



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL  
LINHA DE PESQUISA: MATERIAIS E PROCESSOS  
CONSTRUTIVOS**

**LIDIANE FERNANDA JOCHEM**

**ESTUDO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM  
AGREGADOS RECICLADOS DE RCD: CARACTERÍSTICAS  
FÍSICAS E PROPRIEDADES DA MICROESTRUTURA**

**FLORIANÓPOLIS  
2012**





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÃO CIVIL  
LINHA DE PESQUISA: MATERIAIS E PROCESSOS  
CONSTRUTIVOS**

**LIDIANE FERNANDA JOCHEM**

**ESTUDO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM  
AGREGADOS RECICLADOS DE RCD: CARACTERÍSTICAS  
FÍSICAS E PROPRIEDADES DA MICROESTRUTURA**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de MESTRE em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Janaíde Cavalcante Rocha.

**FLORIANÓPOLIS  
2012**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jochem, Lidiane Fernanda

Estudo das argamassas de revestimento com RCD [dissertação] : Características físicas e propriedades da microestrutura / Lidiane Fernanda Jochem ; orientadora, Janaíde Cavalcante Rocha – Florianópolis, SC, 2012.

221 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Agregado reciclado. 3. Argamassas. 4. Molhagem. 5. Finos. I. Rocha, Janaíde Cavalcante. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

LIDIANE FERNANDA JOCHEM

**ESTUDO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM  
AGREGADOS RECICLADOS DE RCD: CARACTERÍSTICAS  
FÍSICAS E PROPRIEDADES DA MICROESTRUTURA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 06 de Junho de 2012.

---

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto – Coordenador do PPGEC

---

Prof. Dr. Ing. Janaíde Cavalcante Rocha (Orientadora)

**Banca examinadora:**

---

Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Examinador externo- UFPe)

---

Prof. Dr. Alexandre Lima de Oliveira (Examinador externo - IFSC)

---

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr. (Examinador do PPGEC)

---

Dr. Júlio Cesar Zanchet Piaia (Examinador externo)



Dedico este trabalho aos meus  
pais Vilmar e Noeli Jochem, a  
minha avó Brandina e as minhas  
sobrinhas Isadora e Amanda.



## AGRADECIMENTOS

A CNPQ pelo imprescindível apoio financeiro.

À professora Janaíde por ter me recebido no laboratório ValoRes e aceitado ser minha orientadora, me ajudando na realização desta pesquisa.

Ao professor Malik pelos ensinamentos.

À professora Caroline Angulski Da Luz, pois graças as suas aulas descobri em qual área gostaria de seguir pesquisando e agradecer pela ajuda e incentivo quando decidi ingressar na pós-graduação.

Aos professores Prudêncio, Alexandre, Arnaldo e Júlio pelos ensinamentos e melhorias sugeridas na banca. Agradeço também ao professor Prudêncio pelo empréstimo de equipamentos laboratoriais e o Júlio pelo auxílio no trabalho.

À construtora NBS pela disponibilização de suas instalações para realização da britagem do agregado reciclado, em especial ao engenheiro Sérgio José Novello (*in memoriam*).

À Cedro Engenharia, Comércio e Mineração pela doação do agregado de britagem, em especial ao engenheiro Joélcio Stocco.

Ao Luís e Renato, funcionários do LMCC. E o Roque por sempre me fazer rir e me ajudar quando necessário.

Aos colegas de laboratório: Cecília, Júlio, Caroline, Eliz, Fabiana, Sabrina, Marina e Rodolfo, por me ajudarem sanando minhas dúvidas, pela amizade e pelas conversas na hora do café. Em especial ao Rodolfo, Fabiana e Carol por ficarem até tarde me ajudando na confecção das argamassas.

As pessoas especiais que conheci no mestrado e que vou levar comigo para sempre, Juliana, Cícero, Ronaldo, Rudiele, Márcio, Gledês, Giovana, Adriano, Renata, Viviane, Ricardo, Quintero, Samira e José. Em especial a Juliana pelas conversas, brincadeiras e momentos de descontração.

Quero agradecer também, as pessoas que me ensinaram como eu não quero ser.

As minhas amigas Dari, Pame, Adri, Rosane, Dai, Cris, Polly e Bruna gostaria de agradecer pela amizade infinita.

A minha família que sempre me apoio e incentivou. Em especial aos meus tios José e Iraci e minha nona Zelinda, por me receberem em sua casa nas idas e vindas de Pato para Floripa, sempre com muito carinho e alegria.

Agradeço imensamente ao meu namorado César Augusto por todo apoio, amizade, amor, carinho, compreensão, paciência (muita

paciência) e ajuda, sem você a realização deste trabalho não seria possível. Obrigada!

E por fim, um agradecimento muito especial aos meus pais Vilmar e Noeli, que são pessoas fundamentais na minha vida, o meu porto seguro, o meu exemplo, pela confiança, carinho, apoio e por acreditarem em mim até mesmo quando eu não acreditava. Peço desculpas a vocês, a minhas irmãs Aline e Taisline e as minhas sobrinhas Isadora e Amanda pelos momentos em que estive ausente, mas sei e vocês sabem que foi por um bom motivo e que levo vocês sempre comigo. Amo vocês.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADA!**

“Se não houver frutos, valeu a beleza das flores.  
Se não houver flores, valeu a sombra das folhas.  
Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.”  
(Henfil)



## RESUMO

As atividades de desconstrução e de demolição vêm possibilitando a segregação de materiais com potencial de beneficiamento em centrais de reciclagem para a produção de agregados reciclados dos resíduos de construção e de demolição, RCD. A fração miúda dos agregados reciclados apresenta grande potencial tecnológico para uso em substituições ao agregado natural, podendo contribuir para o desenvolvimento de materiais sustentáveis, especificamente para uso como agregado miúdo para produção de argamassas de revestimento. Um dos desafios está na compreensão do efeito da molhagem prévia e no estabelecimento dos teores máximos da adição de finos (fração inferior a 150  $\mu\text{m}$ ) que as argamassas suportam numa composição com uma areia média (0,15/ 2,4 mm) e uma areia fina (0,15/ 1,2 mm). Neste trabalho investigou-se o comportamento do agregado reciclado seco e molhado previamente até a condição saturada superfície seca (chegando a esse valor através do ensaio de absorção capilar para duas curvas granulométricas estabelecidas). Foram definidas sete composições diferentes com a curva média e cinco composições com a curva fina, com variação na quantidade de fino, e determinadas às propriedades físicas dos agregados. Em seguida, foram confeccionadas as argamassas e avaliadas as propriedades no estado fresco: massa específica, retenção de água e trabalhabilidade; e no estado endurecido, as propriedades físicas; as propriedades higrotérmicas; e as propriedades mecânicas. Os resultados demonstram que a molhagem prévia do agregado miúdo afeta as propriedades das argamassas, bem como a adição de finos. A molhagem prévia nas argamassas com a curva média melhora praticamente todas as propriedades avaliadas e as que não melhoraram, se mantiveram iguais às das argamassas produzidas com agregado seco. Já nas argamassas com a curva fina, a molhagem prévia melhora algumas propriedades e piora outras. No caso do traço rico, piora o teor de ar incorporado, a resistência potencial de aderência à tração e o módulo de elasticidade, e com o traço pobre piora a absorção de água por imersão e por capilaridade, a porosidade aberta, a secagem ao ar, a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão. Existe um benefício quando se realiza a molhagem do agregado reciclado. Já em relação à adição de finos, percebe-se que nas argamassas, até certa quantidade, as propriedades foram melhoradas. A partir desse ponto limite, percebe-se que os resultados começam a reduzir gradativamente.

Palavras-chave: Agregado reciclado; Molhagem; Finos; Argamassas.



## ABSTRACT

The activities of deconstruction and demolition have enabled the segregation of materials with potential for improvement in recycling central for the production of recycled aggregates from construction and demolition waste, RCD. A fine fraction (less than 150  $\mu\text{m}$ ) of recycled aggregates has great technological potential for use in replacement to natural aggregate and may contribute to the development of sustainable materials, specifically to produce mortar coating. One of the challenges is to understand the effect of prior wetting and the maximum levels of addition of fine fraction that support a mortar composition with a medium sand and fine sand. In this study, it was investigated the behavior of recycled aggregate dry and wet condition prior to the saturated surface dry (getting up to this value through the capillary absorption test for two granulometric curves established: a medium (0,15/ 2,4 mm) and a fine sand (0,15/ 1,2 mm)). Were analyzed seven different compositions for the medium curve (recomposed curve) and the five compositions with fine sand. The variation in the amount of fine was studied in certain physical properties as: density, bulk density and water absorption. Then the mortars were prepared and evaluated at fresh state properties: density, water retention and workability and hardened state, the physical properties: density and open porosity; hygrothermal properties: capillary, sorptividade, and the properties mechanical properties: tensile strength in flexion, compressive strength, modulus of elasticity and bond tensile strength. The results demonstrate that prior to wetting of the fine aggregate affects the properties of the mortar, and the addition of fines. The previous aggregate wetting improves almost all properties, and in the other properties remained the same as mortars produced with dry aggregate. In mortar with fine sand, the use of wetting curve previous improves some properties and other deterioration, for the mix rich in cement composition, the worst properties were: the amount of entrained air, potential deterioration of adhesion strength and modulus of elasticity, and the characteristic deterioration mix water absorption by dipping and by capillarity, the porosity, air drying, the tensile strength in flexion and compressive strength. There is a benefit when performing the wetting of recycled aggregate. Now, regarding the addition of fine can be seen that the mortar until a certain amount of fine properties have been improved from this point it is clear boundary that occurs in an excess of fine mortar and the results begin to gradually reduce.

Keywords: Recycled aggregate; Wetting aggregate; Fine; Mortars.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Condições de aplicação das argamassas. ....	39
Figura 2: Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula.....	46
Figura 3: Diferença entre porosidade e permeabilidade.....	47
Figura 4: Condições de molhamento sólido-líquido (a) boa molhabilidade (b) baixa molhabilidade.....	50
Figura 5: Fluxograma geral do programa experimental.....	54
Figura 6: Conjunto de peneiras, especificadas as frações limpas com o ar comprimido e por lavagem.....	64
Figura 7: Agregado submerso em água.....	66
Figura 8: Esquema do ensaio. ....	67
Figura 9: Aparato utilizado no ensaio de massa específica.....	69
Figura 10: Ensaio de consistência das argamassas.....	70
Figura 11: Aparato utilizado no ensaio de retenção de água.....	70
Figura 12: Ensaio de absorção de água por imersão. ....	71
Figura 13: Ensaio de absorção de água por capilaridade.....	72
Figura 14: Dessecador utilizado no ensaio de adsorção.....	74
Figura 15: Porta amostra. ....	75
Figura 16: Câmara pronta para o ensaio de permeabilidade ao vapor...	75
Figura 17: Esquema de migração de umidade.....	76
Figura 18: Ensaio de resistência à tração na flexão (a) e de resistência à compressão (b). ....	78
Figura 19: Corpo de prova preparado para o ensaio de módulo de elasticidade.....	79
Figura 20: Blocos de concreto com o substrato.....	79
Figura 21: Ciclo de cura térmico.....	80
Figura 22: Argamassas com as pastilhas acopladas. ....	81
Figura 23: a) Aparato utilizado no ensaio de aderência à tração; b) aparato acoplado na pastilha. ....	81
Figura 24: Distribuição granulométrica dos agregados.....	85
Figura 25: Distribuição granulométrica dos finos.....	85
Figura 26: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD.....	91
Figura 27: Volume de água absorvido pelo tempo - AB.....	91
Figura 28: Volume de água absorvido pelo tempo - AN.....	92
Figura 29: Volume de água absorvido pelo tempo – Curvas granulométricas.....	93
Figura 30: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm) nas argamassas.....	97

Figura 31: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm) nas argamassas .....	97
Figura 32: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm - traço rico) nas argamassas.....	98
Figura 33: Flow das argamassas com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm.....	100
Figura 34: Flow das argamassas com a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm.....	100
Figura 35: Flow das argamassas com a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm (traço rico).....	101
Figura 36: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm).....	103
Figura 37: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	104
Figura 38: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico).....	104
Figura 39: Resistência à compressão das argamassas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	109
Figura 40: Resistência à compressão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	110
Figura 41: Resistência à compressão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/0,15mm) - traço rico.....	110
Figura 42: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva média (D/d: 2,4 /0,15 mm).....	111
Figura 43: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	112
Figura 44: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) - traço rico.....	112
Figura 45: Consumo de cimento das argamassas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	113
Figura 46: Consumo de cimento das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	114
Figura 47: Consumo de cimento das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) - traço rico .....	114
Figura 48: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	117
Figura 49: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	118
Figura 50: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm - traço rico).....	119
Figura 51: Ruptura dos corpos de prova. ....	120
Figura 52: Resistência potencial de aderência à tração.....	120

Figura 53: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	123
Figura 54: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	124
Figura 55: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico) .....	124
Figura 56: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm).....	127
Figura 57: Absorção pelo tempo - RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15 mm).....	128
Figura 58: Absorção pelo tempo - AB (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	128
Figura 59: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm).....	129
Figura 60: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	129
Figura 61: Absorção pelo tempo - RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	130
Figura 62: Absorção pelo tempo - AB (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	130
Figura 63: Absorção pelo tempo - AN (D/d: 1,2/ 0,15 mm) .....	131
Figura 64: Absorção de água pelo tempo - RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico) .....	131
Figura 65: Absorção de água pelo tempo - RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico) .....	132
Figura 66: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d:2,4/0,15mm)	133
Figura 67: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	134
Figura 68: Quantidade de água pelo tempo – AB (D/d: 2,4/0,15 mm)	135
Figura 69: Quantidade de água pelo tempo – AN (D/d: 2,4/0,15 mm)	135
Figura 70: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d:1,2/0,15mm)	136
Figura 71: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15mm) .....	137
Figura 72: Quantidade de água pelo tempo – AB (D/d: 1,2/ 0,15mm)	137
Figura 73: Quantidade de água pelo tempo – AN (D/d: 1,2/0,15 mm)	138
Figura 74: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico) .....	139
Figura 75: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico) .....	140
Figura 76: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	143
Figura 77: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15mm) .....	143
Figura 78: Volume de água absorvido pelo tempo - AB (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	144
Figura 79: Volume de água absorvido pelo tempo - AN (D/d: 2,4/ 0,15 mm) .....	144

Figura 80: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	145
Figura 81: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15mm).....	145
Figura 82: Volume de água absorvido pelo tempo – AB (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	146
Figura 83: Volume de água absorvido pelo tempo – AN (D/d: 1,2/ 0,15 mm).....	146
Figura 84: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico) .....	147
Figura 85: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico) .....	147
Figura 86: Ângulo de molhamento .....	150
Figura 87: Ângulo de molhamento .....	151
Figura 88: Ângulo de molhamento pela quantidade de finos.....	152
Figura 89: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado com a curva granulométrica média. ....	156
Figura 90: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado saturado previamente com a curva granulométrica média.....	157
Figura 91: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado de britagem com a curva granulométrica média.....	157
Figura 92: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado natural com a curva granulométrica média.....	158
Figura 93: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado com a curva granulométrica fina.....	159
Figura 94: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado saturado previamente com a curva granulométrica fina. ....	159
Figura 95: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado de britagem com a curva granulométrica fina. ....	160
Figura 96: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado natural com a curva granulométrica fina. ....	161
Figura 97: Evolução do fluxo de umidade nas argamassas com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm. ....	162
Figura 98: Evolução do fluxo de umidade nas argamassas com a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm. ....	162
Figura 99: Permeabilidade ao vapor. ....	163

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fatores que influenciam a consistência e plasticidade. ....	42
Tabela 2: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.....	44
Tabela 3: Características do cimento CP II-F-32. ....	56
Tabela 4: Normas e procedimentos realizados na pesquisa .....	57
Tabela 5: Relação das argamassas confeccionadas. ....	60
Tabela 6: Traço das argamassas confeccionadas.....	60
Tabela 7: Quantidade dos materiais para determinar a IAP. ....	68
Tabela 8: Análise granulométrica dos agregados e composição das areias empregadas na pesquisa.....	82
Tabela 9: Módulo de finura de cada traço. ....	83
Tabela 10: Módulo de finura dos traços ricos. ....	83
Tabela 11: Coeficiente de curvatura e de uniformidade das areias .....	83
Tabela 12: Coeficiente de curvatura e de uniformidade das areias .....	84
Tabela 13: Teores dos óxidos obtidos nas análises químicas.....	86
Tabela 14: Índice de atividade pozolânica. ....	87
Tabela 15: Propriedades físicas dos agregados e das frações usadas na pesquisa.....	88
Tabela 16: Resultados de absorção por imersão dos grãos. ....	89
Tabela 17: Sorptividade dos agregados e das curvas montadas. ....	93
Tabela 18: Massa específica aparente e teor de ar incorporado das argamassas.....	95
Tabela 19: Flow e retenção do flow .....	98
Tabela 20: Retenção de água das argamassas .....	101
Tabela 21: Resistência à compressão e consumo de cimento .....	105
Tabela 22: Resistência à tração na flexão.....	105
Tabela 23: Resistência à compressão e o consumo de cimento .....	106
Tabela 24: Resistência à tração na flexão .....	107
Tabela 25: Resultados do módulo de elasticidade.....	115
Tabela 26: Resistência potencial de aderência à tração.....	119
Tabela 27: Massa específica das argamassas no estado endurecido....	121
Tabela 28: Absorção de água e porosidade aberta das amostras .....	125
Tabela 29: Absorção de água por capilaridade das argamassas .....	141
Tabela 30: Sorptividade e ângulo de molhamento aparente das argamassas.....	148
Tabela 31: Valores experimentais utilizados no ajuste das isotermas, com a curva granulométrica média. ....	152
Tabela 32: Valores experimentais utilizados no ajuste das isotermas, com a curva granulométrica fina. ....	153

Tabela 33: Coeficientes do modelo GAB. ....	154
Tabela 34: Valores ajustados pelo método de GAB, para a curva granulométrica média.....	154
Tabela 35: Valores ajustados pelo método de GAB, para a curva granulométrica fina. ....	155
Tabela 36: Permeabilidade ao vapor com 47% de umidade relativa ..	163

## LISTA DE ABREVIACÕES/ SÍMBOLOS

- ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas;  
AB: Agregado de britagem;  
AN: Agregado natural;  
ASTM: American Society for Testing and Materials;  
A/C: Água/ cimento;  
CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente;  
D/d: 2,4/ 0,15: Curva com a dimensão máxima de 2,4 mm e mínima de 0,15 mm;  
D/d: 1,2/ 0,15: Curva com a dimensão máxima de 1,2 mm e mínima de 0,15 mm;  
Fino: material passante na peneira 0,15 mm;  
GTec: Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland;  
LMCC: Laboratório de Materiais de Construção Civil;  
LMPT: Laboratório de meios porosos e de propriedades termofísica;  
IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas;  
Nanotec: Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil;  
NBR: Norma Brasileira de Referência;  
RCD: Resíduo de Construção e Demolição;  
SSS: Saturado Superfície Seca;  
UR: Umidade Relativa;  
ValoRes: Laboratório de Valorização e Reciclagem de Resíduos Industriais da Construção Civil;  
 $\gamma$ : Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ );  
 $\delta$ : Massa unitária ( $\text{g/cm}^3$ );  
 $\sigma$ : Tensão (MPa);  
 $\varepsilon$ : Deformação (MPa);  
h: Horas;  
°C: Graus Celsius.



## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
1.1	OBJETIVOS:.....	31
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
2.1	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO .....	33
2.2	AGREGADO NATURAL E AGREGADO DE BRITAGEM .....	34
2.3	PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS .....	35
<b>2.3.1</b>	<b>Granulometria dos grãos e conteúdo de finos .....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Forma e textura superficial dos grãos.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Massa específica e Massa unitária.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Contaminantes e Impurezas.....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Absorção de água e porosidade .....</b>	<b>37</b>
2.4	ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO .....	38
<b>2.4.1</b>	<b>Argamassas com agregado reciclado.....</b>	<b>39</b>
2.5	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	41
<b>2.5.1</b>	<b>Trabalhabilidade.....</b>	<b>41</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Retenção de Água.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Massa específica aparente e teor de ar.....</b>	<b>43</b>
2.6	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO .....	44
<b>2.6.1</b>	<b>Resistência Mecânica .....</b>	<b>44</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Módulo de Elasticidade .....</b>	<b>45</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Aderência.....</b>	<b>45</b>
<b>2.6.4</b>	<b>Permeabilidade.....</b>	<b>46</b>
2.7	PRINCIPAIS ASPECTOS QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS .....	48
2.8	PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS .....	49
<b>2.8.1</b>	<b>Absorção por capilaridade.....</b>	<b>49</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Ângulo de molhamento.....</b>	<b>50</b>
<b>2.8.3</b>	<b>Cinética de secagem.....</b>	<b>51</b>
<b>2.8.4</b>	<b>Isotermas de Dessorção e Adsorção .....</b>	<b>51</b>
<b>3.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
3.1	MATERIAIS .....	55
<b>3.1.1</b>	<b>Água .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Cimento.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Agregados .....</b>	<b>56</b>
3.2	MÉTODOS .....	57
<b>3.2.1</b>	<b>Preparo das argamassas.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Caracterização dos agregados .....</b>	<b>63</b>

3.2.2.1	Análise granulométrica.....	63
3.2.2.2	Massa unitária e índice de volume de vazios.....	65
3.2.2.3	Absorção granular por imersão.....	65
3.2.2.4	Absorção granular da água por capilaridade.....	66
3.2.2.5	Avaliação da Pozolanidade.....	67
<b>3.2.3</b>	<b>Características das argamassas no estado fresco.....</b>	<b>68</b>
3.2.3.1	Massa específica aparente e teor de ar incorporado .....	68
3.2.3.2	Índice de consistência e retenção da fluidez.....	69
3.2.3.3	Retenção de água.....	70
<b>3.2.4</b>	<b>Características das argamassas no estado endurecido.....</b>	<b>71</b>
3.2.4.1	Absorção de água por imersão e porosidade aberta.....	71
3.2.4.2	Secagem ao ar.....	72
3.2.4.3	Absorção capilar.....	72
3.2.4.4	Isotermas de Adsorção.....	73
3.2.4.5	Permeabilidade ao vapor .....	74
3.2.4.6	Massa específica.....	76
3.2.4.7	Resistência à compressão e resistência à tração na flexão.....	77
3.2.4.8	Módulo de elasticidade.....	78
3.2.4.9	Resistência potencial de aderência à tração.....	79
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
4.1	CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS .....	82
<b>4.1.1</b>	<b>Análise granulométrica .....</b>	<b>82</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Caracterização da fração fina (&lt;0,15 mm) .....</b>	<b>86</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Massa específica e massa unitária .....</b>	<b>88</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Absorção granular por imersão .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Absorção granular por capilaridade.....</b>	<b>90</b>
4.2	CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS.....	94
<b>4.2.1</b>	<b>Estado fresco .....</b>	<b>94</b>
4.2.1.1	Massa específica e teor de ar incorporado.....	94
4.2.1.2	Índice de consistência e retenção da fluidez.....	98
4.2.1.3	Retenção de água.....	101
<b>4.2.2</b>	<b>Estado endurecido .....</b>	<b>105</b>
4.2.2.1	Resistência à compressão e resistência à tração na flexão.....	105
4.2.2.2	Módulo de elasticidade.....	115
4.2.2.3	Resistência potencial de aderência à tração.....	119
4.2.2.4	Massa específica.....	121
4.2.2.5	Absorção de água por imersão e porosidade aberta.....	125
4.2.2.6	Secagem ao ar.....	132
4.2.2.7	Absorção capilar.....	140
4.2.2.8	Isotermas de adsorção.....	152
4.2.2.9	Permeabilidade ao vapor .....	161

<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>164</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	168
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>169</b>
	APÊNDICES.....	177
	APÊNDICE 1: SORPTIVIDADE DOS AGREGADOS.....	178
	APÊNDICE 2: ANÁLISE DE VARIÂNCIA.....	182
	APÊNDICE 3: SECAGEM AO AR.....	212
	APÊNDICE 4: ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE.....	217



## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, houve uma crescente demanda na construção civil e, conseqüentemente, também ocorreu o aumento dos resíduos de construção e demolição. Estes resíduos, com a Resolução CONAMA (2002), passaram a ser denominados de RCD por serem provenientes de atividades de construção, reforma e demolição, os quais são advindos de diversas fontes e diferentes processos construtivos; por isso da grande variabilidade da qualidade, da composição e das características.

