,94			
		1,03			
A3/0,30	240	1,01	1,04	0,06	5,92
		1,00			
		1,11			
A3/0,30	280	1,06	1,10	0,07	6,13
		1,05			
		1,17			
A3/0,30	320	1,13	1,16	0,07	6,20
		1,11			
		1,24			
A3/0,30	360	1,19	1,22	0,08	6,53
		1,17			
		1,32			
A3/0,30	410	1,25	1,29	0,09	6,72
		1,23			
		1,39			
A3/0,30	460	1,31	1,35	0,09	6,97
		1,29			
		1,46			