A utilização dos RCD como agregado reciclado está sendo pesquisado para as mais variadas aplicações, entre elas, para argamassas de revestimento e assentamento de edifícios. Porém, um dos desafios é a ausência de parâmetros que controlem a produção e a aplicação dessas argamassas. Outro problema seria reduzir a variabilidade das propriedades dessas argamassas, causada, devido a sua heterogeneidade, por serem compostos de materiais de naturezas diferentes, em teores variados e diferentes distribuições granulométricas; e garantir um bom desempenho dos revestimentos de paredes e tetos com RCD, quanto ao aparecimento de patologias, como fissuras e descolamento (MIRANDA; SELMO, 2004).

A utilização deste material no Brasil, na produção de argamassas, é uma alternativa viável para o problema do entulho gerado, pois há a tradição de se executar os revestimentos das edificações em argamassa, estimando-se o consumo deste material da ordem de  $0,13 \text{ m}^3$  de argamassa por  $\text{m}^2$  de construção (SOUZA; FRANCO, 1997).

Pinto (1999), em seu estudo, observou que os RCD podem corresponder a mais de 50% da massa dos resíduos sólidos municipais, confirmando a importância do tema.

O uso do agregado beneficiado em substituições ao agregado natural pode contribuir para o desenvolvimento de materiais sustentáveis, tendo em vista a crescente produção deste material que foi apoiado pelas resoluções CONAMA 307 (2002) e pela instalação de usinas de britagem no país.

Percebe-se que os trabalhos sobre a utilização do RCD em argamassas ainda é pouco difundido. O principal foco da maioria dos estudos com RCD tem sido a sua utilização como agregado graúdo para os concretos.

Nos revestimentos de argamassa com agregado reciclado, são encontrados os mesmos problemas que os encontrados em argamassas de agregado natural, porém agravadas pelo uso do RCD sem o conhecimento técnico necessário, sendo indispensável conhecer as proprieda-

des, o traço ideal para a utilização e não relacioná-lo com o agregado natural.

As dificuldades da utilização dos agregados reciclados dá-se à maior porosidade, textura mais rugosa, formato geralmente angular e maior quantidade de finos, necessitando maior quantidade de água de amassamento e, ao utilizar-se o agregado reciclado nas argamassas, são afetadas as propriedades como a trabalhabilidade, a consistência, a absorção de água entre outros.

Dentre as principais vantagens na utilização dos RCD destacam-se a redução do custo, redução dos impactos ambientais, como emissão de poluentes, consumo de energia e conservação das matérias-primas naturais. Já, uma desvantagem é conseguir verificar a qualidade e o desempenho destes, devido à sua variação de composição e a presença de eventuais contaminantes.

Em alguns trabalhos, os autores recomendam molhar previamente o agregado reciclado para não absorver a água necessária para o amassamento. Porém, poucos estudos abordam a molhagem prévia dos agregados reciclados miúdos para argamassa, sendo já consolidada a molhagem do agregado graúdo para produção do concreto.

Este estudo parte do pressuposto que a adição dos finos na argamassa e a molhagem prévia do agregado reciclado alterarão a estrutura porosa, provocando alterações na microestrutura e nas propriedades higrotérmicas das argamassas de revestimento. Para isso, foram montadas areias de RCD, AB (areia de britagem) e AN (areia natural) em duas composições granulométricas, uma média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) e outra fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm), previamente lavada, ou seja, sem pó aderido nos grãos. Foram adicionados finos (dimensão inferior a 0,15 mm) na composição das argamassas para verificar a influência dessa adição e verificar o teor máximo de fino que essas argamassas tolerariam em sua composição. A quantidade de fino nos traços (composições) variou de 0% até 35%. As argamassas de agregado reciclado foram confeccionadas com as curvas granulométricas ora secas e ora molhadas previamente.

Buscou-se avaliar, neste estudo, o efeito da porosidade do agregado reciclado nas modificações das propriedades das argamassas de revestimento, ocasionados pela substituição do agregado natural pelo agregado reciclado de RCD, pela molhagem e pela adição de finos no esqueleto granulométrico. Para tanto foram considerados as características da absorção de água, da permeabilidade ao vapor, o levantamento da isoterma de adsorção e da microestrutura da argamassa. Comparou-se o agregado reciclado com o agregado natural e o agregado

de britagem, tendo como problemática da pesquisa o melhoramento dos agregados do material poroso através da molhagem prévia e o beneficiamento causado pela adição de finos na composição das argamassas.

Assim, esta pesquisa buscou contribuir na identificação de propriedades que possam subsidiar na identificação de requisitos técnicos para que o agregado reciclado miúdo possa ser reciclado e aproveitado em maior escala, de forma cada vez mais racional e adequada para a Construção Civil.

Este documento encontra-se dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo descreve o referencial teórico sobre o tema. O segundo capítulo apresenta o levantamento bibliográfico, discute as principais características tecnológicas usadas para avaliação das argamassas e apresenta os estudos relacionados à temática. O terceiro capítulo trata da metodologia empregada, os métodos e procedimentos experimentais usados, desde a preparação das matérias-primas, o procedimento de avaliação do comportamento quanto à umidade usada e os procedimentos usados para avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido. O quarto capítulo apresenta a análise dos resultados da avaliação do comportamento do material granular, bem como as propriedades físicas medidas nas argamassas, tanto no estado fresco quanto endurecido. Por fim, as considerações finais sobre a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros compõem o último capítulo, capítulo 5, bem como as referências bibliográficas que foram utilizadas no transcorrer da presente pesquisa.

## 1.1 OBJETIVOS:

O presente trabalho tem como objetivo geral: avaliar o efeito da porosidade do agregado miúdo nas propriedades físicas das argamassas de revestimento desenvolvidas com agregado reciclado de construção e demolição (RCD).

Tem-se por objetivos específicos:

- Verificar a influência da absorção de água nas diferentes faixas granulométricas dos agregados reciclados, tanto para a composição granulométrica média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) quanto para a composição fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm);
- Avaliar as características da microestrutura da argamassa;
- Avaliar o efeito da adição dos finos de britagem de RCD na estrutura porosa das argamassas;

- Analisar o efeito da molhagem e da adição de finos na microestrutura das argamassas;
- Avaliar o efeito da molhagem na cinética de secagem das argamassas no estado endurecido;
- Verificar o efeito da molhagem e da adição de finos na redução da absorção capilar;
- Levantamento das isotermas de adsorção.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são apresentados o objeto do estudo, uma revisão discorrendo sobre as argamassas de revestimento com agregado reciclado e as propriedades do material a serem consideradas para a qualidade tecnológica da argamassa.

### 2.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são classificados de acordo com a resolução nº 307 do CONAMA (2002) como material granular derivado do beneficiamento de resíduos de construção que apresentam características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura ou outras obras de engenharia.

A Resolução nº 307 do CONAMA (2002) classifica os RCD em:

a) Classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados compostos por diversos materiais de origem mineral, tais como produtos à base de cimento; produtos cerâmicos e outros; b) Classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, como vidro, papel, gesso e outros; c) Classe C: resíduos sem tecnologia de reciclagem disponível; d) Classe D: resíduos considerados perigosos, como tintas, óleos e outros.

No Brasil, algumas usinas de beneficiamento do RCD classificam a fração mineral conforme a coloração em: cinza (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cimentícia, empregada em calçadas, blocos de concreto e outros) e vermelho (visualmente predominante de componentes de construção de natureza cerâmica, especialmente do tipo vermelha, empregada em atividades de pavimentação) (ANGULO, 2005).

Os agregados reciclados apresentam maior porosidade que os agregados naturais de rochas britadas. A porosidade influencia a resistência mecânica, as propriedades físicas, absorção de água e massa específica aparente dos concretos e argamassas. Esta maior porosidade do RCD é devido às parcelas de concreto, argamassas, material cerâmico e rocha em sua composição. Entretanto, a separação dos componentes do agregado reciclado por meio da catação não é eficiente para controlar o comportamento dos concretos e argamassas produzidos.

Produzir agregados reciclados bem graduados e limpos não é suficiente para garantir a qualidade do processo de reciclagem. O material precisa ser adequado à finalidade específica para a qual se destina, ou seja, sua granulometria deverá enquadrar-se dentro de determinados limites e, só poderá conter níveis toleráveis de

contaminação, para que assim, o concreto e a argamassa produzidos possam ser duráveis (LEVY, 2001).

Em função da sua origem, o agregado reciclado pode ser definido como material heterogêneo. Sua composição varia de região a região e da própria unidade recicladora. Isto se deve por ser um resíduo produzido num setor que envolve uma grande variedade de técnicas, métodos e materiais.

Para a utilização dos agregados, Mehta e Monteiro (1994) expõem as características que são importantes, principalmente ao utilizar agregados reciclados: porosidade, composição, granulometria, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias. Entretanto, muitos autores convergem fora essas características, mas a dificuldade de separação na origem (obras de construção e demolição) dificulta a sua padronização.

## 2.2 AGREGADO NATURAL E AGREGADO DE BRITAGEM

O agregado natural é definido pela NBR 9935 (2011) como material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem. E classifica a areia como agregado miúdo originado de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas, ou provenientes de processos industriais.

Sendo chamada de areia natural se resultante da ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais. E de areia de britagem se oriunda da britagem de rochas, sendo utilizado como agregado miúdo depois do beneficiamento do pó-de-pedra por processos de peneiramento, lavagem e/ou rebritagem. Os seus grãos podem possuir um formato angular e/ou lamelar, devido ao método de britagem e à natureza da rocha matriz (NBR 9935, 2011).

O agregado de britagem de origem basáltica, para Bastos (2002), possui um formato mais angular, com uma textura superficial mais áspera e com maior teor de finos. Isso faz com que necessite de maior demanda de água para obter concretos e argamassas com adequada trabalhabilidade. Este problema pode ser amenizado com o controle da fração miúda ( $<75 \mu\text{m}$ ).

As principais vantagens da utilização do agregado de britagem são a uniformidade e a maior facilidade de obtenção, quando comparado com o agregado natural (LODI, 2006).

## 2.3 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS

### 2.3.1 Granulometria dos grãos e conteúdo de finos

A composição granulométrica é uma característica muito relevante pela sua influência na trabalhabilidade, resistência mecânica, absorção de água, permeabilidade, no consumo de aglomerantes, entre outras propriedades das argamassas.

Numa central de reciclagem brasileira, Miranda (2000) verificou que os teores de finos ( $<75 \mu\text{m}$ ) em agregados alcançaram até 30 % da massa total. Para Duailibe (2008), ao serem usados em argamassas, os agregados reciclados, com a fração mais fina e maior superfície específica, precisam mais água de mistura e formam materiais com poros menores e com maiores potenciais de sucção.

A NBR 15116 (2004) limita o uso do teor de finos  $<75 \mu\text{m}$  em 20%, quando se utiliza o agregado reciclado destinado ao preparo de concretos sem função estrutural. Porém, para o uso do agregado reciclado em argamassas, a norma não apresenta requisitos ou estabelece exigências técnicas mínimas para o seu controle. Já a norma europeia prEN 13139 (2002) limita em, no máximo, 5% o teor de finos  $<63 \mu\text{m}$ , para o uso em argamassas de revestimento dos agregados obtidos do processamento natural, manufaturado ou de material reciclado.

Lima (1999) e Miranda (2000) aconselham eliminar parte da fração miúda ( $<75 \mu\text{m}$ ) do agregado reciclado para melhorar propriedades como, a absorção de água e reduzir os riscos de patologias, pela presença de contaminantes. Além disso, Miranda e Selmo (2004) relatam que finos inferiores a  $75 \mu\text{m}$  podem trazer consequências no seu desempenho, como fissuras, diminuição de aderência, entre outras.

Os agregados reciclados oriundos da britagem de blocos de concreto apresentam uma composição granulométrica mais contínua, sendo considerado adequado para utilização em argamassas, quando comparados com os agregados de alvenaria (MIRANDA E SELMO, 2004).

### 2.3.2 Forma e textura superficial dos grãos

A forma dos grãos diz respeito às características geométricas do agregado, que podem ser arredondadas (partículas formadas pelo atrito com perda de vértices e arestas), angulosas (agregados de rochas intrusivas britadas que possuem vértices e arestas bem definidas),

achatadas (partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação às outras duas dimensões) ou alongadas (partículas cujo comprimento é consideravelmente maior do que as outras duas dimensões). Já a textura superficial diz respeito ao grau de quanto à superfície do agregado é lisa ou áspera, sendo baseada em uma avaliação visual (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Num contexto geral, os agregados reciclados são mais angulares, irregulares, com superfície mais porosa e com textura mais áspera que os agregados naturais (ANGULO, 2000; LEVY, 2001). Essas características podem sofrer variações dependendo da composição do resíduo e do equipamento usado na britagem.

A forma e a textura superficial dos grãos dos agregados influenciam mais nas propriedades da argamassa no estado fresco do que no endurecido (MEHTA; MONTEIRO, 1994). A forma e a textura do agregado miúdo têm um efeito significativo sobre a demanda de água de uma mistura. As partículas mais angulosas e mais lamelares exigem mais água, para alcançar a trabalhabilidade adequada (NEVILLE, 1997; LIMA, 1999).

Tais características podem ser também observadas nos agregados miúdos oriundos de usinas de beneficiamento. São elas: a porosidade e a rugosidade que são atribuídas à quantidade de argamassa aderida ou o próprio material cerâmico, que é mais rugoso e poroso do que o agregado natural.

Materiais granulares angulares e lamelares tendem a formar poros mais tortuosos e a reduzir a conectividade desses poros. O aumento da tortuosidade dificulta a penetração de água e a redução da conectividade dos poros diminui a quantidade de água absorvida (CINCOTTO; SILVA e CARASEK, 1995).

### **2.3.3 Massa específica e Massa unitária**

A massa específica é uma propriedade influenciada pela porosidade do material (NEVILLE, 1997). Já, a massa unitária é influenciada pela porosidade, a distribuição de tamanho e a forma dos grãos (DUALIBE, 2008).

A massa específica e a massa unitária dos agregados reciclados diferem das observadas nos agregados naturais devido à composição do agregado. Os agregados reciclados possuem massa específica, em média, 10 % menor que a dos agregados naturais. Lima (1999) analisou esse efeito e concluiu que isso se deve à massa específica relativamente menor da argamassa aderida e pelo fato dos resíduos de construção

serem compostos de materiais porosos. Isto se reflete nas massas específicas de argamassas com agregado reciclado que também são menores que as de argamassas convencionais.

### **2.3.4 Contaminantes e Impurezas**

Nos materiais reciclados, é necessário que haja maior observação em relação aos materiais contaminantes ou impurezas, que se encontram presentes pela dificuldade de remoção antes e após a britagem, produzindo efeitos negativos às argamassas, não só às propriedades mecânicas, mas também à durabilidade. Sabe-se que, na fração miúda (menor que 4,8 mm) do agregado reciclado, estão presentes os maiores teores de impurezas.

Contaminantes nos materiais reciclados são considerados os materiais minerais não inertes ou que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas, como: cloretos, sulfatos, matéria orgânica além de produtos industrializados leves (papel, plástico, tecido entre outros), vidro, betume, vegetação, terra, madeira e outros. As impurezas e seus teores admissíveis dependem do uso pretendido para o agregado de RCD (LIMA, 1999).

O gesso é um dos mais prejudiciais, que pode levar a expansão da argamassa devido o sulfato. Por isso, nas normas de reciclado, são estabelecidos limites rigorosos ao conteúdo de sulfatos (LIMA, 1999). Para reduzir o efeito do gesso nas argamassas, podem ser usados cimentos mais resistentes a sulfatos, como o CP III e o CP IV (MIRANDA; SELMO, 2004).

### **2.3.5 Absorção de água e porosidade**

A absorção de água é uma propriedade completamente relacionada com a porosidade do material. O agregado reciclado, por ser composto por materiais porosos como argamassas, componentes de alvenaria, entre outros, apresenta taxas de absorção significativas, afetando principalmente a trabalhabilidade e a durabilidade da argamassa (LIMA, 1999; POON e CHAN, 2007; DUAILIBE, 2008; NENO, 2010).

A absorção de água é uma das características em que o agregado reciclado mais difere dos agregados naturais. Nos agregados reciclados, ocorre numa maior velocidade que os agregados naturais, podendo chegar à saturação em poucos minutos (PEDROZO, 2008; DUAILIBE, 2008).

Lima (1999) percebeu que, em diferentes amostras de agregados reciclados, com composições variadas, após 5 minutos de imersão em água as amostras atingiram cerca de 95% da absorção máxima.

Devido à maior absorção, para o uso dos agregados reciclados em argamassas, alguns autores recomendam seu uso na condição saturada, para evitar que o agregado absorva a água de amassamento, necessária para a hidratação e ganho de resistência, prejudicando a mistura. Uma das opções para a saturação prévia do agregado reciclado é levar o mesmo ao misturador e adicionar a água necessária para sua saturação, após pelo menos 7 minutos adicionar o cimento.

A NBR 15116 (2004) limita a absorção de água do agregado reciclado misto (concreto, argamassa e bloco cerâmico) em, no máximo, 17%.

Schulz (1993) propõe as seguintes técnicas para utilizar agregados absorventes: adição de água de acordo com os resultados do teste de absorção de água após 30 minutos; saturação dos agregados por imersão; ou a adição de água à argamassa de acordo com a trabalhabilidade requerida.

A absorção dos agregados reciclados pode variar em função da natureza do material e da faixa granulométrica (ANGULO, 2000).

Apesar da porosidade de uma mistura granular ser uma propriedade dominante no transporte de água, a tortuosidade e a conectividade dos poros mostram-se como características que podem reduzir essa influência (DUAILIBE, 2008).

## 2.4 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Segundo a NBR 13281 (2001), argamassas são materiais de construção obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, contendo ou não aditivos e adições minerais, com propriedades de aderência e endurecimento.

A argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, muros, tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros (CARASEK, 2007).

Para garantir um desempenho satisfatório dos revestimentos de argamassa de parede durante o seu tempo de vida útil, deve-se cumprir determinadas funções que, de acordo com Bauer (2005), vão desde a proteção à alvenaria, regularização das superfícies, isolamento térmico e acústico, estanqueidade a água, até funções de natureza estéticas. Geralmente, os sistemas de revestimento atuam em suas funções e propriedades em conjunto com o substrato.

Ainda, segundo Bauer (2005), a execução dos revestimentos exige propriedades particulares das argamassas, tais como plasticidade, para se deformar sobre a superfície do substrato quando do lançamento e aplicação, fluidez para envolver a rugosidade do substrato e retenção de água para manter a trabalhabilidade durante a aplicação (Figura 1).

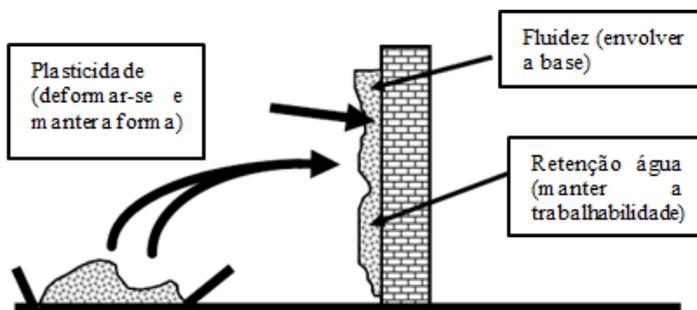


Figura 1: Condições de aplicação das argamassas.

Fonte: Bauer (2005).

Para atender as funções de um sistema de revestimento, certas propriedades tornam-se imprescindíveis ao bom desempenho das argamassas de revestimento, no estado fresco: a trabalhabilidade, consistência, plasticidade, adesão inicial, viscosidade, entre outras. Já no estado endurecido, devem possuir baixa retração e permeabilidade à água, aderência adequada, capacidade de absorver deformações e resistência mecânica (principalmente a superficial) (CARASEK, 2007).

#### 2.4.1 Argamassas com agregado reciclado

As argamassas com agregado reciclado possuem características que possibilitam a sua aplicação em serviços de assentamento e revestimento. De acordo com ANVI (s.d.), as argamassas com adição de resíduo de construção são utilizadas na Itália e na Argentina há mais de 80 anos. Possuem vários benefícios, tais como a geração de boa quantidade de finos, aumentando a plasticidade e a coesão, liberação de cal e cimento com potencial reativo e pozolanicidade de materiais cerâmicos. E ainda, para Lima (1999) e Corinaldesi (2009), com o uso do resíduo de construção, obtém-se boa aderência aos substratos.

Dentre os benefícios advindos da utilização do RCD em argamassas, pode-se citar: a utilização do resíduo no próprio local; economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de

materiais convencionais pelo resíduo; diminuição da poluição originada pelo RCD; preservação das reservas naturais de matéria-prima e o uso da fração menor que 4,8 mm do agregado reciclado. Contudo, a desvantagem de utilizar os resíduos de RCD na própria obra onde foi gerado, é devida a problemas operacionais de aplicação, como estabelecer uma trabalhabilidade e uma relação água/cimento (a/c) adequados.

Lima (1999) observou, em suas pesquisas, que a resistência mecânica de argamassas com agregado reciclado, na maioria das vezes, é maior que a de argamassas convencionais. Este comportamento é atribuído à pozolanicidade e ao efeito *filler* dos finos do agregado reciclado, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas das argamassas.

Poon e Chan (2007) concluíram que um efeito positivo na resistência de aderência pode ser atribuído à maior tendência para reter a água das argamassas com agregados reciclados.

Para Silva; Brito e Veiga (2007) a retenção de água é favorável para evitar a absorção rápida por parte do substrato e da evaporação, que evitam a hidratação completa do cimento, fazendo com que parte do cimento passe a funcionar como *filler*. Resende (2004) comenta que uma retenção de água elevada (em torno de 85%) é importante também para um ganho de resistência mecânica e de aderência, ocasionado devido ao endurecimento adequado da argamassa.

Segundo Silva; Brito e Veiga (2007) uma alta permeabilidade ao vapor de água é uma característica apreciável na argamassa, pois permite uma boa secagem da água que penetra na argamassa e facilita a eliminação do vapor de água que se forma no interior dos edifícios. Este fator pode significar características positivas, como uma menor absorção por capilaridade ou uma menor permeabilidade à água sob pressão, sendo que estes fatores dependem da quantidade e do tamanho dos poros.

A porosidade de um material divide-se em fechada (computa pelos poros não interconectados) e aberta (composta pelos poros interligados, permitindo a entrada de fluidos no meio). Corinaldesi (2009) ressalta que as argamassas com agregado reciclado apresentam maior porosidade aberta devido a maior porosidade dos agregados. Entretanto, seu teor de macro poros é menor.

As propriedades das argamassas com agregado reciclado, ligada à qualidade são: a trabalhabilidade (consistência, plasticidade, coesão e aderência). E as propriedades ligadas à durabilidade são: a resistência à compressão, à abrasão e à tração; aderência; absorção de água,

porosidade e estanqueidade; retração; estabilidade volumétrica; durabilidade (LIMA, 1999).

Apesar das vantagens na utilização do agregado reciclado, faltam informações para que seu uso se amplie. Sabe-se que o uso do agregado reciclado em argamassas pode causar retração por secagem, conforme o tipo de resíduo utilizado e o traço aplicado. Por isso, é utilizado às argamassas com uma parte de agregado reciclado e quantidade considerável de agregado natural, para evitar o aparecimento de patologias.

Com isso, percebe-se que é necessária a elaboração de métodos e especificações de ensaios exclusivos para o agregado reciclado, para que não seja aplicada apenas em serviços simplificados, visto que o agregado reciclado possui características adequadas para o uso em argamassas. Assim, a possibilidade do seu uso é promissor, podendo obter compósitos de boa qualidade.

## 2.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

### 2.5.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma das mais relevantes propriedades das argamassas no estado fresco. É a propriedade da argamassa recém-misturada que determina a facilidade com a qual pode ser misturada, lançada, adensada e acabada.

Para Mehta e Monteiro (1994), a trabalhabilidade é composta por pelo menos dois componentes principais, sendo eles: a fluidez (facilidade de mobilidade) e a coesão (resistência à exsudação ou à segregação). Carasek (2007) complementa que a trabalhabilidade é uma propriedade resultante de outras como: plasticidade, retenção de água, consistência, tixotropia, exsudação, tempo de pega e adesão inicial. De acordo com Prudêncio Jr., Oliveira e Bedin (2002) estas propriedades dependem do tipo e do teor de aglomerante, da granulometria, da forma dos grãos dos agregados e da quantidade de água.

A consistência e a plasticidade são vistas como as propriedades fundamentais para determinação da trabalhabilidade das argamassas de revestimento, servindo de parâmetro para determinar a quantidade de água necessária à mistura. As duas propriedades são interligadas, os fatores que influenciam estas propriedades, geralmente são os mesmos, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores que influenciam a consistência e plasticidade.

<b>Fatores Internos</b>	<b>Fatores Externos</b>
Teor de água muitas vezes definido em função da consistência necessária	Tipo de mistura
Proporção entre aglomerantes e agregados	Tipo de transporte
Natureza e teor dos plastificantes (cal, finos, etc.)	Tipo de aplicação no substrato
Distribuição granulométrica, forma e textura dos grãos do agregado	Operações de sarrafeamento e desempenho
Natureza e teor de aditivos	Características do substrato: tipo de preparo, rugosidade, etc.

Fonte: Bauer, 2005.

A consistência é definida como a propriedade das argamassas que, sob a ação de cargas, possui maior ou menor facilidade de deformar-se. E a plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação (CARASEK, 2007).

Miranda (2000) realizou ensaios de perda de fluidez nas argamassas à base de cal com agregado reciclado, no instante  $t=0$  min, variando de 30 em 30 minutos até um total de uma hora e meia, por meio do ensaio de espalhamento. Algumas argamassas apresentaram uma consistência menor que 240 mm, no final de 1 h 30 min, cuja aplicação como revestimento ficaria muito difícil, sendo necessário reamassá-las com água, o que poderia prejudicar o desempenho do revestimento.

### **2.5.2 Retenção de Água**

A retenção de água pode ser definida como a capacidade que a argamassa no estado fresco possui de se manter trabalhável, mesmo quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água de amassamento, tais como evaporação, sucção, absorção do substrato ou reações de hidratação do cimento (CINCOTTO; SILVA e CARASEK, 1995).

Pode-se aumentar a capacidade de retenção de água da argamassa de diferentes modos. Um deles é aumentar o teor de materiais constituintes com elevada área específica, adicionando saibro e/ou cal na argamassa. Esses dois materiais possuem partículas muito finas,

proporcionando uma elevada área específica. Com isso, a área a ser molhada é maior, aparecendo tensões superficiais que tendem a manter a água adsorvida nas partículas. Outra forma é utilizar aditivos, como é o caso dos derivados da celulose (aditivos retentores de água) (BAUER, 2005).

Segundo Carasek (2007), em argamassas de revestimento, a retenção de água interfere no tempo disponível de aplicação, regularização e desempenho da argamassa. No estado endurecido, a retenção de água afeta as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal que são os responsáveis pela evolução do endurecimento da argamassa. Como a retenção interfere na velocidade de evaporação da água de amassamento, pode influir na retração por secagem.

### 2.5.3 Massa específica aparente e teor de ar

A massa específica aparente é definida como a relação entre a massa do material e o volume, incluindo os vazios a uma temperatura estabelecida. Os vazios presentes na argamassa contêm ar aprisionado ou espaços, deixados pela evaporação do excesso de água de amassamento (NEVILLE, 1997).

De acordo com Carneiro e Cincotto (1999), o aumento da massa específica da argamassa é inversamente proporcional ao do agregado miúdo. Isso ocorre pelo aumento do consumo de aglomerantes que preenchem os vazios da fração inerte do agregado.

A NBR 13278 (2005) prescreve a Equação 1 para calcular a massa específica aparente das argamassas:

$$A = \left( \frac{m_c - m_v}{V_r} \right) \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

A = Massa específica da argamassa fresca (kg/m<sup>3</sup>);

m<sub>c</sub> = Massa do recipiente preenchido e rasado com argamassa (g);

m<sub>v</sub> = Massa do recipiente vazio (g);

V<sub>r</sub> = Volume do recipiente (cm<sup>3</sup>).

A partir do valor encontrado para a massa específica, define-se a argamassa em leve, normal e pesada segundo a Tabela 2.

Tabela 2: Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.

Argamassa	Massa específica: A (g/cm <sup>3</sup> )	Principais agregados empregados	Usos/ Observações
Leve	<1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	$2,30 \leq A \leq 1,40$	Areia de rio (quartzo) e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	>2,30	Barita (sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: Carasek, 2007.

O ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar no interior da argamassa. Este ar incorporado favorece a sua trabalhabilidade, entretanto também atua de forma desfavorável em relação às propriedades mecânicas (MANSUR; MANSUR, 2006).

A NBR 13278 (2005) também especifica a Equação 2 para obter o teor de ar incorporado na argamassa:

$$Ar = \left(1 - \frac{d}{d_t}\right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

d = Massa específica da massa da argamassa (g/cm<sup>3</sup>);

d<sub>t</sub> = Massa específica da massa teórica da argamassa (g/cm<sup>3</sup>).

## 2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

### 2.6.1 Resistência Mecânica

Para as argamassas de revestimento, a resistência mecânica não é uma propriedade de extrema relevância. Porém, para Tristão (1995), sua determinação é justificada, pois a resistência mecânica das argamassas está relacionada com a elasticidade que interfere na durabilidade dos revestimentos.

As argamassas precisam ter resistência suficiente para suportar movimentações do substrato, advindas de recalque ou variação dimensional, umedecimento e secagem ou dilatação e contração do próprio revestimento, devido às variações térmicas (TRISTÃO, 1995).

## 2.6.2 Módulo de Elasticidade

A argamassa de revestimento deve ter capacidade de se deformar sob a aplicação de cargas oriundas de carregamentos, variações térmicas e/ou da retração. Um material é considerado perfeitamente elástico se surgem e desaparecem deformações imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões (NEVILLE, 1997).

O módulo de elasticidade é uma propriedade importante para as argamassas, pois avalia a resistência do material a deformação elástica, ou seja, quanto maior o módulo maior a rigidez do material. O desempenho de uma argamassa de revestimento está diretamente ligado à capacidade de absorver deformações, que são medidas através do módulo de elasticidade, pois, se a argamassa for impedida de se deformar ou não possuir elasticidade suficiente, surgirá tensões de tração no revestimento, podendo aparecer fissuras.

## 2.6.3 Aderência

A aderência é a principal propriedade em um sistema de revestimento de argamassa. É a propriedade que permite, por meio da interface argamassa-substrato, absorver e resistir a esforços normais e tangenciais, ou seja, representa a capacidade do revestimento em manter-se estável, com ausência de fissuração e fixo ao substrato (CARASEK, 2007).

Pinto (1986, citado por Angulo, 2000) comenta que a argamassa produzida com material reciclado tem excelente resistência à aderência à tração. Devido a essas argamassas apresentarem muita retenção de água, ocorre uma melhor hidratação do cimento e com isso acaba diminuindo a retração e o surgimento de fissuras ao longo do tempo.

Cincotto; Silva e Carasek (1995) explicam que a aderência é influenciada pelas condições do substrato, como a porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e também pelas condições de execução.

Segundo Carasek (2007), a aderência da argamassa no estado endurecido ao substrato é ocasionada pela penetração da pasta aglomerante, da argamassa nos poros ou entre a rugosidade da base de aplicação.

A textura do substrato é importante no desenvolvimento da aderência. Assim, é fundamental que o substrato tenha determinada capacidade de absorção de água, para promover um caminho facilitado para o transporte dos compostos em hidratação do cimento. Substratos

com absorção muito baixa promovem aderência baixa. A rugosidade (Figura 2) da interface incrementa os valores de aderência conseguidos pela hidratação no interior do substrato. Por sua vez, substratos rugosos possuem maior área de contato com a argamassa aplicada, melhorando as condições de aderência. Substratos lisos, geralmente levam a valores de aderência menores, devendo sempre preparar as superfícies com o intuito de torná-las rugosas (BAUER, 2005).

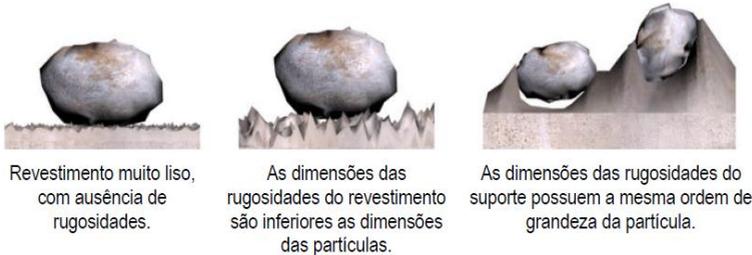


Figura 2: Influência da rugosidade do revestimento na aderência da partícula.

Fonte: Resende (2004).

#### 2.6.4 Permeabilidade

Permeabilidade é definida como a propriedade que governa a taxa de fluxo de um fluido para o interior de um sólido poroso, ou seja, é a facilidade com a qual os fluidos, tanto líquidos como gases, podem ingressar no material e se deslocar em seu interior (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Neville (1997), a permeabilidade não é função simples da porosidade, dependendo também, das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade dos poros.

Os fatores que influenciam a permeabilidade da argamassa são:

- Teor de aglomerante: a permeabilidade diminui com o aumento do consumo de cimento; o cimento com menor área específica (cimento mais grosso) tende a produzir argamassas mais porosas e mais permeáveis;

- Grau de hidratação da pasta: quanto maior o grau de hidratação da pasta, menor a permeabilidade;

- Agregado: grãos mais angulares e lamelares tendem a formar poros mais tortuosos que dificultam a passagem da água no meio e diminuem sua permeabilidade (CINCOTTO; SILVA e CARASEK, 1995).

De acordo com Ferreira (2000), quando os diâmetros dos poros são reduzidos, o material tem uma forte capilaridade e uma permeabilidade fraca e, inversamente, quando os diâmetros são grandes a capilaridade é pequena e a permeabilidade grande. Por sua vez, à medida que se reduz a relação a/c, vai se obtendo estruturas cada vez mais compactas.

Não se pode confundir permeabilidade com porosidade, sendo que esta é a medida da proporção do volume total da argamassa ocupada por poros, geralmente em porcentagem (Figura 3). Se a porosidade for grande e os poros estiverem interligados, estes contribuem para o aumento da permeabilidade, pois facilitam o deslocamento dos fluidos através da argamassa. Porém, se estes poros forem descontínuos, não permitem a movimentação dos fluidos e a permeabilidade será baixa.



Figura 3: Diferença entre porosidade e permeabilidade.

Fonte: Ferreira, 2000.

Tristão (1995) comenta que a absorção de água capilar de um revestimento deve ser inferior à da base a ser revestida e quanto menor esta permeabilidade, melhor a proteção da base contra as intempéries, desde que possua permeabilidade ao vapor d'água. Por sua vez, os agentes agressivos são transportados para o interior da argamassa através da penetração de água, que é governada pela permeabilidade. O movimento dos agentes agressivos depende da estrutura da pasta de cimento hidratado, já que ocorre por meio dos poros e das microfissuras contidos nela, ou seja, do diâmetro, continuidade e distribuição do tamanho dos poros.

O conceito de permeabilidade ao vapor é utilizado para avaliar os problemas de condensação de vapor em paredes de edificações (BAROGHEL, 1994). A permeabilidade ao vapor pode variar de acordo com as condições ambientais e principalmente com a umidade relativa.

O transporte de água por difusão de vapor é consequência das diferentes concentrações entre dois componentes da mistura gasosa, ar seco – vapor de água, quando um material é colocado entre dois ambientes com a mesma temperatura, com umidades relativas diferentes (pressões de vapor diferentes). Essa diferença de pressão se torna a força

motriz para que o vapor de água atravessasse os poros do material e esse transporte molecular se mantém até que as concentrações sejam iguais (VAZ, 1995).

## 2.7 PRINCIPAIS ASPECTOS QUE AFETAM AS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS

Nas argamassas de revestimentos, o fenômeno da retração prejudica a qualidade, criando tensões internas e fissuras, com o uso do agregado natural ou o agregado reciclado. Porém, a retração em argamassa com agregado reciclado é maior que em argamassas convencionais, principalmente quando se utiliza a fração fina do reciclado. Entretanto, os finos do agregado reciclado não são o único problema, podendo causar maior retração dependendo da composição, granulometria, teores de impurezas entre outras (LIMA, 1999).

Para Kronlöf; Leivo e Sipari (1995), por meio da cura, pode-se diminuir a retração nos revestimentos, atrasando a formação de pressão capilar até começar a desenvolver resistência, utilizando a aspersão de água de 1 a 3 kg/m<sup>2</sup>. Os autores também perceberam que a cura pode ter uma influência positiva no comportamento do revestimento quanto ao controle de fissuração e aderência dos revestimentos.

Miranda e Selmo (2004) perceberam que o aditivo incorporador de ar auxilia na redução de fissuras nos revestimentos, uma vez que, para as mesmas amostras de agregado miúdo de RCD, fissuraram menos as argamassas que apresentaram os maiores teores de ar incorporado. Porém, os autores comentam que o teor de fino (<75 µm) do RCD influencia negativamente no desempenho do aditivo, pois ocupa o espaço que seria ocupado pelas bolhas de ar, chegando à conclusão que é preferível controlar a fissuração dos revestimentos primeiro por meio do controle dos finos do que com o uso de aditivos.

Ainda, de acordo com Miranda e Selmo (2004), os agregados de RCD podem ser utilizados para produção de revestimentos, em argamassas de cimento Portland, obtendo-se bons resultados de acabamento superficial, resistência de aderência à tração e baixos níveis de fissuração, chegando a apresentar igual, ou melhor, proteção ao substrato do que o revestimento de argamassa natural. Entretanto, é necessário definir um procedimento de dosagem das argamassas, garantindo que suas propriedades atenderão às solicitações impostas, de forma satisfatória.

## 2.8 PROPRIEDADES HIGROTÉRMICAS

### 2.8.1 Absorção por capilaridade

A absorção capilar é o processo físico pelo qual o material cimentício retém água nos poros capilares, ocorrendo na fase líquida da água. O ensaio consiste em determinar a absorção capilar num corpo de prova ao longo do tempo, em função da variação de massa até a estabilização. Quanto mais interligados os poros capilares, maior e mais rápida será a absorção. A partir da absorção, pode ser determinado a sorptividade das misturas e com a sorptividade determinar o ângulo de molhamento dos materiais (DUAILIBE, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a água tem capacidade para criar e degradar materiais naturais e artificiais, como o concreto e a argamassa, sendo esse um fator essencial por trás da maioria dos problemas de durabilidade das matrizes cimentícias, já que a água é agente de transporte para íons agressivos. Por isso, definir a absorção da argamassa é importante para conferir a sua durabilidade. Valores baixos de absorção sugerem argamassas melhores.

De acordo com Helene (1993), absorção pode ser medida através da quantidade de água que pode preencher os espaços vazios da estrutura de um material, sob a ação de uma pressão atmosférica normal, considerando os efeitos da capilaridade. A entrada da água por capilaridade depende das características do líquido, como viscosidade, densidade e tensão superficial, e das características do material, como a estrutura dos poros.

A absorção lenta indica a existência de capilares com diâmetros pequenos, atingindo uma maior profundidade, oposto da absorção rápida. Porém, Helene (1993), comenta que o mais importante é a intercomunicabilidade dos capilares, sendo menos relevante o seu diâmetro.

No Brasil, o ensaio de absorção de água por capilaridade é descrito pela norma NBR 9778 (2005). Entretanto, nesse ensaio só se consegue a primeira leitura do volume de água absorvida depois de 4 horas do início do ensaio. Neste trabalho, será utilizado um procedimento diferente, no qual se consegue uma leitura contínua do volume de água absorvido e a partir dos primeiros minutos do início do ensaio.

Para analisar a cinética de absorção, frequentemente são utilizados os coeficientes de capilaridade e de sorptividade. O

coeficiente de capilaridade fornece a profundidade de penetração do líquido e é determinado por meio da Equação 3:

$$H = k \times \sqrt{t} \quad (3)$$

Onde:

H = altura da mancha capilar (cm);

k = coeficiente de capilaridade;

t = tempo (s).

Para deduzir o coeficiente de absorção da água ou sorptividade é utilizada a seguinte relação:

$$X = S \times \sqrt{t} \quad (4)$$

Onde:

X = volume do líquido absorvido por área da seção transversal da amostra ( $\text{cm}^3/\text{cm}^2$ );

S = coeficiente de absorção da água ou sorptividade;

t = tempo (min).

## 2.8.2 Ângulo de molhamento

O ângulo de molhamento (Figura 4) é o ângulo formado na interface sólido-líquido. Este efeito na molhabilidade pode ser representado através das condições de interação líquido-sólido que apresentam baixa e alta molhabilidade (RANDALL, 1996).

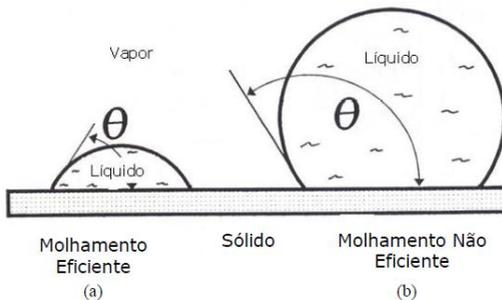


Figura 4: Condições de molhamento sólido-líquido (a) boa molhabilidade (b) baixa molhabilidade.

Fonte: Randall, 1996.

A velocidade de absorção da água capilar absorvida a certa pressão por um corpo poroso depende, em sua maioria, do grau de molhabilidade.

### 2.8.3 Cinética de secagem

A cinética de secagem das argamassas consiste na perda de água do material, quando exposto às condições controladas de umidade relativa e temperatura ambiente ao longo do tempo. É uma propriedade relevante, pois, nos revestimentos, quando em presença de água, pode ocasionar o surgimento de manifestações patológicas, como o mofo que pode acarretar danos à saúde.

O estudo da cinética de secagem permite avaliar a capacidade de eliminação da água contida no interior das argamassas e a caracterização da absorção de água das argamassas permite avaliar a facilidade da entrada de água na estrutura porosa (BARBARE; SHUKLA e BOSE, 2003).

### 2.8.4 Isotermas de Dessorção e Adsorção

As isotermas são representações gráficas da umidade relativa de equilíbrio ou da pressão parcial de vapor de um produto em função de seu teor de umidade a uma determinada temperatura, podendo ser de adsorção ou de dessorção. A isoterma de adsorção é obtida colocando um material totalmente seco em contato com diferentes umidades relativas crescentes e medindo-se o ganho de massa depois de atingido o equilíbrio, já a isoterma de dessorção, é obtida colocando um material inicialmente úmido sob umidades relativas decrescentes e medindo a perda de massa após o equilíbrio (LABUZA, 1968).

Por meio das isotermas de dessorção e adsorção do vapor de água é adquirida uma compreensão e quantificação do comportamento hídrico de materiais cimentícios no estado endurecido (BAROGHEL *et al.*, 1999).

As isotermas de dessorção e adsorção fornecem informações sobre a estrutura porosa do material, revelando a variação do conteúdo de umidade deste quando exposto a um ambiente em que a umidade relativa varia (SANTOS, 2006).

De acordo com Xi *et al.* (1994) as isotermas podem ser afetadas por qualquer parâmetro que modifique a estrutura porosa do material e a distribuição do tamanho dos poros, bem como, a relação a/c, tipo de cimento, tempo e tipo de cura, aditivos, relação cimento/agregado, entre outros.

Baroghel *et al.* (1999) constataram que as curvas de adsorção e dessorção exibem comportamentos distintos, porém a histerese ocorre

no domínio de umidade relativa onde há condensação capilar, não ocorrendo na região onde ocorre apenas a adsorção.

Diversos estudos demonstram, apesar do fenômeno da histerese, que as isotermas de dessorção e adsorção possuem a mesma forma, sendo mais frequentes os estudos de adsorção (XI *et al.*, 1994). O estudo da dessorção é relevante quando se pretende analisar fenômenos como a secagem (BAROGHEL *et al.*, 1999).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

As principais etapas da pesquisa foram:

- Caracterização das matérias-primas;
- Composição e montagem dos agregados em duas curvas granulométricas distintas: uma fina (D/d: 1,2/0,15 mm) e outra média (D/d: 2,4/0,15 mm);
- Avaliação da absorção de água da fração pelos agregados reciclados;
- Produção das argamassas com adição de finos nas composições com areia natural (AN), areia de britagem (AB) e areia de agregado reciclado (RCD, com e sem pré-molhagem);
- Avaliação das propriedades no estado fresco e endurecido;
- Avaliação do comportamento higrotérmico: absorção capilar, levantamento de isotermas e permeabilidade ao vapor;

Para o desenvolvimento das etapas da pesquisa foram usadas as infraestruturas dos laboratórios Valores (Valorização de Resíduos e Materiais), do LMCC (Laboratório de Materiais de Construção Civil), do GTEC (Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland), do Nanotec (Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil), e do LMPT (Laboratório de meios porosos e de propriedades termofísica).

Para determinar e avaliar as propriedades de argamassas com agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD), agregado de britagem e agregado natural foi esquematizado o programa experimental apresentado na Figura 5. Em seguida são apresentados os materiais utilizados na pesquisa e os métodos de ensaios.

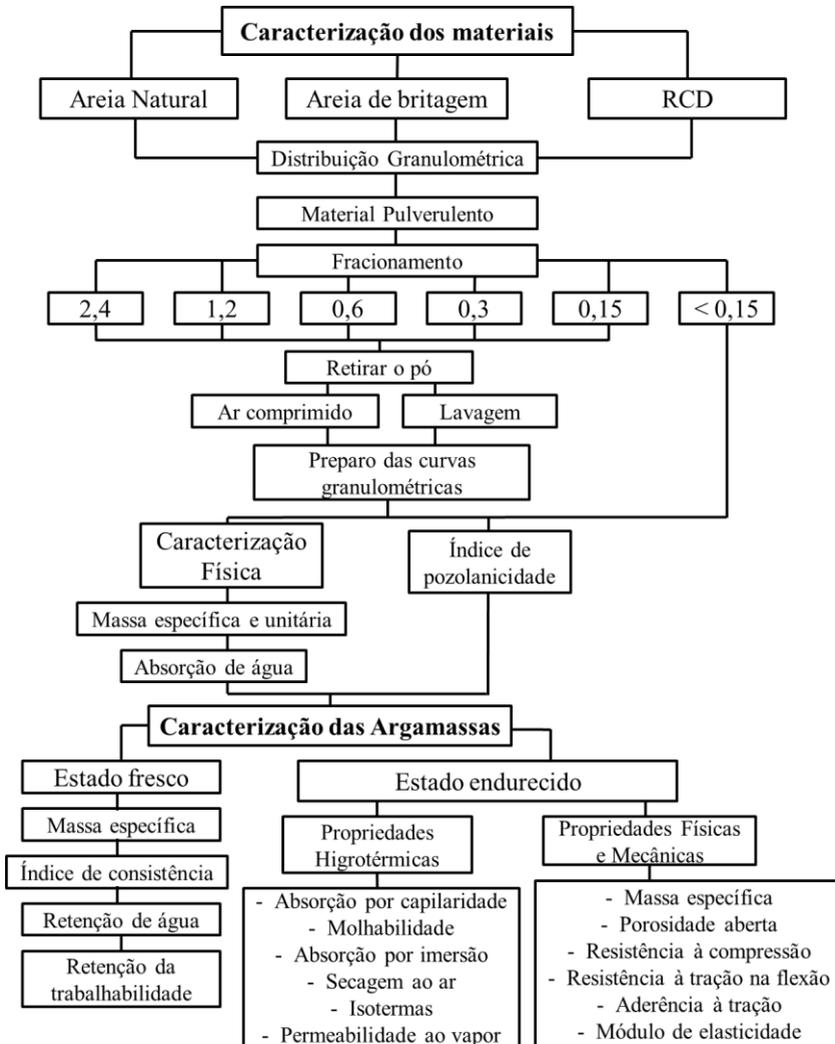


Figura 5: Fluxograma geral do programa experimental

Na primeira parte da pesquisa foi realizada a caracterização dos materiais, referente às suas propriedades físicas. Esta teve a finalidade de verificar o esqueleto granular do resíduo de construção, do agregado natural e do agregado de britagem, com o intuito de controlar a equivalência da massa específica e deixar todos os agregados com o mesmo esqueleto granular. As propriedades físicas dos agregados

avaliadas foram a granulometria, teor de material pulverulento, massa específica, massa unitária e absorção de água.

Para avaliar o efeito dos agregados miúdos naturais, de britagem e RCD, foram confeccionadas argamassas e analisadas as seguintes propriedades no estado fresco: massa específica, retenção de água e da fluidez; no estado endurecido, as propriedades físicas: massa específica e porosidade aberta; as propriedades higrotérmicas: absorção por imersão e por capilaridade, sorptividade, molhabilidade, secagem ao ar, isoterma e permeabilidade ao vapor; as propriedades mecânicas: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade e aderência à tração.

Foi analisada a retenção da fluidez das argamassas. Para isso verificou-se o índice de consistência no instante 0 (zero) e, passados trinta minutos, verificado novamente.

O ângulo de molhamento aparente e a sorptividade foram determinados pelo ensaio de absorção capilar, realizado com água e álcool nas argamassas.

Para avaliar as propriedades higrotérmicas, aos 28 dias de cura as amostras foram colocadas em estufa a 50°C até constância de massa.

### 3.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados foram: agregado natural, agregado derivado do beneficiamento do pó-de-pedra, agregado derivado do processamento de RCD, cimento Portland CP II F-32, aditivo hiperplastificante, aditivo methocel, água destilada e deionizada.

#### 3.1.1 Água

A água utilizada na confecção das argamassas e nos ensaios que necessitaram foi à água destilada e deionizada no Laboratório Valores, para evitar a presença de sais.

#### 3.1.2 Cimento

Nesta pesquisa utilizou-se o Cimento Portland composto com *filler* calcário, CP II-F, classe 32. Escolhido esse cimento pela ausência de adições inertes como pozolanas e escórias, permitindo avaliar a ação pozolânica do RCD. O laudo técnico do lote de cimento com as características químicas e físicas do cimento são fornecidas pelo fabricante e encontra-se na Tabela 3. A massa específica do cimento é de 3,10 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 3: Características do cimento CP II-F-32.

<b>Ensaio Químicos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4,08	4,20	4,13	
SiO <sub>2</sub>	%	18,18	19,07	18,32	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,44	2,52	2,49	
CaO	%	59,38	59,77	59,69	
MgO	%	4,74	5,28	5,14	
SO <sub>3</sub>	%	2,41	2,91	2,73	
CaO livre	%	0,87	1,26	1,08	
Perda ao fogo	%	5,15	5,99	5,56	
Resíduo insolúvel	%	1,08	2,40	1,61	
Equação alcalina	%	0,60	0,62	0,61	
<b>Ensaio Físicos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	
Expansão a quente	mm	0,00	1,00	0,20	
Início de pega	min	155	195	172	
Fim de pega	min	190	240	212	
Água de Consistência normal	%	24,40	25,00	24,70	
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	3220	3740	3466	
Peneira 200	%	2,90	4,40	3,54	
Peneira 325	%	16,00	18,20	17,36	
Resistência à compressão	1 dia	MPa	11,60	14,50	13,40
	3 dias	MPa	25,00	29,20	27,20
	7 dias	MPa	31,90	34,90	33,30
	28 dias	MPa	39,80	41,60	40,70

### 3.1.3 Agregados

Nesta pesquisa foram utilizados três tipos de agregados: o agregado natural, o agregado de britagem e o agregado reciclado de RCD.

O agregado natural trata-se de um material obtido através da extração em leito de rio.

O agregado de britagem trata-se de um material de origem granítica e foi adquirido na empresa Cedro Engenharia Comércio e Mineração Ltda, que está localizada no município de São José em Santa Catarina, a empresa utiliza o britador VSI.

O agregado reciclado obteve-se na usina de beneficiamento, situada na cidade de São Bernardo do Campo, no estado de São Paulo. A escolha desse agregado reciclado ocorreu pelo fato de outros trabalhos desenvolvidos pelo grupo ValoRes terem utilizado esse material e devi-

do à inexistência de usinas de reciclagem de RCD na região de Florianópolis. Como o agregado possuía um diâmetro superior a 2,4 mm, esse material foi britado no britador de mandíbula móvel, modelo Queixada 300.

Como o material a ser britado já possui uma dimensão pequena, foi preciso repetir o processo várias vezes para conseguir o material abaixo da peneira 2,4 mm, ou seja, o material que caía na parte graúda era lançado novamente para dentro do britador.

Com esses agregados foram compostas as curvas granulométricas média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) e fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) utilizadas na pesquisa.

### 3.2 MÉTODOS

Os ensaios para determinação das características dos agregados e propriedades das argamassas foram executados, segundo a norma vigente. Porém, para a determinação de algumas propriedades, foram utilizados procedimentos experimentais, conforme especificado na Tabela 4.

Tabela 4: Normas e procedimentos realizados na pesquisa

	<b>Ensaio</b>	<b>Métodos</b>	<b>Normas</b>
Propriedades Físicas dos agregados	Distribuição granulométrica #2,4 a 0,15mm	Peneiramento	NBR NM 248/2001
	Distribuição granulométrica #<0,15 mm	Laser	-
	Massa específica	Picnômetro	NBR NM 52/2009
	Massa unitária	Recipiente cilíndrico com o volume conhecido	NBR NM 45/2006
	Material pulverulento	Lavagem dos agregados	NBR NM 46/2003
	Área específica	Blaine	NBR NM 76/1998
	Absorção de água por imersão	Grãos totalmente imersos por 24 h e 48 h	-
	Absorção de água por capilaridade	Variação da altura da água em um tubo graduado ao longo do tempo	Procedimento experimental: ValoRes
	Índice de pozolanicidade # <0,15 mm	Resistência à compressão	NBR 5752/ 1992

<b>Propriedades</b>	<b>Ensaio</b>	<b>Métodos</b>	<b>Normas</b>
Propriedades físicas – Estado fresco	Massa específica	Molde cilíndrico	NBR 13278/2005
	Índice de consistência	Mesa de consistência	NBR 13276/2005
	Retenção de água	Funil de Büchner modificado	NBR 13277/2005
	Retenção da trabalhabilidade	Tempo zero e 30 min depois	-
Propriedades físicas – estado endurecido	Massa específica	Molde prismático	NBR 13280/2005
	Porosidade aberta	Absorção de água por imersão	NBR 9778/2005
Propriedades Mecânicas	Resistência à compressão	Prensa	NBR 13279/2005
	Resistência à tração na flexão	Prensa	NBR 13279/2005
	Módulo de elasticidade	Relógios comparadores digitais e Prensa	Procedimento experimental: GTec
	Aderência à tração	Arrancamento	NBR 15258/2005
Propriedades Higrotérmicas – estado endurecido	Absorção de água por imersão	72 horas totalmente imersas em água	NBR 9778/2005
	Absorção por capilaridade	Variação da altura da água em um tubo graduado ao longo do tempo	Procedimento experimental: ValoRes
	Sorptividade	Absorção por capilaridade	
	Molhabilidade	Absorção por capilaridade	
	Secagem ao ar	Condições controladas 25±3°C e UR 60±5%.	
	Isoterma de adsorção	Solução salina saturada	ASTM C 1498-01
	Permeabilidade ao vapor	Solução salina saturada	Procedimento experimental: LMPT

### 3.2.1 Preparo das argamassas

Para o preparo das argamassas, primeiramente tentou-se utilizar o mesmo traço e a mesma relação água/cimento em todas as argamassas. Porém, como o agregado reciclado de construção e demolição tem um maior potencial de absorção, não foi possível utilizar a mesma relação a/c nas argamassas de agregado reciclado, agregado de britagem e no agregado natural. As argamassas com agregado de britagem e agregado natural com a relação a/c utilizada nas argamassas de RCD ficavam fluidas, não podendo ser consideradas argamassas de revestimento, por isso optou-se por mudar a relação a/c, variando até obter uma trabalhabilidade adequada (que foi determinada pelo pedreiro experiente).

Todos os traços foram com substituição volumétrica total do agregado natural, ou seja, 100% agregado reciclado e 100% agregado de britagem, para isso foi utilizado a Equação 5.

$$m_{residuo} = m_{areia} \times \frac{\gamma_{residuo}}{\gamma_{areia}} \times \%substituição \quad (5)$$

Onde:

m = massa (g);

$\gamma$  = massa específica (g/cm<sup>3</sup>).

Para a confecção das argamassas, foram definidas duas curvas granulométricas distintas: uma de composição fina (D/d: 1,2/0,15 mm) e outra média (D/d: 2,4/0,15 mm). Após, foram definidos os traços (composições unitárias), sendo cinco para a curva de composição fina e sete traços para a curva média, o que variou nos traços foi à quantidade de fino de 0 a 35%, ou seja, de: 1: 0: 7,5 a 1: 3: 4,5 (cimento: fino: agregado, em massa).

Considerou-se como fino o material passante na peneira 0,15 mm, ou seja, de dimensão inferior a 150  $\mu$ m, nas argamassas com o agregado reciclado (RCD) foi adicionado o fino do próprio material, e nas argamassas com o agregado de britagem (AB) e o agregado natural (AN), foi adicionado o fino do agregado de britagem. Não foi utilizado o fino do agregado natural por conter argila que poderia fazer com que a argamassa demanda-se mais água.

Foram confeccionadas argamassas com o agregado reciclado seco (RCD) e molhado previamente (RCD-M), realizando-se esse procedimento com a finalidade de evitar que o agregado absorvesse a água de amassamento. A quantidade de água necessária para saturar o agregado até a condição SSS (saturado superfície seca, quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há água na superfície), foi

determinada pelo produto entre a quantidade de agregado e a porcentagem de absorção dos grãos, tomadas no ensaio de capilaridade a água das curvas granulométricas, sendo que a quantidade de água utilizada para saturar o agregado foi reduzida da quantidade total de água no traço.

Os corpos-de-prova foram denominados conforme a nomenclatura da Tabela 5 e 6, sendo a ordem do traço (composição unitária em massa) cimento: fino: agregado miúdo.

Tabela 5: Relação das argamassas confeccionadas.

Argamassas	Nomenclatura	D/d: 2,4/0,15mm		D/d: 1,2/0,15mm	
		Seco	Molhado (SSS)	Seco	Molhado (SSS)
Agregado reciclado seco	RCD	X		X	
Agregado reciclado pré-molhagem	RCD-M		X		X
Agregado de britagem	AB	X		X	
Agregado natural	AN	X		X	

Tabela 6: Traço das argamassas confeccionadas

Material	Traço (em massa)			Relação			
	Cimento	Fino	Agregado	a/c	a/c+fino	Aditivo adesão/cim	Aditivo hiper/cim
RCD: D/d: 2,4/0,15mm	1	0	7,5	1,57	1,57	0,43	0,80
	1	0,5	7	1,57	1,05	0,43	1,50
	1	1	6,5	1,82	0,91	0,43	0,00
	1	1,5	6	1,82	0,73	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,82	0,61	0,43	0,00
	1	2,5	5	1,82	0,52	0,43	0,00
	1	3	4,5	1,82	0,46	0,43	0,00
RCD-M: D/d: 2,4/0,15mm	1	0	7,5	1,57	1,57	0,43	0,80
	1	0,5	7	1,57	1,05	0,43	1,20
	1	1	6,5	1,57	0,78	0,43	1,60
	1	1,5	6	1,57	0,63	0,43	2,00
	1	2	5,5	1,82	0,61	0,43	0,00
	1	2,5	5	1,82	0,52	0,43	0,00
	1	3	4,5	1,82	0,46	0,43	0,00

Material	Traço (em massa)			Relação			
	Cimento	Fino	Agregado	a/c	a/c+fino	Aditivo adesão/cim	Aditivo hiper/cim
AB: D/d: 2,4/0,15mm	1	0	7,5	1,27	1,27	0,00	0,00
	1	0,5	7	1,27	0,85	0,00	0,00
	1	1	6,5	1,27	0,64	0,00	0,00
	1	1,5	6	1,27	0,50	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,27	0,42	0,43	0,00
	1	2,5	5	1,27	0,36	0,43	0,00
	1	3	4,5	1,35	0,33	0,43	0,00
AN: D/d: 2,4/0,15mm	1	0	7,5	1,27	1,27	0,00	0,00
	1	0,5	7	1,27	0,85	0,00	0,00
	1	1	6,5	1,27	0,64	0,00	0,00
	1	1,5	6	1,27	0,50	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,27	0,42	0,43	0,00
	1	2,5	5	1,51	0,43	0,43	0,00
	1	3	4,5	1,51	0,37	0,43	0,00
RCD: D/d: 1,2/ 0,15mm	1	0	7,5	1,82	1,82	0,43	0,00
	1	0,5	7	1,82	1,21	0,43	0,00
	1	1	6,5	1,82	0,91	0,43	0,00
	1	1,5	6	1,82	0,73	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,82	0,61	0,43	0,00
RCD-M: D/d: 1,2/ 0,15mm	1	0	7,5	1,82	1,82	0,43	0,00
	1	0,5	7	1,82	1,21	0,43	0,00
	1	1	6,5	1,82	0,91	0,43	0,00
	1	1,5	6	1,82	0,73	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,82	0,61	0,43	0,00
AB: D/d: 1,2/ 0,15mm	1	0	7,5	1,57	1,57	0,43	0,00
	1	0,5	7	1,57	1,04	0,43	0,00
	1	1	6,5	1,57	0,78	0,43	0,00
	1	1,5	6	1,57	0,62	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,57	0,52	0,43	0,00
AN: D/d: 1,2/ 0,15mm	1	0	7,5	1,57	1,57	0,43	0,00
	1	0,5	7	1,57	1,04	0,43	0,00
	1	1	6,5	1,57	0,78	0,43	0,00
	1	1,5	6	1,57	0,62	0,43	0,00
	1	2	5,5	1,57	0,52	0,43	0,00

Material	Traço (em massa)			Relação			
	Cimento	Fino	Agregado	a/c	a/c+fino	Aditivo adesão/cim	Aditivo hiper/cim
RCD: D/d: 1,2/0,15mm	1	0	4,5	1,31	1,31	0,28	0,80
	1	0,5	4	1,31	0,87	0,28	1,20
	1	1	3,5	1,35	0,68	0,28	1,60
	1	1,5	3	1,35	0,54	0,28	2,00
	1	2	2,5	1,44	0,48	0,28	2,40
RCD-M: D/d: 1,2/0,15mm	1	0	4,5	1,31	1,31	0,28	0,80
	1	0,5	4	1,25	0,83	0,28	1,20
	1	1	3,5	1,25	0,63	0,28	1,60
	1	1,5	3	1,32	0,53	0,28	2,00
	1	2	2,5	1,32	0,44	0,28	2,40

Nota: Quantidade de aditivo hiperplastificante foi de 0,8 % da massa total de cimento mais o fino. Quantidade de aditivo de adesão foi de 0,05 % da massa total de cimento, fino mais o agregado.

Para preparação das argamassas foi utilizado um misturador mecânico com uma cuba de aço inoxidável com capacidade de dez litros. A sequência para a realização das argamassas está descrita a seguir:

- Os materiais secos foram misturados previamente;
- Em seguida adicionava-se água e misturava-se mecanicamente na velocidade baixa por um minuto;
- Após o primeiro minuto, era realizada a mistura na velocidade alta por mais um minuto, deixando a mistura descansar por trinta segundos;
- Após esse tempo, com uma espátula deslocava-se o material segregado das laterais da cuba para o interior da mesma, com um pano úmido sob a cuba da argamassadeira deixava-se a mistura descansar por mais trinta segundos;
- Para finalizar, ligava-se a argamassadeira por um minuto em velocidade alta.

Já nas misturas em que o agregado miúdo foi molhado previamente até a condição SSS, o agregado ficou em contato com a água, em torno de 12 horas antes do preparo da argamassa. Os materiais, então, foram misturados na argamassadeira e seguiu-se a mesma ordem explanada acima.

Os corpos-de-prova foram moldados em três camadas com adensamento realizado na mesa de queda livre com quinze quedas. Durante as primeiras 24 horas, os corpos-de-prova ficaram com a base superior protegida com uma plaqueta de vidro para evitar a evaporação da água da argamassa. Após este período, realizou-se a desmoldagem e os corpos-de-prova foram revestidos por filme plástico parafinado, seguido de papel alumínio, para evitar trocas gasosas e líquidas com o meio externo, mantendo-as num ambiente com a temperatura e umidade relativa controlada até a idade de 28 dias.

### **3.2.2 Caracterização dos agregados**

Para o início dos ensaios com os agregados reciclados, agregados de britagem e os agregados naturais, foi realizada a retirada do fino aderido nas partículas, para isso foi utilizado o ar comprimido, por meio da aspersão do ar nas partículas de 2,4 e 1,2 mm, já para a retirada do pó das frações 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm foi via lavagem, colocando o agregado na peneira 0,15 mm sob água corrente. Esse procedimento foi realizado em todo o agregado utilizado nesse trabalho, realizou-se esse procedimento para garantir que a quantidade de fino presente na argamassa fosse à quantidade adicionada.

#### **3.2.2.1 Análise granulométrica**

Para o ensaio de granulometria, tomou-se uma quantidade conhecida de material seco em estufa a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , colocando-o num conjunto de peneiras encaixadas numa sequência crescente das peneiras da série normal, da base para o topo do conjunto. Empregou-se o procedimento estabelecido pela norma NBR NM 248 (2001). Este ensaio realizou-se em duas amostras de cada material. Com a média das duas determinações foram extraídos os seguintes dados: a classificação do agregado, o módulo de finura e a dimensão máxima e mínima característica.

Ressalta-se ainda que as peneiras foram usadas para, primeiramente, realizar a separação dos materiais por faixa granulométrica, e após promover a eliminação dos elementos finos presentes nos agregado fracionados em cada faixa, Figura 6.

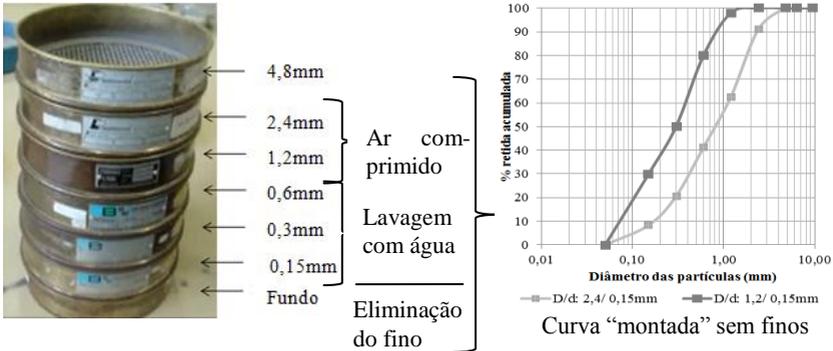


Figura 6: Conjunto de peneiras, especificadas as frações limpas com o ar comprimido e por lavagem.

Para classificar as curvas granulométricas em uniforme, desuniforme, bem graduada ou mal graduada utilizou-se parâmetros que auxiliam na análise quantitativa das curvas granulométricas. Caputo, em 1988, utilizou parâmetros definidos como diâmetro efetivo ( $D_{10}$ ) e grau de uniformidade ( $Cu$ ), que foram utilizados primeiramente por Allen-Hazen para estudar a permeabilidade das areias usadas para filtros.

Para calcular o coeficiente de uniformidade das areias, utilizou-se a Equação 6:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (6)$$

E a Equação 7 para definir o coeficiente de curvatura das areias:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (7)$$

Onde:

$Cu$  = Coeficiente de uniformidade;

$Cc$  = Coeficiente de curvatura;

$D_{60}$ ;  $D_{10}$ ;  $D_{30}$  = corresponde à abertura de malha em que passam 60%; 10% e 30%, respectivamente, em massa do material total peneirado, tomados na curva granulométrica.

Com o resultado dos cálculos do coeficiente de uniformidade, foi definido, como na mecânica dos solos, valores menores de 5, solo uniforme; entre 5 e 15 é dito que o solo é medianamente uniforme; e valores superiores a 15 o solo é desuniforme.

Já, se o valor encontrado para o coeficiente de curvatura estiver entre 1 e 3 o solo é definido como bem graduado.

### 3.2.2.2 Massa unitária e índice de volume de vazios

O ensaio de massa unitária no estado solto foi realizado com o auxílio de um recipiente cilíndrico, com capacidade mínima de 10 dm<sup>3</sup>. Para determinação da massa unitária do agregado, primeiramente pesou-se o recipiente vazio, em seguida, com o auxílio de uma pá despejou-se o agregado seco em estufa (105± 5°C) no recipiente a uma altura de, no máximo, 5 cm acima da borda, depois nivelou-se com a espátula a camada superficial do agregado com a borda do recipiente e pesou-se o conjunto.

A massa unitária no estado solto é calculada pela Equação 8:

$$\delta_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (8)$$

Onde:

$\delta_{ar}$  = massa unitária do agregado (kg/m<sup>3</sup>);

$m_{ar}$  = massa do recipiente com o agregado (kg);

$m_r$  = massa do recipiente vazio (kg);

$V$  = volume do recipiente (m<sup>3</sup>).

Por meio do ensaio de massa unitária consegue-se calcular o índice do volume de vazios dos agregados, conforme a Equação 9:

$$E_v = \frac{100[(d_1 \times \rho_w) - \delta_{ap}]}{d_1 \times \rho_w} \quad (9)$$

Onde:

$E_v$  = índice de volume de vazios nos agregados (%);

$d_1$  = massa específica do agregado seco (kg/dm<sup>3</sup>);

$\rho_w$  = massa específica da água (kg/m<sup>3</sup>);

$\delta_{ap}$  = massa unitária média do agregado (kg/m<sup>3</sup>).

### 3.2.2.3 Absorção granular por imersão

O ensaio de absorção por imersão consistiu em colocar uma quantidade de material dentro de um copo de Becker e deixar o material submerso em água por um período de 24 e 48 horas (Figura 7). Passado o tempo determinado retirou-se a água superficial do material com o auxílio da bomba de vácuo e pesou-se, em seguida o material foi levado para a estufa, a 105± 5°C, durante um período de 48 horas, monitorando até constância de massa (sem variação de massa entre duas medidas consecutivas).



Figura 7: Agregado submerso em água

A absorção granular por imersão das frações dos agregados e das curvas foi calculada pela Equação 10:

$$Abs = \left( \frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \times 100 \quad (10)$$

Onde:

Abs = absorção granular (%);

$M_h$  = massa úmida (g);

$M_s$  = massa seca (g).

#### 3.2.2.4 Absorção granular da água por capilaridade

O ensaio de absorção capilar foi realizado em cada fração dos agregados e na composição das curvas utilizadas na fabricação das argamassas, este ensaio é baseado no método usado por Andrade; Rocha; Cheriaf (2007).

Para a realização do ensaio é utilizado um anel cilíndrico de PVC com 10,2 cm de diâmetro e 4 cm de altura, onde foi colocada a amostra granular, lançada a uma altura de 1 cm da borda do anel cilíndrico. Depois de preenchido, pesou-se o molde com a amostra para obter o peso seco. Logo após, o molde com a amostra foi conectado na base do aparato para iniciar o ensaio, que consiste na medida da variação da altura da água no tubo de Mariotte graduado em função do tempo (Figura 8). O tubo de Mariotte abastece a base do aparato. O ensaio foi realizado durante um período de 30 horas.

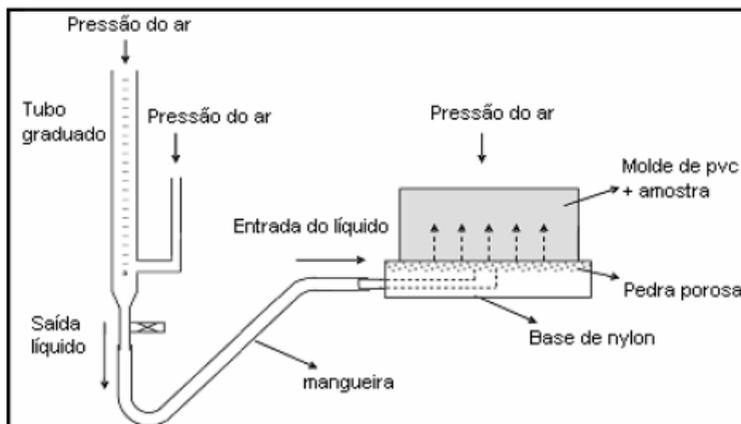


Figura 8: Esquema do ensaio.  
 Fonte: Andrade; Rocha e Cheriaf, 2007.

Após as 30 horas de ensaio retirou-se os grãos do aparato e colocado em um funil (com um filtro na base) acoplado em um balão de Büchner, sendo aplicada uma sucção com a bomba de vácuo, para auxiliar na retirada da água superficial dos grãos. Em seguida a amostra foi pesada e levada para a estufa até constância de massa.

### 3.2.2.5 Avaliação da Pozolanicidade

Para avaliar a atividade pozolânica dos finos do agregado de britagem e do resíduo de construção e demolição, foi utilizado agregado miúdo normal do IPT e cimento CP II F. Confeccionou-se argamassas apenas com cimento Portland, no traço 1: 3 (cimento: areia) e outra argamassa substituindo 35% do seu volume absoluto de cimento por material potencialmente pozolânico. A norma recomenda moldar três corpos de prova cilíndricos (50x 100 mm) para cada argamassa.

A quantidade de água utilizada para produzir as argamassas foi o suficiente para obter índices de consistência de  $225 \pm 5$  mm.

Além dessas argamassas, confeccionou-se outras fixando a relação a/c e adicionando aditivo plastificante para conseguir o índice de consistência de  $225 \pm 5$  mm.

Na Tabela 7 está descrito a quantidade dos materiais utilizados para preparar as argamassas e determinar a atividade pozolânica, o percentual de aditivo é em relação à massa de aglomerante.

Tabela 7: Quantidade dos materiais para determinar a IAP.

Argamassas	Cimento (g)	Pozolana(g)	Areia normal (g)	Água (g)	Relação água/aglomerante	Aditivo (%)
REF	312	0	936	161,9	0,52	-
RCD	202,8	91,8	936	167,6	0,57	-
AB	202,8	93,5	936	162,1	0,55	-
RCD+adit	202,8	91,8	936	152,9	0,52	0,35
AB+adit	202,8	93,5	936	153,8	0,52	0,20

Após a desmoldagem dos corpos de prova, eles foram colocados em recipiente hermeticamente fechado e estanque em banho maria, na temperatura de  $38 \pm 2^\circ\text{C}$ , até completar os 28 dias de cura, para então serem resfriados ao ar até  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  para a realização do ensaio de resistência à compressão das argamassas.

O índice de atividade pozolânica é calculado pela relação entre a resistência da argamassa com o material pozolânico e a argamassa com apenas cimento Portland. Devendo a argamassas com material pozolânico atingir uma resistência mecânica de, no mínimo, 75%, em relação a argamassas de referência, para o fino ser considerado material pozolânico.

### 3.2.3 Características das argamassas no estado fresco

#### 3.2.3.1 Massa específica aparente e teor de ar incorporado

Para a determinação da massa específica das argamassas no estado fresco, utilizou-se um recipiente cilíndrico com um volume conhecido, após o preparo desta, com o auxílio de uma colher, despejou-se a mesma no recipiente em três camadas aproximadamente iguais, sendo em cada aplicado vinte golpes (entrada e saída da espátula na posição vertical) ao longo do perímetro da argamassa (Figura 9). Em seguida, efetuou-se três quedas do recipiente com uma altura de 3 cm, conferindo para que não fique vazios entre a argamassa e a parede do recipiente. Rasar o recipiente com a espátula e pesar.



Figura 9: Aparato utilizado no ensaio de massa específica

A massa específica é calculada pela Equação 11:

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \times 1000 \quad (11)$$

Onde:

$d$  = massa específica da argamassa ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m_c$  = massa do recipiente cilíndrico com a argamassa (g);

$m_v$  = massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

$V_r$  = volume do recipiente cilíndrico ( $\text{cm}^3$ ).

Para calcular o teor de ar incorporado na argamassa, utiliza-se a Equação 12:

$$A = 100 \times \left( 1 - \frac{d}{d_t} \right) \quad (12)$$

Onde:

$A$  = teor de ar incorporado na argamassa (%);

$d$  = massa específica da argamassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$d_t$  = massa específica teórica da argamassa, sem vazios ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.2.3.2 Índice de consistência e retenção da fluidez

A fluidez da argamassa foi determinada no tempo zero, ou seja, logo após o preparo desta, enchendo o molde em formato do tronco-cônico, em três camadas sucessivas, aplicando 15, 10 e 5 golpes com um soquete, em seguida rasou-se com a régua metálica rente a borda do molde, após foi retirado o molde e acionado a manivela da mesa de modo que esta suba e caia 30 vezes. Depois da última queda da mesa, mediu-se com o paquímetro o espalhamento do molde em três pontos diferentes. Tendo assim, o índice de consistência que corresponde à média das três medidas (Figura 10).

A retenção da fluidez foi realizada após passar trinta minutos do preparo da argamassa, repetindo o procedimento citado acima, para analisar a influência do tempo na consistência da mesma.



Figura 10: Ensaio de consistência das argamassas

### 3.2.3.3 Retenção de água

Com o auxílio do funil de Büchner modificado (Figura 11), realizou-se o ensaio para determinar a retenção de água das argamassas. Primeiramente coloca-se o prato, com um papel-filtro umedecido no funil, garantindo a estanqueidade entre eles, com o auxílio da bomba de vácuo, aplicou-se uma sucção de 51 mm de mercúrio para retirada do excesso de água do papel-filtro, passados noventa segundos pesou-se o prato com o papel-filtro.



Figura 11: Aparato utilizado no ensaio de retenção de água.

Em seguida, preencheu-se o prato com a argamassa, aplicando 37 golpes de soquete uniformemente no prato, após retirou-se o excesso de argamassa do prato com o auxílio de uma régua metálica e pesou-se o conjunto. Foi colocado o prato com a argamassa no funil e aplicado uma sucção durante um período de 15 minutos, posteriormente pesado.

A retenção de água é calculada de acordo com a Equação 13.

$$R_a = \left[ 1 - \frac{(m_a - m_s)}{AF(m_a - m_v)} \right] \times 100 \quad (13)$$

Sendo:

$$AF = \frac{m_w}{m + m_w} \quad (14)$$

Onde:

$R_a$  = retenção de água (%);

$m_a$  = massa do conjunto com argamassa (g);

$m_s$  = massa do conjunto após sucção (g);

$m_v$  = massa do conjunto vazio (g);

AF = fator água/ argamassa fresca;

$m_w$  = massa total de água acrescentada à mistura (g);

$m$  = soma das massas dos componentes anidros (g).

### 3.2.4 Características das argamassas no estado endurecido

#### 3.2.4.1 Absorção de água por imersão e porosidade aberta

As amostras foram imersas em água por um período de 72 horas, até a constância de massa, tendo sua massa aferida em 4 h, 8 h, 12 h, 24 h, 48 h e 72 h de ensaio. Passado esse período, os corpos de prova foram colocados em banho térmico por 5 horas, como prevê a norma NBR 9778 (2005) (Figura 12).



Figura 12: Ensaio de absorção de água por imersão.

A porosidade aberta das argamassas corresponde à sua absorção de água, em porcentagem. A absorção de água foi calculada por:

$$\text{Absorção} = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (15)$$

Para determinar o volume de poros do material em relação ao seu volume é utilizada a Equação 16:

$$Porosidade = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \times 100 \quad (16)$$

Onde:

$M_{sat}$  = massa da amostra saturada (g);

$M_s$  = massa da amostra seca (g);

$M_i$  = massa da amostra imersa em água (g).

### 3.2.4.2 Secagem ao ar

As amostras para o ensaio de secagem ao ar estavam previamente saturadas por meio da imersão em água por 72 horas. Posteriormente, foram secas em condições controladas de temperatura e umidade relativa, respectivamente  $25 \pm 3^\circ\text{C}$  e  $60 \pm 5\%$ . São determinados esses valores de temperatura e umidade relativa, pois apenas a água capilar e a água adsorvida são retiradas da mistura (MEHTA; MONTEIRO, 1994). A secagem foi realizada até ocorrer à constância de massa.

### 3.2.4.3 Absorção capilar

Realizou-se o ensaio com o objetivo de medir a absorção capilar, ângulo de molhamento e a sorptividade das argamassas, seguindo o procedimento utilizado pelo grupo ValoRes, consistindo na medida da variação da altura em tempos pré-estabelecidos de uma coluna de água contida em um tubo de Mariotte graduado, sendo que a variação da altura da coluna de água está diretamente relacionada com a quantidade de água absorvida pela amostra (Figura 13). No aparato utilizado, a menor leitura é de um volume de  $0,5 \text{ cm}^3$ .



Figura 13: Ensaio de absorção de água por capilaridade.

Para evitar a evaporação de água por meio da superfície do corpo-de-prova, as faces laterais foram protegidas com filme de PVC. Depois da realização do ensaio com água destilada, as amostras foram secas em estufa para repetir o ensaio de absorção capilar com álcool etílico.

Os dados obtidos de volume de água absorvida determinou o volume de água absorvida por seção da amostra, denominado índice de absorção ( $I = \text{cm}^3 / \text{cm}^2$ ). Em seguida, obteve-se o coeficiente de absorção da água ou sorptividade, o qual é a inclinação da reta: índice de absorção *versus* raiz do tempo.

O ângulo de molhamento aparente das argamassas é medido a partir dos dados do ensaio de absorção capilar a água e a álcool. Com esses resultados avalia-se a influência do comportamento da estrutura porosa das diferentes argamassas frente ao líquido utilizado.

#### 3.2.4.4 Isotermas de Adsorção

No ensaio de isotermas de adsorção, as amostras permaneceram 24 h em estufa a 50°C, e passado esse tempo, ficaram 48 h submersas em acetona para parar a hidratação. Para o ensaio colocou-se uma amostra em atmosfera em equilíbrio com uma solução salina saturada. A quantidade de água adsorvida para diferentes valores de umidade relativa no estado de equilíbrio é obtida através de método gravimétrico. O tempo necessário para alcançar o estado de equilíbrio em uma amostra depende da espessura e da faixa de umidade relativa.

Para a determinação das isotermas de adsorção, foram utilizados sete diferentes sais: hidróxido de potássio (KOH), acetato de potássio ( $\text{KCH}_3\text{CO}_2$ ), cloreto de magnésio ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), bicromato de sódio ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), nitrito de sódio ( $\text{NaNO}_2$ ), cloreto de sódio (NaCl) e sulfato de potássio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), os quais a uma temperatura de 50°C forneceram, respectivamente, os seguintes valores de umidade relativa: 6, 20, 31, 47, 65, 75 e 96%.

Na Figura 14, vê-se o dessecador utilizado no ensaio de adsorção. Na parte inferior, é colocada a solução salina saturada e, na parte superior, a amostra.



Figura 14: Dessecador utilizado no ensaio de adsorção.

Para descrever o comportamento das isotermas de adsorção, a partir dos dados encontrados com o ensaio experimental, utilizou-se o modelo matemático de GAB. O ajuste dos parâmetros do modelo foi realizado por regressão não linear, com o auxílio do programa Labfit (2011). A Equação 17 descreve o modelo de GAB.

$$X_e = \frac{X_m \times C \times a_w}{[(1 - K \times a_w) \times (1 + (C - 1) \times a_w)]} \quad (17)$$

Onde:

$X_e$  = umidade de equilíbrio (kg H<sub>2</sub>O.(kg<sup>-1</sup>sólido seco));

$X_m$  = conteúdo de umidade na monocamada molecular (kg H<sub>2</sub>O.(kg<sup>-1</sup>sólido seco));

$a_w$  = atividade de água (adimensional);

$C$  = constante de GAB, relacionada ao calor de sorção da camada molecular de água;

$K$  = constante relacionada ao calor de sorção das múltiplas camadas, acima da monocamada de água nas isotermas de GAB.

Com os valores de umidade de equilíbrio, confeccionaram-se os gráficos e definiram-se o grau de ajuste do modelo considerando a magnitude do coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

#### 3.2.4.5 Permeabilidade ao vapor

O ensaio de permeabilidade ao vapor foi baseado na pesquisa de Jansen (2007). Para a realização do ensaio foi utilizada uma caixa de acrílico estanque para colocar o porta amostra e a solução salina de Bicromato de potássio, que gera uma umidade relativa de 47%. Para controlar a umidade relativa da caixa de acrílico adicionou-se a solução salina saturada no fundo da caixa. O porta amostra foi confeccionado

levando-se em conta o controle de umidade e para tal a amostra precisou ser a única fronteira permeável entre o seu interior e a região externa, foi adicionado no interior do porta amostra sílica gel para que a umidade no interior do porta amostra fosse praticamente nula, com isso, a amostra se tornou a única barreira entre duas regiões com umidade relativas diferentes, fazendo que ocorresse a migração de umidade através dos poros da amostra. Na Figura 15 está disposto o porta amostra pronto para realização do ensaio.



Figura 15: Porta amostra.

A fim de evitar variações de temperatura após montado todo o ensaio, a caixa de acrílico com o porta amostra foi colocada dentro de uma caixa de isopor (Figura 16). A temperatura para realização do ensaio ficou em torno de 25°C.



Figura 16: Câmara pronta para o ensaio de permeabilidade ao vapor.

Na Figura 17 está representado um esquema de como ocorre à migração de umidade no interior da câmara através da amostra porosa seca inicialmente. Para acompanhar a evolução da migração de umidade o conjunto porta amostra e corpo de prova tinham sua massa medida diariamente.

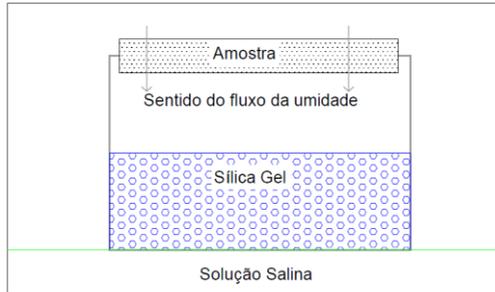


Figura 17: Esquema de migração de umidade.

Fonte: Adaptado de Jansen (2007).

A partir dessa evolução a permeabilidade pode ser calculada, utilizando as Equações 18 e 19.

$$J_V = \frac{\left(\frac{f_V}{t}\right)}{A} \quad (18)$$

$$k_V = \frac{J_V \times e}{P_{V2} - P_{V1}} \quad (19)$$

Onde:

$J_V$  = Densidade do fluxo de vapor (kg/s.m<sup>2</sup>);

$f_V$  = Fluxo de vapor (kg);

$t$  = tempo (s);

$A$  = Área da amostra (m<sup>2</sup>);

$k_V$  = Permeabilidade ao vapor (kg/s.m.Pa);

$e$  = espessura (m);

$P_{V2} > P_{V1}$  = Pressões parciais diferentes dos vapores (Pa).

### 3.2.4.6 Massa específica

Para determinar a massa específica no estado endurecido, utilizaram-se os corpos de prova prismáticos (4x 4x 16 cm) moldados para os ensaios de resistência. Com o auxílio de um paquímetro foi aferido à altura, a largura e o comprimento de cada um dos três corpos de prova, em duas posições diferentes, sendo que, com a média das medidas e com o peso do corpo de prova, aplicado a Equação 20, determinou-se o volume do corpo de prova.

$$V = l \times h \times c \quad (20)$$

Então, calculou-se a massa específica da argamassa por meio da Equação 21:

$$\gamma = \left(\frac{m}{V}\right) \times 1000 \quad (21)$$

Onde:

V = volume do corpo de prova (cm<sup>3</sup>);

l = largura (cm);

h = altura (cm);

c = comprimento (cm);

$\gamma$  = massa específica (kg/m<sup>3</sup>);

m = massa do corpo de prova (g).

### 3.2.4.7 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

Aos 28 dias de idade dos corpos de prova prismáticos das argamassas foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão, na prensa de 2 módulos computadorizada da marca Solotest, posicionando o corpo de prova no dispositivo de apoio do equipamento e aplicando uma carga de 50±10 N/s até a ruptura do mesmo. É calculada a resistência à tração na flexão pela Equação 22:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad (22)$$

Onde:

R<sub>f</sub> = resistência à tração na flexão (MPa);

F<sub>f</sub> = carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N);

L = distância entre os suportes (mm).

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se a mesma prensa citada acima, foram utilizadas as metades dos três corpos de prova usados no ensaio de tração, totalizando seis corpos de prova. Eles foram posicionados no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio de modo que a face rasada não ficasse em contato com o dispositivo de apoio nem com o dispositivo de carga, aplicando uma carga de 500±50N/s até a ruptura do corpo de prova (Figura 18). A resistência à compressão é dada pela Equação 23:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (23)$$

Onde:

R<sub>c</sub> = resistência à compressão (MPa);

F<sub>c</sub> = carga máxima aplicada (N);

A = área da seção, considerada quadrada 40mm x 40mm (mm<sup>2</sup>).



Figura 18: Ensaio de resistência à tração na flexão (a) e de resistência à compressão (b).

### 3.2.4.8 Módulo de elasticidade

Na realização do ensaio de módulo de elasticidades das argamassas, foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro por 10 cm de altura. No 28º dia, os corpos de prova foram retirados da sala climatizada e sua face superior e inferior foram capeadas com gesso.

O ensaio foi realizado na prensa Shimadzu (UH-2000 kNA), sendo que, nos corpos de prova, foram acoplados anéis que o envolviam e nesses anéis colocados relógios comparadores digitais com precisão de 0,001 mm em posições diametralmente opostas, cuidando para que os anéis ficassem em nível onde a medida dos relógios representasse a deformação longitudinal (Figura 19). A cada 0,5 MPa leu-se a medida de cada relógio, que servem para medir a deformação dos corpos de prova, sendo que a média da leitura dos dois relógios representava a deformação do centro do corpo de prova. Com essas médias foi determinada a curva tensão x deformação e o valor do módulo de elasticidade estático, segundo a Equação 24:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \times 10^{-3} \quad (24)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade (GPa);

$\sigma$  = tensão (MPa);

$\varepsilon$  = deformação (MPa).



Figura 19: Corpo de prova preparado para o ensaio de módulo de elasticidade.

#### 3.2.4.9 Resistência potencial de aderência à tração

Para o ensaio de resistência potencial de aderência à tração decidiu-se utilizar o traço 1: 2: 5,5 (em massa) quatro com a curva D/d: 2,4/0,15 mm (RCD, RCD-M, AB e AN), e dois com a curva D/d: 1,2/0,15 mm (AB e AN) e mais dois com o traço 1: 2: 2,5 (em massa) com a curva fina (RCD e RCD-M). Escolheu-se este traço por ter apresentado boas características em ensaios anteriores e como substrato utilizou-se bloco de concreto (6 MPa, da empresa Toniolo Pré-moldados) (Figura 20).



Figura 20: Blocos de concreto com o substrato

Após o preparo das argamassas, as mesmas foram imediatamente aplicadas no bloco de concreto (o qual estava seco e limpo), em seguida foi realizado o desempeno da argamassa, sendo que não houve tempo de espera entre a aplicação e o desempeno.

Para reduzir o tempo de cura de 28 dias para 7 dias foi realizado a cura térmica nas placas, pois o principal objetivo da cura térmica é acelerar o processo de cura da argamassa obtendo em um curto período de tempo uma resistência mínima desejada.

A cura térmica foi realizada a vapor em uma caixa metálica, com uma resistência instalada no fundo, controlada por um termostato e um

termômetro. Tomando cuidado para que os blocos capeados não entrassem em contato com água do fundo da caixa, apenas com o vapor de água. Este vapor ocorre devido ao acionamento elétrico que ativa a resistência que em contato com a água, era gerado o vapor até que ocorresse um equilíbrio dentro da caixa de cura na temperatura desejada.

O ciclo de cura ocorreu da seguinte maneira (Figura 21):

- As primeiras 4 horas os blocos com as argamassas ficaram na sala climatizada, até iniciar a pega;

- Em seguida foram levadas para a caixa térmica e a temperatura foi ajustada para a temperatura subir no máximo 20°C por hora até um máximo de 70°C;

- Chegando a 70°C a temperatura ficou estabilizada por um período de 8 horas;

- Passado esse período começou-se a diminuir a temperatura em no máximo 30°C/h até chegar à temperatura ambiente;

- Após os corpos de prova foram mantidos na caixa térmica em temperatura ambiente por um período de seis dias.

O tempo total do ciclo não ultrapassou 18 horas como prevê a ACI 517.2 R-87 (1992).

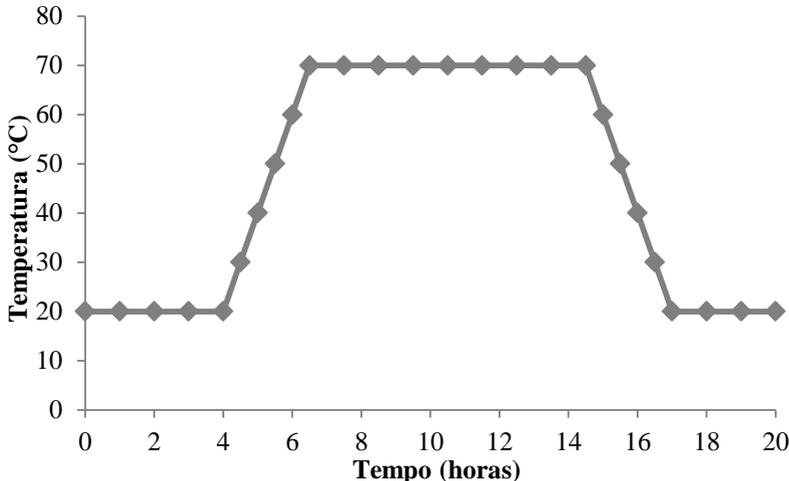


Figura 21: Ciclo de cura térmico.

No sétimo dia foi executado o corte no revestimento para delimitar os corpos de prova, a profundidade do corte foi de cerca de 1 mm para dentro do substrato. Para a colagem das pastilhas foi retirado todo o pó presente nas argamassas, à colagem procedeu aplicando cola na pas-

tilha e pressionando a mesma para remover o excesso de cola e conseguir o total espalhamento da cola na argamassa (Figura 22).



Figura 22: Argamassas com as pastilhas acopladas.

Foram ensaiados 8 corpos de prova, que ficaram distribuídos no substrato. O ensaio foi realizado acoplando o equipamento de tração à pastilha e aplicando um esforço de tração perpendicular ao corpo de prova com uma taxa de carregamento de  $250 \pm 50$  N/s, até a ruptura (Figura 23). Após foi anotada a carga de ruptura e medido o corpo de prova para calcular a área superficial.



Figura 23: a) Aparato utilizado no ensaio de aderência à tração; b) aparato acoplado na pastilha.

A resistência potencial de aderência à tração foi determinada por meio da Equação 25.

$$R = \frac{P}{A} \quad (25)$$

Onde:

R = resistência potencial de aderência à tração (MPa);

P = carga de ruptura (N);

A = área do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ).

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados nos agregados e nas argamassas no estado fresco e endurecido seguindo os procedimentos experimentais descritos no capítulo anterior.

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS

#### 4.1.1 Análise granulométrica

Na Tabela 8 são apresentadas as análises granulométricas iniciais dos agregados usados no estudo e das curvas utilizadas (“montadas”) no preparo das argamassas, com composição granulométrica média (D/d: 2,4/0,15 mm) e fina (D/d: 1,2/0,15 mm). São apresentados também os valores da dimensão máxima e mínima características dos agregados, o módulo de finura e o teor de material pulverulento.

Tabela 8: Análise granulométrica dos agregados e composição das areias empregadas na pesquisa

	Matéria-prima			Curvas montadas	
	RCD	AB	AN	D/d= 2,4/0,15	D/d= 1,2/0,15
Peneiras (mm)	% Retida acumulada				
4,8	0	1	2	0	0
2,4	11	19	11	9	0
1,2	34	44	39	37	2
0,6	53	62	60	59	20
0,3	71	77	80	79	50
0,15	84	86	92	92	70
Fundo	100	100	100	-	-
Dimensão Máxima (mm)	>2,4	4,8	4,8	>2,4	1,2
Dimensão Mínima (mm)	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Módulo de finura	2,53	2,88	2,83	2,76	1,42
Material pulverulento (%)	7,8	7,2	3,8	-	-

Na Tabela 9 encontram-se os valores do módulo de finura das curvas “montadas” com o fino utilizado em cada traço com a curva média (2,4/ 0,15 mm) e com a curva fina (1,2/ 0,15 mm). Já, na Tabela

10 estão dispostos os valores do módulo de finura para os traços com a curva fina (1,2/ 0,15mm) traço rico.

Tabela 9: Módulo de finura de cada traço.

<b>Traços (em massa)</b>	<b>Teor de finos (%)</b>	<b>D/d= 2,4/ 0,15mm</b>	<b>D/d= 1,2/ 0,15mm</b>
1: 0: 7,5	0	3,00	2,03
1: 0,5: 7	6	2,79	1,84
1: 1: 6,5	12	2,57	1,66
1: 1,5: 6	18	2,36	1,49
1: 2: 5,5	24	2,15	1,33
1: 2,5: 5	29	1,94	
1: 3: 4,5	35	1,74	

Tabela 10: Módulo de finura dos traços ricos.

<b>Traços (em massa)</b>	<b>Teor de finos (%)</b>	<b>D/d= 1,2/ 0,15mm</b>
1: 0: 4,5	0	2,03
1: 0,5: 4	9	1,72
1: 1: 3,5	18	1,44
1: 1,5: 3	27	1,18
1: 2: 2,5	36	0,95

Nas Tabelas 11 e 12 são apresentados os valores do coeficiente de curvatura e do coeficiente de uniformidade das areias, para verificar a graduação e a uniformidade das areias.

Tabela 11: Coeficiente de curvatura e de uniformidade das areias  
(D/d: 2,4/ 0,15mm)

<b>Traços (em massa)</b>	<b>Teor de finos (%)</b>	<b>RCD</b>		<b>AB</b>		<b>AN</b>	
		<b>Cc</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>	<b>Cu</b>	<b>Cc</b>	<b>Cu</b>
1: 0: 7,5	0	0,80	4,80	0,80	4,80	0,80	4,80
1: 0,5: 7	6	0,90	6,47	0,91	15,00	0,91	15,00
1: 1: 6,5	12	2,32	20,42	0,29	11,09	0,29	11,09
1: 1,5: 6	18	1,50	19,77	0,35	6,36	0,35	6,36
1: 2: 5,5	24	0,73	17,38	0,62	2,89	0,62	2,89
1: 2,5: 5	29	0,11	14,63	0,69	2,56	0,69	2,56
1: 3: 4,5	35	0,13	11,75	0,76	2,14	0,76	2,14

Cc= coeficiente de curvatura; Cu= coeficiente de uniformidade.

Como pode ser observado na Tabela 11, o coeficiente de curvatura das areias utilizadas nas argamassas com agregado reciclado com 12% e 18% de finos obtiveram uma boa graduação. Os outros traços com os três tipos de agregados utilizados são classificados como uma areia mal graduada. Em relação ao coeficiente de uniformidade, as argamassas com o traço sem adição de finos possuem granulometria uniforme, assim como as argamassas com areia natural e areia de britagem com 24, 29 e 35% de finos. As argamassas com areia de britagem e areia natural com 6, 12 e 18% de finos e com agregado reciclado com 6, 29 e 35% de finos possuem granulometria medianamente uniforme, enquanto que as argamassas com areia reciclado com 12, 18 e 24% de finos possuem uma granulometria desuniforme.

Tabela 12: Coeficiente de curvatura e de uniformidade das areias  
(D/d: 1,2/ 0,15 mm)

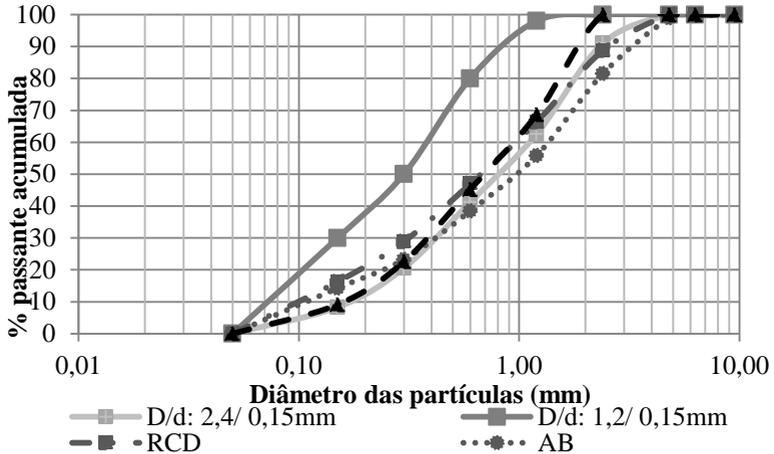
Traços (em massa)	Teor de finos (%)	RCD		AB		AN	
		Cc	Cu	Cc	Cu	Cc	Cu
1: 0: 7,5	0	1,03	2,58	1,03	2,58	1,03	2,58
1: 0,5: 7	6	1,06	3,07	0,12	0,65	0,12	0,65
1: 1: 6,5	12	2,39	9,15	0,45	0,57	0,45	0,57
1: 1,5: 6	18	1,64	9,09	0,62	3,27	0,62	3,27
1: 2: 5,5	24	0,21	8,33	0,69	2,56	0,69	2,56

Cc= coeficiente de curvatura; Cu= coeficiente de uniformidade.

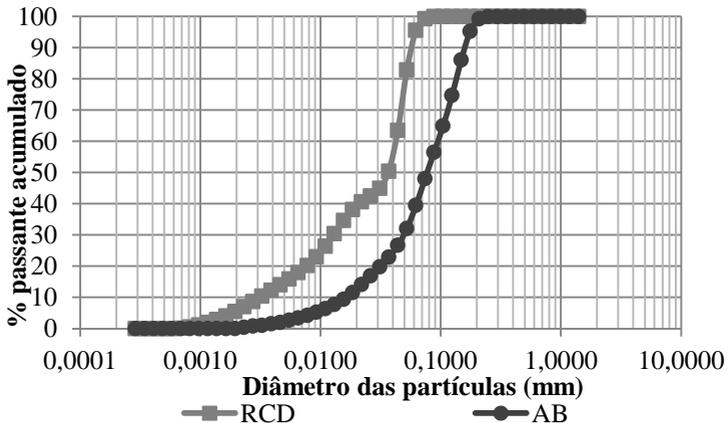
Conforme a Tabela 12 percebe-se que as argamassas com agregado reciclado apresentaram o melhor coeficiente de curvatura, pois apenas a argamassa com 24% de finos não apresentou uma boa graduação. As argamassas com areia de britagem e com areia natural apresentaram uma boa graduação nas curvas granulométricas sem adição de finos, entretanto em todas as adições de finos apresentou uma má graduação. Em relação o coeficiente de curvatura das argamassas com areia natural e areia de britagem em todos os traços apresentou uma distribuição uniforme, como também ocorreu com o agregado reciclado com 0% e 6% de finos, já, as frações com 12%, 18% e 24% de finos apresentaram uma distribuição granulométrica medianamente uniforme.

Na Figura 24 está representado o gráfico de distribuição granulométrica dos agregados e a composição granulométrica utilizada nos ensaios. A curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) utilizada no trabalho é semelhante à curva natural dos agregados (RCD, AB e AN), já a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm é uma curva fina, a escolha dessas curvas foi baseada

nos trabalhos de Miranda (2005), Mertens e Elsen (2006) e Turki *et al.* (2009) que visavam à utilização em argamassas de revestimento.



Na Figura 25 é apresentada a distribuição granulométrica a laser do material passante na peneira 0,15mm. Percebe-se que o agregado reciclado é mais fino que o agregado de britagem, pois 100% das partículas de RCD são inferiores a 0,08mm, enquanto 100% das partículas de AB são menores que 0,24mm. Em relação aos diâmetros médios, 50% das partículas de RCD possuem diâmetro inferior a 0,04mm, a AB possui 50% das partículas inferiores a 0,07mm. Tem-se ainda 20% das partículas de RCD inferiores a 0,008mm enquanto 20% da AB são inferiores a 0,03mm.



#### 4.1.2 Caracterização da fração fina (<0,15 mm)

A análise química foi realizada no espectrômetro de fluorescência de raios-x (EDX – energia dispersiva), da marca Shimadzu, no material passante na peneira 0,15mm. A Tabela 13 apresenta os teores dos óxidos presentes.

Para o agregado reciclado os maiores teores de óxidos encontrados foram o óxido de cálcio (40,77% de CaO), a perda de massa ao fogo expressa em 23% de CO<sub>2</sub> e a sílica (SiO<sub>2</sub>) em 20,36%. O maior teor de óxido de cálcio se deve à presença de matriz cimentícia no resíduo que foi britado. Já, o agregado de britagem teve como elementos majoritários a sílica (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e o óxido de potássio (K<sub>2</sub>O), que podem ser relacionados à natureza de origem granítica da rocha mãe usada na extração em pedreira. Quanto ao agregado natural sua natureza é quartzosa por ter maior conteúdo de sílica (SiO<sub>2</sub>), 63,25%.

Por meio da análise química percebe-se a presença de metais pesados nos três agregados, como titânio, manganês, zinco e cobre, e encontrado apenas no RCD foram o vanádio e o cromo.

Tabela 13: Teores dos óxidos obtidos nas análises químicas

<b>Óxidos</b>	<b>Agregado reciclado (%)</b>	<b>Agregado de britagem (%)</b>	<b>Agregado natural (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	20,36	60,66	63,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,44	15,54	16,70
K <sub>2</sub> O	1,84	11,60	7,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,20	6,28	4,57
CaO	40,77	3,62	0,14
CO <sub>2</sub>	23,00	1,00	1,00
TiO <sub>2</sub>	0,50	0,56	1,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,24	-
ZrO <sub>2</sub>	0,04	0,15	0,31
MnO	0,08	0,12	0,11
SO <sub>3</sub>	0,38	0,12	0,23
Rb <sub>2</sub> O	0,01	0,04	0,03
SrO	0,20	0,03	0,02
ZnO	0,01	0,02	0,02
CuO	0,02	0,02	0,03
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	-	4,43
Cl	-	-	0,18

O ensaio de perda de massa ao fogo foi realizado a 900°C no material inferior a 0,15mm do agregado reciclado e de britagem, os valores encontrados para o agregado reciclado foram em torno de 23%. Já para o de britagem foram de 1%. A perda de massa ao fogo do agregado reciclado reflete a presença de material de origem cimentícia, uma vez que a composição é de, aproximadamente, 41% de CaO, além da presença de produtos cerâmicos ( $Al_2O_3$ ) próximo a 9%.

A área específica determinada sobre a fração fina (dimensão inferior a 150  $\mu m$ ) com uso do permeabilímetro de Blaine foi encontrado o valor de 2300  $cm^2/g$  para o fino do agregado reciclado, estando de acordo com o valor que foi encontrado por Levy e Helene (1997) para resíduo proveniente da britagem de argamassas. Já para o agregado de britagem e o cimento CII F-32, os valores foram de 1740  $cm^2/g$  e 3070  $cm^2/g$ , respectivamente.

Os índices de atividade pozolânica foram determinados seguindo os procedimentos descritos na norma NBR 5752 (1992). A norma prevê que o material para ser considerado como pozolana deve ter um índice de atividade pozolânica superior ou igual a 75%, ou seja, o valor da resistência das argamassas com o agregado reciclado ou o agregado de britagem devem atingir pelo menos 75% da resistência da argamassa de referência.

Na Tabela 14, estão dispostos os resultados da resistência à compressão média das argamassas e o índice de atividade pozolânica do agregado reciclado e do agregado de britagem, visando à consistência de  $225 \pm 5$  mm e os valores para os agregados com adição de aditivo plastificante para obter a mesma consistência mantendo a mesma relação água/ aglomerante da argamassa de referência.

Tabela 14: Índice de atividade pozolânica.

Argamassas	Média da resistência à compressão (MPa)	D. P. (MPa)	C. V. (%)	IAP (%)
<b>REF</b>	22,0	2,29	10,42	100
<b>RCD</b>	10,5	0,42	3,98	47,7
<b>AB</b>	8,1	1,04	12,87	36,7
<b>RCD+adit</b>	14,1	0,14	1,01	64,1
<b>AB+adit</b>	12,3	0,62	5,02	55,8

D.P.= desvio padrão; C.V.= coeficiente de variação.

Conforme observado na Tabela 14, o agregado reciclado de RCD e o agregado de britagem não são considerados materiais pozolânicos,

pois não alcançaram à resistência à compressão mínima. Os agregados que tiveram maior resistência foram aqueles com aditivo, porém os agregados continuam sendo considerados não pozolânicos, pois não atingiram os 75% mínimos de resistência à compressão especificada pela NBR. Esse valor pode ser atribuído a menor relação água/cimento, ao efeito *filler*, e/ou a adição do aditivo, que auxilia no aumento do cisalhamento das partículas favorecendo o empacotamento, resultando no acréscimo da resistência a compressão do material.

#### 4.1.3 Massa específica e massa unitária

Os resultados de massa específica e unitária no estado solto foram obtidos da média de três medidas consecutivas e são apresentadas na Tabela 15:

Tabela 15: Propriedades físicas dos agregados e das frações usadas na pesquisa

Material	Fração (mm)	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	<0,15	D/d= 2,4/0,15	D/d= 1,2/0,15
RC D	$\gamma$	2,77	2,58	2,60	2,61	2,59	2,60	2,59	2,57
	$\delta$	1,25	1,12	1,05	1,08	0,98	1,01	1,24	1,15
	vazios	54,8	56,5	59,4	58,7	62,2	61,3	52,0	55,2
AB	$\gamma$	2,65	2,65	2,64	2,65	2,66	2,66	2,65	2,65
	$\delta$	1,36	1,36	1,32	1,24	1,18	1,13	1,53	1,43
	vazios	48,9	48,8	50,0	53,2	55,6	57,5	42,3	46,0
AN	$\gamma$	2,60	2,60	2,60	2,60	2,62	-	2,61	2,61
	$\delta$	1,38	1,38	1,32	1,25	1,20	-	1,41	1,34
	vazios	47,0	46,8	49,2	52,1	54,4	-	46,1	48,6

$\gamma$  = Massa específica (g/cm<sup>3</sup>);  $\delta$  = Massa unitária (g/cm<sup>3</sup>); Vazios (%).

As massas específicas para o agregado reciclado apresentaram valores superiores aos da bibliografia, que relata que os valores são em média 10% menores que dos agregados naturais, a redução dessa porcentagem ocorreu pela rebitagem do agregado reciclado, alterando suas propriedades iniciais. Já, os valores de massa unitária estão de acordo com a bibliografia, com os valores de RCD diferindo em mais de 10% para os agregados naturais.

Para a areia de britagem e areia natural à massa específica permaneceu, praticamente, a mesma independentemente da dimensão da fração, permanecendo em 2,65 para a areia de britagem e 2,60 para a areia natural. Porém, com a massa unitária os agregados não apresenta-

ram o mesmo comportamento. Nos agregados de britagem e naturais a massa unitária e a porcentagem de vazios diminuem conforme reduz à fração, isso acontece também nas curvas granulométricas dos três agregados. Entretanto, esse comportamento não foi observado nas frações dos agregados reciclados.

#### 4.1.4 Absorção granular por imersão

Os resultados do ensaio de absorção por imersão encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados de absorção por imersão dos grãos.

Material	RCD		AB		AN	
	Absorção (%)		Absorção (%)		Absorção (%)	
	24 horas	48 horas	24 horas	48 horas	24 horas	48 horas
<b>2,4</b>	7,9	8,2	2,6	3,8	4,8	5,2
<b>1,2</b>	11,1	11,8	4,2	4,3	4,3	4,9
<b>0,6</b>	13,2	14,0	4,3	4,4	5,4	9,0
<b>0,3</b>	13,9	14,8	5,1	5,3	7,6	10,7
<b>0,15</b>	21,8	23,2	7,0	7,3	9,9	10,9
<b>&lt;0,15</b>	46,0	50,2	23,5	24,8	28,9	33,8
<b>D/d=2,4/0,15</b>	11,7	14,9	3,9	4,3	5,7	6,5
<b>D/d=1,2/0,15</b>	13,5	13,9	6,2	6,4	7,0	9,1

Observa-se que o agregado reciclado teve o maior potencial de absorção, isso já era esperado devido a sua maior porosidade. Os finos do RCD absorveram praticamente o dobro que os finos de AB e AN. Os valores de absorção granular para as curvas granulométricas do agregado reciclado estão dentro do limite estipulado pela NBR 15116 (2004) de 17%.

Conforme reduziu a fração granulométrica aumentou o consumo de água, para os agregados reciclados, agregado de britagem e agregado natural.

A absorção da fração 2,4 mm para a 1,2 mm do agregado natural reduziu 10%, isso pode ser devido ao fino presente na fração 2,4 mm, pois como não foram lavadas as frações 2,4 e 1,2 mm e só tirado o pó com o ar comprimido, essa fração pode não ter sido limpa totalmente, restando pó aderido nos grãos.

A diferença de absorção dos agregados naturais em relação aos agregados reciclados variou da ordem de 60 a 160% nas primeiras 24 h,

em 48 h essa diferença reduz, ficando da ordem de 50 a 140%. Em relação aos agregados de britagem e os agregados reciclados essa diferença é ainda maior, nas 24 h, varia de 95 a 210%, aumentando a variação em 48 h para 100 até 250%. Já a diferença de absorção do agregado natural para o agregado de britagem ficou na ordem de 2 a 85%, em 24 h, e de 15 a 105%, em 48 h.

#### **4.1.5 Absorção granular por capilaridade**

Nas Figuras 26 a 29 está representada a absorção de água por capilaridade de cada fração dos agregados. Em todas as frações, o agregado reciclado absorveu mais que o agregado de britagem e o agregado natural. A velocidade de absorção dos agregados de RCD é maior nas frações 2,4 mm a 0,6 mm e na fração do fino (<0,15 mm), estando de acordo com a bibliografia. Entretanto, as frações 0,3 mm e 0,15 mm a velocidade de absorção foi maior para os agregados naturais e de britagem.

A fração 0,15 mm absorveu um volume maior que o fino. Isso ocorre pois, ao despejar os grãos da fração <0,15 mm no aparato experimental formou poros tortuosos, o que dificulta a permeabilidade da água pela menor comunicação dos poros. Já a fração 0,15 mm formou poros com maior conectividade e pela área superficial do grão ser menor facilita a infiltração da água.

Na Figura 26, o fino do agregado reciclado absorveu praticamente a mesma quantidade de água que a fração 0,3 mm, porém a absorção do fino se deu em uma velocidade maior, ou seja, em um tempo menor. Exceto a fração <0,15 mm, as demais tiveram a tendência de ao reduzir a fração aumentar a quantidade de água absorvida.

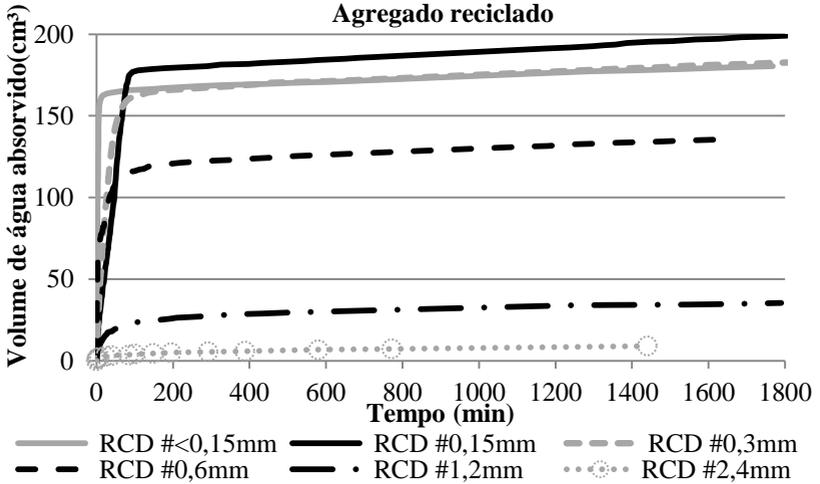


Figura 26: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD

Em relação ao agregado de britagem, a velocidade de absorção nas frações 0,3 mm até o fino, foram semelhantes, aumentando o tempo para as outras frações. A fração 2,4 mm absorveu menor volume de água que a fração 1,2 mm, podendo ser explicado pela conectividade dos poros formado pela fração maior (Figura 27).

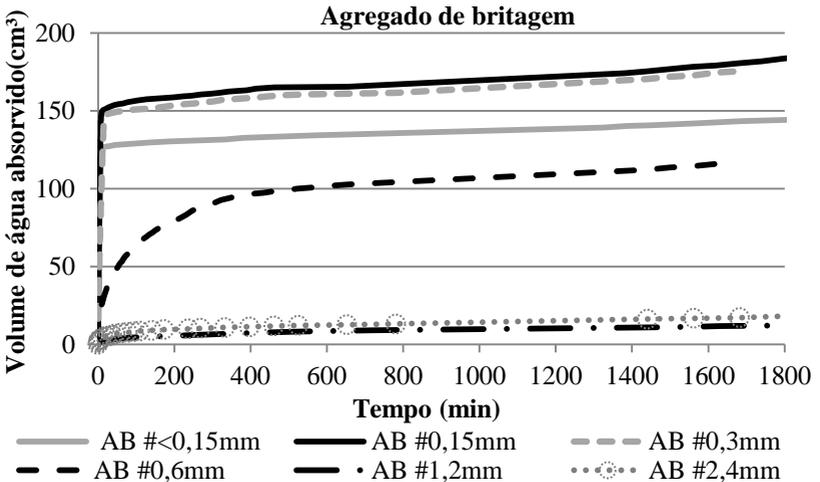


Figura 27: Volume de água absorvido pelo tempo - AB

Na Figura 28, relativa ao agregado natural, a absorção das frações 2,4 e 1,2 mm foram praticamente iguais, assim como o volume absorvido pelas frações 0,3 mm, 0,15 mm e o fino foram iguais nos primeiros 800 minutos, a partir desse ponto a fração 0,3mm absorveu um volume maior.

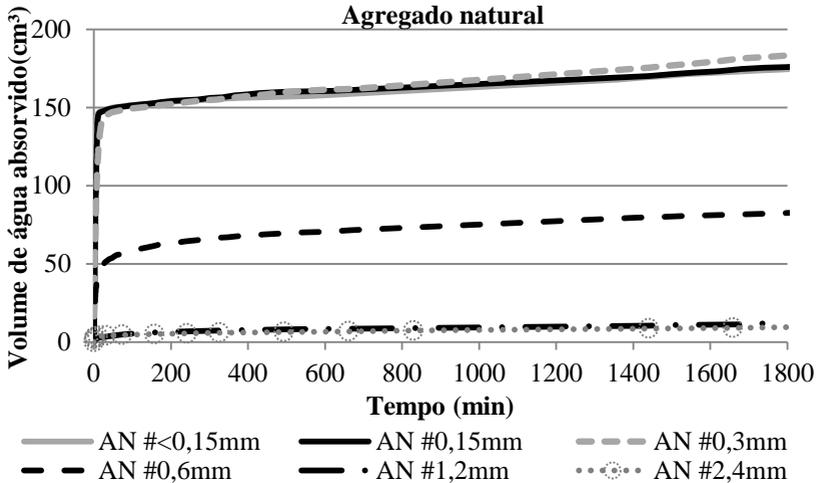


Figura 28: Volume de água absorvido pelo tempo - AN

A absorção capilar das curvas granulométricas (Figura 29), D/d: 1,2/ 0,15 mm foi maior para todos os materiais, sendo maior a do agregado de RCD. Já o agregado natural e de britagem, tiveram praticamente a mesma absorção. O que variou foi o tempo que para o agregado natural foi mais rápido nos primeiros minutos. Na curva D/d: 2,4/ 0,15 mm a absorção com agregado de britagem foi mais rápida nos primeiros minutos, entretanto o volume absorvido foi praticamente igual a do agregado reciclado.

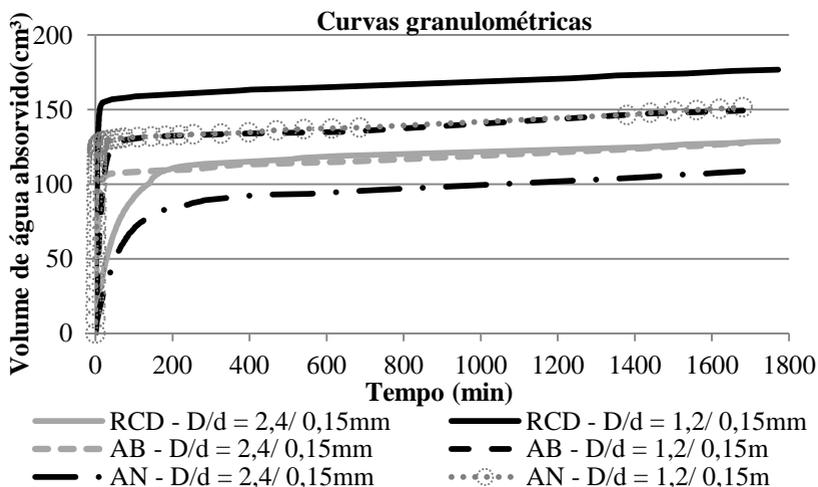


Figura 29: Volume de água absorvido pelo tempo – Curvas granulométricas

Na Tabela 17, observa-se o valor da sorptividade dos agregados e das curvas granulométricas. No agregado natural quanto menor a fração do agregado maior a sua sorptividade, todavia não se verificou esse comportamento para as frações de agregado reciclado e de britagem. A sorptividade das curvas D/d: 2,4/0,15 mm foram menores que as curvas D/d: 1,2/0,15 mm para o agregado reciclado e o agregado natural, porém no agregado de britagem ocorreu o oposto.

Tabela 17: Sorptividade dos agregados e das curvas montadas.

<b>Materiais</b>	<b>RCD</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>
<b>Frações/ Curvas</b>	<b>(cm x min<sup>1/2</sup>)</b>		
<b>2,4</b>	0,0052	0,0099	0,0036
<b>1,2</b>	0,0433	0,0056	0,0064
<b>0,6</b>	0,4349	0,0811	0,1627
<b>0,3</b>	0,2938	0,5376	0,5081
<b>0,15</b>	0,1884	0,8234	0,7143
<b>&lt;0,15</b>	0,9311	0,6118	0,9153
<b>D/d=2,4/0,15</b>	0,1278	0,4394	0,0975
<b>D/d=1,2/0,15</b>	0,7286	0,3183	0,8597

Os gráficos com as retas referentes ao estoque de água infiltrado nos grãos em função do tempo, a partir das quais foram extraídas os va-

lores da sorptividade dos agregados e das curvas granulométricas “montadas” estão no APÊNDICE 1.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DAS ARGAMASSAS

No APÊNDICE 2 encontram-se as análises de variância realizadas com os dados obtidos nos ensaios.

### 4.2.1 Estado fresco

Os ensaios no estado fresco não foram realizados para o RCD e RCD-M da curva D/d: 1,2/ 0,15 mm com o traço pobre (menor quantidade de cimento em relação ao teor de agregado), pois as argamassas ficaram muito porosas (no estado endurecido) e por isso foram moldadas argamassas de RCD e RCD-M com um traço mais rico (maior quantidade de cimento em relação aos agregados).

#### 4.2.1.1 Massa específica e teor de ar incorporado

Os valores de massa específica aparente e do teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco estão dispostos na Tabela 18, onde se percebe que a variação da massa específica é maior nas argamassas confeccionadas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) do que nas argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm). Segundo a classificação de Carasek (2007), todas as argamassas são classificadas como argamassas normais. Pois, as massas específicas ficaram entre 2,30 e 1,40, podendo ser utilizadas em revestimento. O teor de ar incorporado nas argamassas favorece a trabalhabilidade da mistura, entretanto piora em relação às resistências mecânicas. Percebe-se que, quanto menor o teor de ar incorporado nas argamassas, maior é a resistência mecânica.

As argamassas de RCD com o traço rico e a curva granulométrica fina apresentaram redução no teor de ar incorporado, quando comparado com o RCD-M. Entretanto, a relação a/c das argamassas com RCD é maior, essa redução no teor de ar incorporado pode estar ligada a quantidade de água disponível para a formação da pasta.

As argamassas com a curva fina de AN apresentaram um teor de ar incorporado menor, quando comparado com as argamassas com AB, porém essas argamassas foram confeccionadas com a mesma relação a/c e o mesmo teor de aditivo. Esse aumento de ar incorporado melhorou a trabalhabilidade das argamassas e reduziu a resistência mecânica. Em

relação à curva média de AN e AB, mesmo possuindo uma maior relação a/c apresentaram um menor teor de ar incorporado nas argamassas quando comparado com a curva fina de AN e AB, deixando claro a influência da curva granulométrica na incorporação de ar nas argamassas.

Tabela 18: Massa específica aparente e teor de ar incorporado das argamassas

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
RCD: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,59	24,29
	1 : 0,5 : 7	6	1,64	22,53
	1 : 1 : 6,5	12	1,47	29,80
	1 : 1,5 : 6	18	1,51	28,15
	1 : 2 : 5,5	24	1,64	22,90
	1 : 2,5 : 5	29	1,64	23,24
	1 : 3 : 4,5	35	1,61	25,13
RCD-M: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,66	20,71
	1 : 0,5 : 7	6	1,71	19,39
	1 : 1 : 6,5	12	1,75	18,19
	1 : 1,5 : 6	18	1,78	17,68
	1 : 2 : 5,5	24	1,54	27,53
	1 : 2,5 : 5	29	1,63	23,90
	1 : 3 : 4,5	35	1,63	24,41
AB: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,90	13,84
	1 : 0,5 : 7	6	2,08	6,66
	1 : 1 : 6,5	12	2,09	6,93
	1 : 1,5 : 6	18	1,92	15,25
	1 : 2 : 5,5	24	1,97	13,30
	1 : 2,5 : 5	29	2,00	12,66
	1 : 3 : 4,5	35	1,99	12,86
AN: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,98	9,56
	1 : 0,5 : 7	6	2,00	9,44
	1 : 1 : 6,5	12	2,04	8,45
	1 : 1,5 : 6	18	2,07	7,76
	1 : 2 : 5,5	24	1,96	13,26
	1 : 2,5 : 5	29	2,06	7,12
	1 : 3 : 4,5	35	2,05	8,13

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	1,62	19,70
	1 : 0,5 : 4	9	1,66	18,81
	1 : 1 : 3,5	18	1,72	16,50
	1 : 1,5 : 3	27	1,74	16,43
	1 : 2 : 2,5	36	1,77	15,23
RCD-M: D/d= 1,2/ 0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	1,51	24,79
	1 : 0,5 : 4	9	1,61	22,14
	1 : 1 : 3,5	18	1,66	20,59
	1 : 1,5 : 3	27	1,70	19,00
	1 : 2 : 2,5	36	1,70	19,60
AB: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,53	28,34
	1 : 0,5 : 7	6	1,59	26,31
	1 : 1 : 6,5	12	1,68	22,44
	1 : 1,5 : 6	18	1,73	20,81
	1 : 2 : 5,5	24	1,84	16,51
AN: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,65	21,99
	1 : 0,5 : 7	6	1,65	22,54
	1 : 1 : 6,5	12	1,71	20,43
	1 : 1,5 : 6	18	1,80	17,12
	1 : 2 : 5,5	24	1,82	16,60

Nas Figuras 30 a 32 fica evidente que, quanto menor o teor de ar incorporado nas argamassas, maior será sua massa específica. Isso ocorre porque, quanto menor a quantidade de ar nas argamassas, mais densa ela será.

A adição de finos nas argamassas (D/d: 2,4/ 0,15 mm) de RCD-M até 18% de finos contribuiu para a redução do ar incorporado. Entretanto, conforme aumentou-se a quantidade de fino, também aumentou o teor de ar incorporado, podendo-se concluir que 18% de fino é o máximo que as argamassas suportam. Isso não pode ser observado para o RCD, AN e a AB. As massas específicas das argamassas de agregado reciclado são menores que as de AB e AN, isso já era esperado em função dos agregados possuírem massa específica menor (Figura 30).

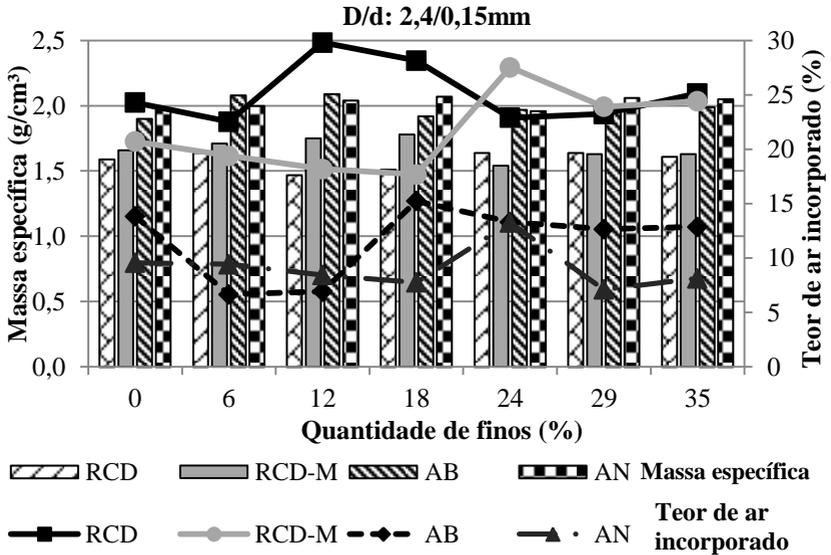


Figura 30: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm) nas argamassas

Nas argamassas com a curva granulométrica D/d: 1,2/ 0,15 mm, a adição de fino em todas as argamassas com AB, AN, RCD e RCD-M, reduziu o teor de ar incorporado e conseqüentemente aumentou a massa específica (Figuras 31 e 32).

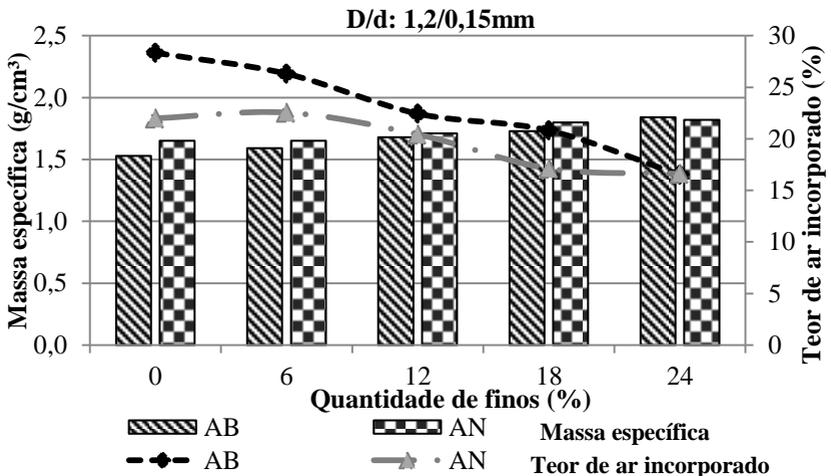


Figura 31: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm) nas argamassas

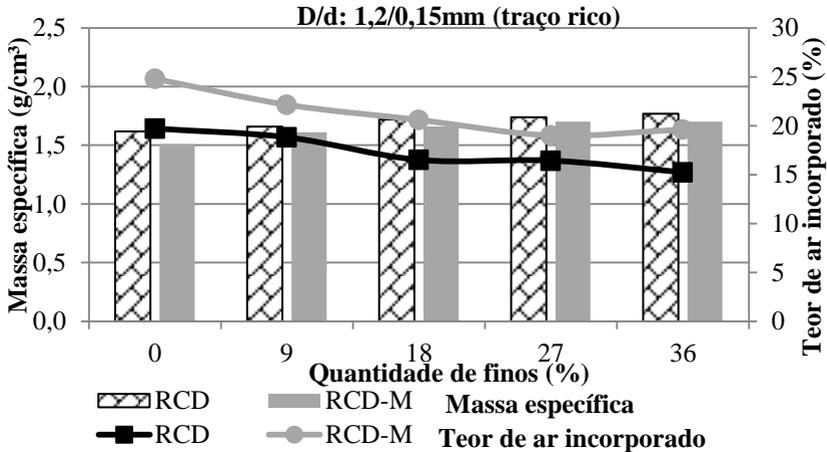


Figura 32: Massa específica e teor de ar incorporado em relação aos finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm - traço rico) nas argamassas

#### 4.2.1.2 Índice de consistência e retenção da fluidez

Na Tabela 19 estão dispostos os valores do espalhamento das argamassas no instante inicial ( $t=0$  min), os valores da retenção do espalhamento ( $t=30$  min) e variação da redução do espalhamento.

Tabela 19: Flow e retenção do flow

Material/curva	Argamassa		Flow		
	Traço (em massa)	Teor de finos (%)	t=0min (mm)	t=30min (mm)	Variação (%)
RCD: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	238,0	203,5	14,5
	1 : 0,5 : 7	6	253,0	207,0	18,2
	1 : 1 : 6,5	12	184,0	167,5	9,0
	1 : 1,5 : 6	18	175,0	171,0	2,3
	1 : 2 : 5,5	24	181,5	173,0	4,7
	1 : 2,5 : 5	29	176,5	176,0	0,3
	1 : 3 : 4,5	35	175,0	157,0	10,3
RCD - M: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	215,5	173,5	19,5
	1 : 0,5 : 7	6	225,0	179,0	20,4
	1 : 1 : 6,5	12	246,0	196,5	20,1
	1 : 1,5 : 6	18	248,5	187,5	24,5
	1 : 2 : 5,5	24	175,0	162,0	7,4
	1 : 2,5 : 5	29	182,5	167,0	8,5
	1 : 3 : 4,5	35	179,5	162,0	9,7

Material/curva	Argamassa		Flow		
	Traço (em massa)	Teor de finos (%)	t=0min (mm)	t=30min (mm)	Variação (%)
AB: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	232,0	216,0	6,9
	1 : 0,5 : 7	6	344,5	261,0	24,2
	1 : 1 : 6,5	12	314,0	284,5	9,4
	1 : 1,5 : 6	18	261,0	260,0	0,4
	1 : 2 : 5,5	24	259,0	254,0	1,9
	1 : 2,5 : 5	29	227,0	221,5	2,4
	1 : 3 : 4,5	35	234,5	234,0	0,2
AN: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	236,0	217,0	8,1
	1 : 0,5 : 7	6	287,5	221,5	23,0
	1 : 1 : 6,5	12	292,0	246,0	15,8
	1 : 1,5 : 6	18	317,5	300,0	5,5
	1 : 2 : 5,5	24	231,0	222,0	3,9
	1 : 2,5 : 5	29	325,0	317,5	2,3
	1 : 3 : 4,5	35	291,0	283,5	2,6
AB: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	248,5	225,0	9,5
	1 : 0,5 : 7	6	250,5	237,0	5,4
	1 : 1 : 6,5	12	259,0	256,0	1,2
	1 : 1,5 : 6	18	263,0	258,0	1,9
	1 : 2 : 5,5	24	262,5	260,0	1,0
AN: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	217,5	201,5	7,4
	1 : 0,5 : 7	6	232,5	215,5	7,3
	1 : 1 : 6,5	12	244,0	236,5	3,1
	1 : 1,5 : 6	18	246,5	238,0	3,4
	1 : 2 : 5,5	24	244,0	237,5	2,7
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	228,5	188,0	17,7
	1 : 0,5 : 4	9	250,5	200,5	20,0
	1 : 1 : 3,5	18	261,5	225,0	14,0
	1 : 1,5 : 3	27	256,5	215,5	16,0
	1 : 2 : 2,5	36	249,0	216,5	13,1
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	232,5	203,0	12,7
	1 : 0,5 : 4	9	238,0	202,5	14,9
	1 : 1 : 3,5	18	241,5	211,0	12,6
	1 : 1,5 : 3	27	277,0	235,5	15,0
	1 : 2 : 2,5	36	275,0	218,5	20,5

Na Figura 33, percebe-se que as amostras com 0, 6 e 12% de finos reduziu o espalhamento, já com o aumento dos finos ocorreu à melhora na trabalhabilidade. Entretanto, para o RCD-M essa melhora não foi observada.

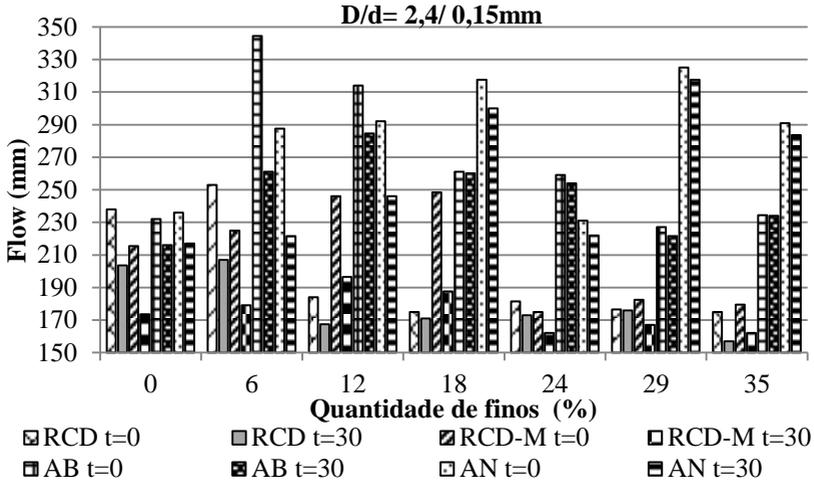


Figura 33: Flow das argamassas com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm

Em todos os traços, os espalhamentos das amostras AB foram superiores as argamassas AN. Observa-se que nas argamassas com 0 e 6% de finos a trabalhabilidade das argamassas reduziu, quando comparadas com as argamassas com 12, 18 e 24 % de fino (Figura 34).

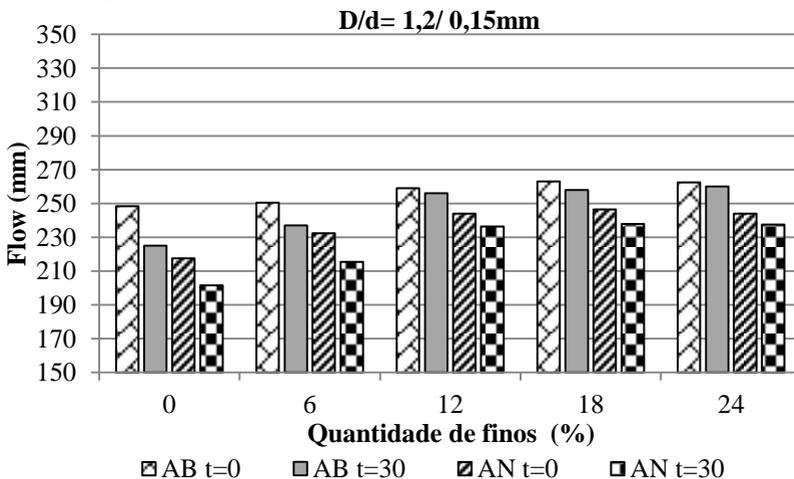


Figura 34: Flow das argamassas com a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm

Na Figura 35, com a adição de fino aumentou o flow, porém em 18% de fino para o RCD seco e em 27% para o RCD-M ocorre à saturação dos finos, reduzindo o espalhamento. A redução da trabalhabilidade dessas argamassas foi grande, mesmo nas argamassas molhadas previamente. Percebe-se a vantagem da molhagem prévia, pois as argamassas molhadas previamente retiveram maior quantidade de água, ficando trabalháveis por um período maior de tempo.

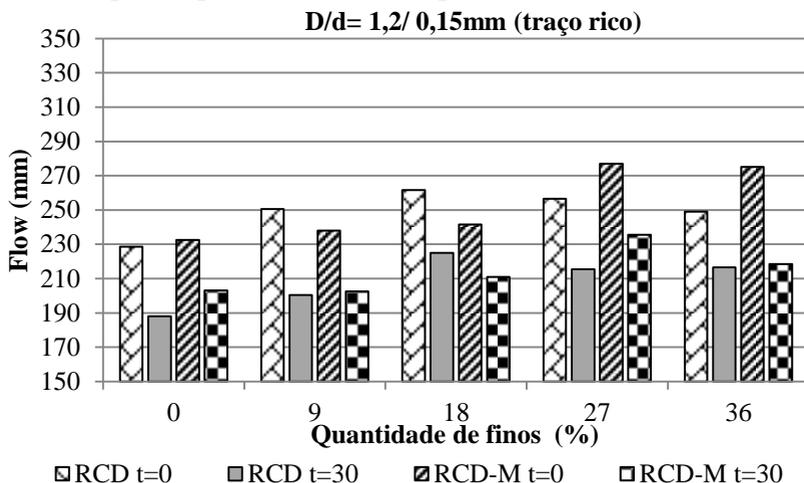


Figura 35: Flow das argamassas com a curva D/d: 1,2/ 0,15 mm (traço rico)

#### 4.2.1.3 Retenção de água

Na Tabela 20 segue os resultados obtidos das argamassas no estado fresco no ensaio de retenção de água.

Tabela 20: Retenção de água das argamassas

Argamassas / Propriedades	Teor de finos (%)	Retenção de água (%)
<b>RCD: D/d= 2,4/0,15mm</b>	1 : 0 : 7,5	97,2
	1 : 0,5 : 7	95,7
	1 : 1 : 6,5	98,2
	1 : 1,5 : 6	98,3
	1 : 2 : 5,5	98,3
	1 : 2,5 : 5	98,2
	1 : 3 : 4,5	99,1

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Retenção de água (%)
RCD-M: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	97,8
	1 : 0,5 : 7	6	97,8
	1 : 1 : 6,5	12	98,0
	1 : 1,5 : 6	18	98,3
	1 : 2 : 5,5	24	98,9
	1 : 2,5 : 5	29	98,4
	1 : 3 : 4,5	35	85,7
AB: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	72,8
	1 : 0,5 : 7	6	67,8
	1 : 1 : 6,5	12	79,4
	1 : 1,5 : 6	18	91,3
	1 : 2 : 5,5	24	73,0
	1 : 2,5 : 5	29	94,2
	1 : 3 : 4,5	35	93,4
AN: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	56,9
	1 : 0,5 : 7	6	60,5
	1 : 1 : 6,5	12	69,0
	1 : 1,5 : 6	18	84,0
	1 : 2 : 5,5	24	93,2
	1 : 2,5 : 5	29	86,1
	1 : 3 : 4,5	35	87,4
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	82,3
	1 : 0,5 : 4	9	82,0
	1 : 1 : 3,5	18	81,7
	1 : 1,5 : 3	27	83,7
	1 : 2 : 2,5	36	86,4
RCD-M: D/d=1,2/0,15	1 : 0 : 4,5	0	98,7
	1 : 0,5 : 4	9	98,1
	1 : 1 : 3,5	18	98,3
	1 : 1,5 : 3	27	98,1
	1 : 2 : 2,5	36	97,8
AB: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	79,2
	1 : 0,5 : 7	6	84,6
	1 : 1 : 6,5	12	88,1
	1 : 1,5 : 6	18	88,5
	1 : 2 : 5,5	24	89,0

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Retenção de água (%)
AN: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	87,6
	1 : 0,5 : 7	6	89,3
	1 : 1 : 6,5	12	90,3
	1 : 1,5 : 6	18	90,3
	1 : 2 : 5,5	24	91,3

Na Figura 36 observa-se que a retenção de água para o agregado reciclado é superior ao agregado natural e o de britagem, devido o fino do agregado reciclado ser menor que dos outros agregados auxiliando na melhora da retenção. De acordo com Camargo (1995) o entulho, principalmente o argiloso, que acaba retendo maior quantidade de água e colaborando para uma melhor hidratação do cimento e conseqüentemente diminuindo a retração e o surgimento de fissuras ao longo do tempo.

A retenção das amostras de RCD e do RCD-M ficaram praticamente iguais, só variando quando adicionado 35% de fino. A retenção do agregado de britagem foi superior à do agregado natural. Essa tendência não foi observada com 24% de fino. As amostras que tiveram uma adequada retenção de água são AB e AN com 18% de fino, a AN com 29% de fino e o RCD-M e a AN com 35% fino. As outras amostras ou tiveram uma retenção perto dos 100% ou abaixo dos 80% o que não é o adequado, pois se possuir uma elevada retenção não tem adesão inicial. Por outro lado, a argamassa precisa reter uma quantidade suficiente para não perder demasiadamente água para o substrato, ficando porosa e fraca.

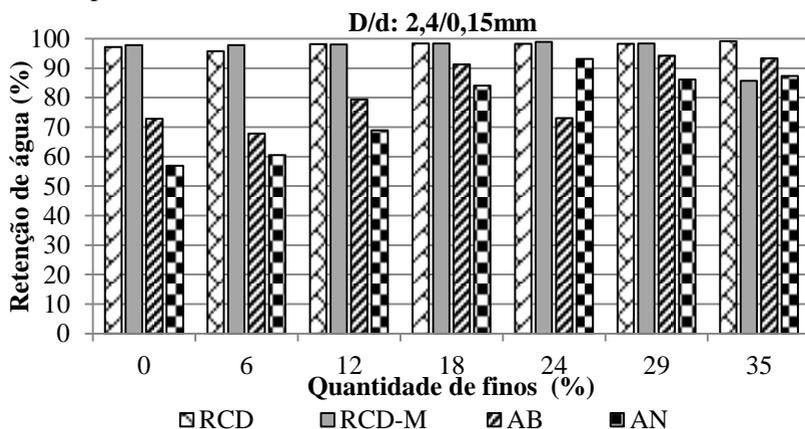


Figura 36: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Já, na Figura 37, o agregado natural para todas as quantidades de finos apresentou uma maior retenção de água. Percebe-se que houve uma tendência a aumentar a retenção de água com a adição de finos nas argamassas. Essas argamassas tiveram uma adequada retenção de água, ficando em torno de 85%, corroborando com pesquisas anteriores.

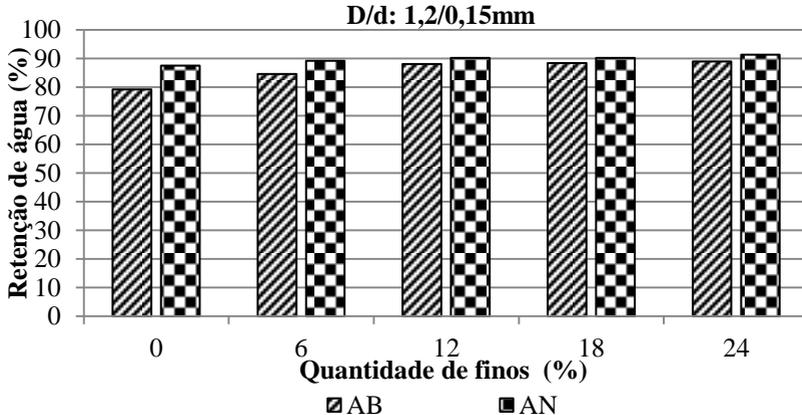


Figura 37: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Analisando a Figura 38, fica claro que a molhagem prévia do RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm) aumentou a retenção de água das argamassas. Entretanto, uma retenção de água muito elevada não é adequada. As argamassas com RCD obtiveram uma retenção adequada em torno dos 85%.

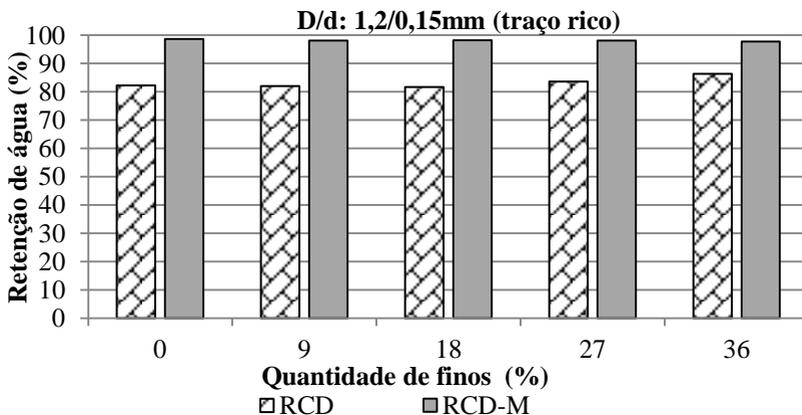


Figura 38: Retenção de água pela quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico)

## 4.2.2 Estado endurecido

### 4.2.2.1 Resistência à compressão e resistência à tração na flexão

Inicialmente foram preparadas argamassas de RCD e RCD-M com a curva granulométrica fina, com o aditivo methocel e sem o aditivo hiperplastificante, os valores encontrados para essas argamassas estão descritos nas Tabelas 21 e 22. Entretanto, as argamassas ficaram com a superfície muito porosa, sendo necessário refazê-las com um traço mais rico, reduzindo o aditivo methocel, adicionando o aditivo hiperplastificante e reduzindo a quantidade de água da mistura. Contudo as amostras com o traço pobre foram utilizadas nos ensaios do estado endurecido a título de comparação.

Tabela 21: Resistência à compressão e consumo de cimento

Argamassa			Resistência à compressão			Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
Mate- rial	Traço	Finos (%)	Média (Mpa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1: 0: 7,5	0	0,86	0,02	2,01	148,7
	1: 0,5: 7	6	1,86	0,22	12,02	149,0
	1: 1: 6,5	12	3,51	0,16	4,63	158,8
	1: 1,5: 6	18	3,98	0,16	4,00	159,0
	1: 2: 5,5	24	4,75	0,19	4,09	165,8
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1: 0: 7,5	0	0,00	-	-	125,8
	1: 0,5: 7	6	0,00	-	-	129,8
	1: 1: 6,5	12	0,00	-	-	137,1
	1: 1,5: 6	18	2,61	0,19	7,48	148,5
	1: 2: 5,5	24	3,07	0,02	0,75	146,3

Tabela 22: Resistência à tração na flexão

Argamassa			Resistência à tração na flexão		
Mate- rial	Traço	Finos (%)	Média (Mpa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1: 0: 7,5	0	1,25	0,05	3,96
	1: 0,5: 7	6	1,64	0,07	4,05
	1: 1: 6,5	12	2,17	0,10	4,63
	1: 1,5: 6	18	2,29	0,17	7,22
	1: 2: 5,5	24	2,51	0,18	7,20
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1: 0: 7,5	0	0,00	-	-
	1: 0,5: 7	6	1,02	0,02	2,05
	1: 1: 6,5	12	1,52	0,05	2,96
	1: 1,5: 6	18	2,09	0,12	5,76
	1: 2: 5,5	24	2,17	0,07	3,26

Os valores de resistência à compressão e a tração na flexão aos 28 dias de cura e o consumo de cimento, são apresentados nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23: Resistência à compressão e o consumo de cimento

Material	Argamassa		Resistência à compressão			Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
	Traço	Finos (%)	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	
RCD: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	3,44	0,16	4,52	158,1
	1 : 0,5 : 7	6	5,09	0,13	2,56	155,5
	1 : 1 : 6,5	12	2,12	0,09	4,00	129,5
	1 : 1,5 : 6	18	2,46	0,22	8,83	128,0
	1 : 2 : 5,5	24	3,75	0,19	5,02	132,8
	1 : 2,5 : 5	29	5,09	0,08	1,59	127,9
	1 : 3 : 4,5	35	4,49	0,18	3,97	120,9
RCD – M: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	5,33	0,15	2,80	164,8
	1 : 0,5 : 7	6	6,44	0,13	2,02	161,9
	1 : 1 : 6,5	12	7,26	0,08	1,07	158,2
	1 : 1,5 : 6	18	9,01	0,05	0,55	153,4
	1 : 2 : 5,5	24	4,17	0,16	3,80	124,8
	1 : 2,5 : 5	29	4,85	0,16	3,31	126,8
	1 : 3 : 4,5	35	5,14	0,13	2,44	122,1
AB: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	5,84	0,22	3,73	194,8
	1 : 0,5 : 7	6	7,89	0,10	1,32	202,5
	1 : 1 : 6,5	12	8,71	0,20	2,25	194,0
	1 : 1,5 : 6	18	4,31	0,12	2,77	170,0
	1 : 2 : 5,5	24	5,60	0,14	2,56	167,5
	1 : 2,5 : 5	29	6,11	0,15	2,43	162,9
	1 : 3 : 4,5	35	6,13	0,22	3,56	154,8
AN: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	5,60	0,19	3,32	202,5
	1 : 0,5 : 7	6	6,43	0,15	2,25	194,6
	1 : 1 : 6,5	12	7,96	0,12	1,47	189,1
	1 : 1,5 : 6	18	9,52	0,13	1,41	183,4
	1 : 2 : 5,5	24	5,87	0,10	1,74	166,2
	1 : 2,5 : 5	29	6,40	0,26	3,92	164,5
	1 : 3 : 4,5	35	6,65	0,08	1,13	157,5
AB: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,59	0,01	0,97	151,7
	1 : 0,5 : 7	6	0,79	0,08	9,53	150,1
	1 : 1 : 6,5	12	1,67	0,13	7,58	152,1
	1 : 1,5 : 6	18	2,08	0,17	8,27	149,8
	1 : 2 : 5,5	24	3,02	0,14	4,79	152,5

Argamassa			Resistência à compressão			Consumo de cimento (kg/m <sup>3</sup> )
Material	Traço	Finos (%)	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)	
AN: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,56	0,10	6,39	163,7
	1 : 0,5 : 7	6	1,62	0,15	9,39	156,4
	1 : 1 : 6,5	12	2,02	0,16	7,69	154,8
	1 : 1,5 : 6	18	2,69	0,10	3,76	155,5
	1 : 2 : 5,5	24	3,30	0,08	2,36	151,1
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	4,76	0,16	3,33	237,2
	1 : 0,5 : 4	9	5,92	0,22	3,64	227,0
	1 : 1 : 3,5	18	7,36	0,14	1,89	219,2
	1 : 1,5 : 3	27	8,39	0,14	1,67	208,9
	1 : 2 : 2,5	36	8,67	0,11	1,21	198,1
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	5,53	0,23	4,18	222,2
	1 : 0,5 : 4	9	7,57	0,90	11,91	221,3
	1 : 1 : 3,5	18	10,37	0,40	3,84	214,0
	1 : 1,5 : 3	27	10,94	0,51	4,65	203,9
	1 : 2 : 2,5	36	12,17	0,76	6,21	192,8

Tabela 24: Resistência à tração na flexão

Argamassa			Resistência à tração na flexão		
Material	Traço	Finos (%)	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
RCD: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,12	0,10	4,57
	1 : 0,5 : 7	6	2,52	0,10	4,01
	1 : 1 : 6,5	12	1,80	0,07	3,89
	1 : 1,5 : 6	18	1,93	0,03	1,31
	1 : 2 : 5,5	24	2,42	0,11	4,35
	1 : 2,5 : 5	29	2,84	0,07	2,35
	1 : 3 : 4,5	35	2,60	0,19	7,23
RCD - M: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,38	0,29	12,21
	1 : 0,5 : 7	6	3,30	0,12	3,65
	1 : 1 : 6,5	12	3,39	0,05	1,46
	1 : 1,5 : 6	18	3,84	0,19	4,97
	1 : 2 : 5,5	24	2,30	0,13	5,60
	1 : 2,5 : 5	29	2,60	0,09	3,53
	1 : 3 : 4,5	35	2,68	0,09	3,46

Argamassa			Resistência à tração na flexão		
Material	Traço	Finos (%)	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
AB: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,05	0,22	10,78
	1 : 0,5 : 7	6	2,89	0,23	7,79
	1 : 1 : 6,5	12	3,06	0,17	5,40
	1 : 1,5 : 6	18	2,48	0,05	1,91
	1 : 2 : 5,5	24	2,88	0,05	1,78
	1 : 2,5 : 5	29	2,91	0,08	2,73
	1 : 3 : 4,5	35	2,91	0,06	2,21
AN: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,21	0,05	2,27
	1 : 0,5 : 7	6	2,71	0,26	9,45
	1 : 1 : 6,5	12	2,74	0,04	1,52
	1 : 1,5 : 6	18	3,37	0,07	2,10
	1 : 2 : 5,5	24	2,67	0,13	4,68
	1 : 2,5 : 5	29	2,48	0,12	4,80
	1 : 3 : 4,5	35	2,61	0,19	7,13
AB: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,97	0,06	6,27
	1 : 0,5 : 7	6	1,03	0,06	5,83
	1 : 1 : 6,5	12	1,39	0,03	2,16
	1 : 1,5 : 6	18	1,51	0,12	7,86
	1 : 2 : 5,5	24	1,74	0,06	3,37
AN: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,14	0,06	5,12
	1 : 0,5 : 7	6	1,31	0,16	12,21
	1 : 1 : 6,5	12	1,48	0,08	5,36
	1 : 1,5 : 6	18	1,60	0,09	5,30
	1 : 2 : 5,5	24	1,89	0,04	1,85
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	2,68	0,24	8,81
	1 : 0,5 : 4	9	3,05	0,06	1,8
	1 : 1 : 3,5	18	3,46	0,09	2,53
	1 : 1,5 : 3	27	3,58	0,14	4,04
	1 : 2 : 2,5	36	3,42	0,05	1,50
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	3,00	0,19	6,44
	1 : 0,5 : 4	9	3,97	0,08	2,14
	1 : 1 : 3,5	18	4,60	0,15	3,20
	1 : 1,5 : 3	27	4,14	0,10	2,39
	1 : 2 : 2,5	36	4,32	0,24	5,60

Na Figura 39, percebe-se que a molhagem dos agregados reciclados nas argamassas melhorou a resistência, entretanto essas argamassas até 18% de finos possuem aditivo hiperplastificante em sua composição o que pode ter ajudado na dispersão do cimento e na melhora das resistências mecânicas. As argamassas com agregado de britagem e natural apresentam valores praticamente iguais, obtendo maior diferença com 18% de fino, onde a resistência da AB reduziu, sendo seu ápice de resistência com 12%.

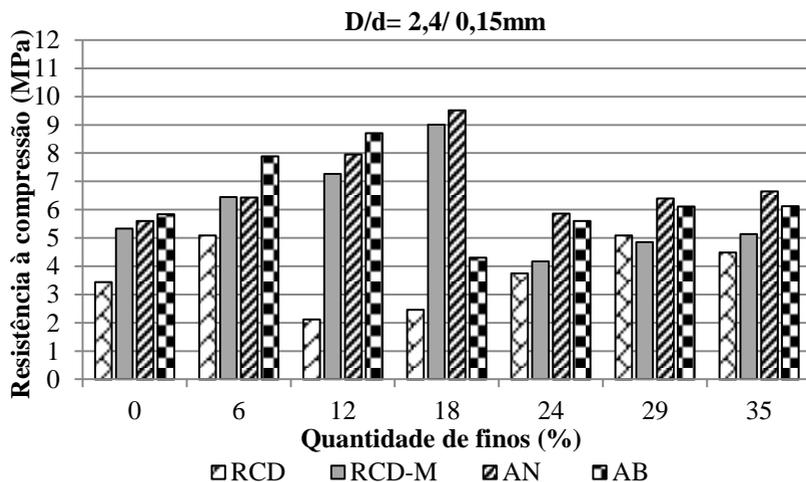


Figura 39: Resistência à compressão das argamassas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

De acordo com a Figura 40 os finos ajudaram na resistência à compressão das argamassas, pois todas as amostras tiveram suas resistências majoradas, conforme aumentou a quantidade de fino. Em todos os casos as resistências de AN foram superiores as resistências de AB.

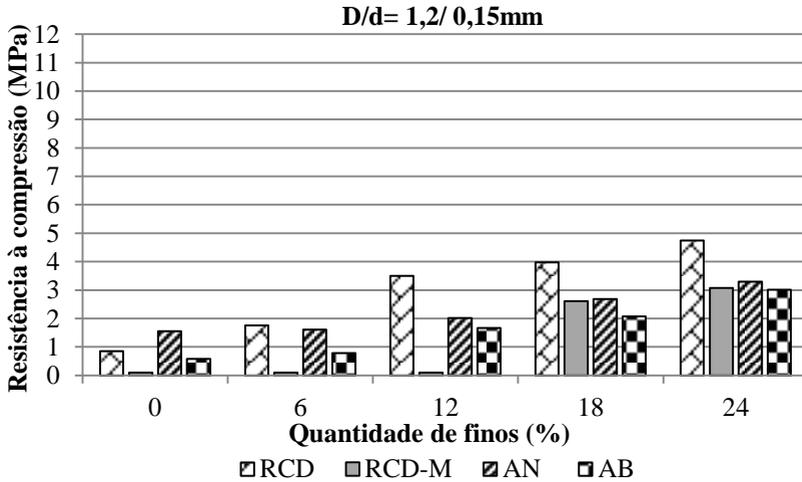


Figura 40: Resistência à compressão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

A resistência à compressão das argamassas com o traço rico teve a mesma tendência ao aumento das resistências com o aumento dos finos. Porém, como se trata de um traço rico as resistências foram muito superiores às demais amostras com a mesma granulometria (Figura 41).

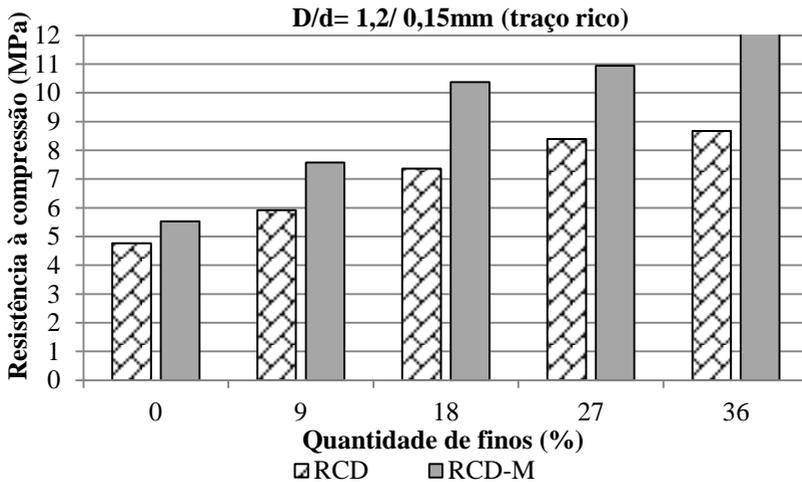


Figura 41: Resistência à compressão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/0,15mm) - traço rico

Em relação, a resistência à tração na flexão (Figura 42) percebe-se que a adição de fino melhorou a resistência das argamassas de RCD-M e AN até 18% de fino, da AB até o 12%, a partir da adição de maior quantidade de fino as resistências reduzem e em seguida se estabilizam. A molhagem prévia do agregado reciclado melhorou a resistência das argamassas.

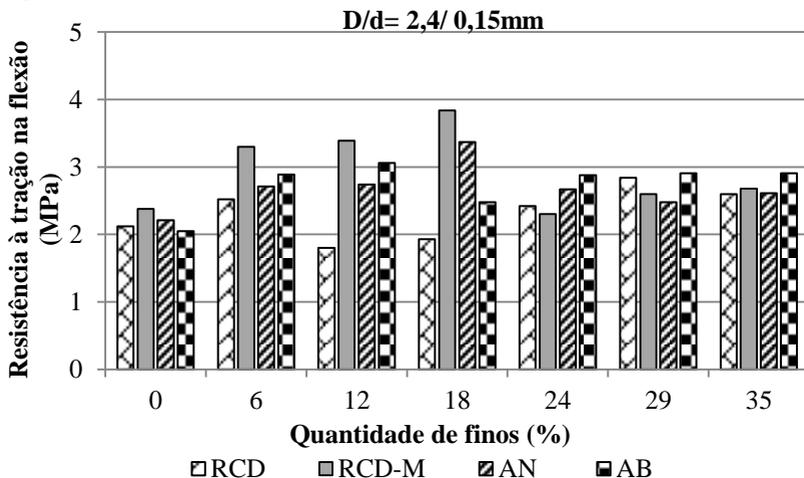


Figura 42: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva média (D/d: 2,4 /0,15 mm)

Na Figura 43, com o aumento na quantidade de finos, verificou-se melhora na resistência à tração das amostras. As argamassas com agregado reciclado seco previamente apresentaram valores de resistência superiores às argamassas com AN, AB e RCD-M.

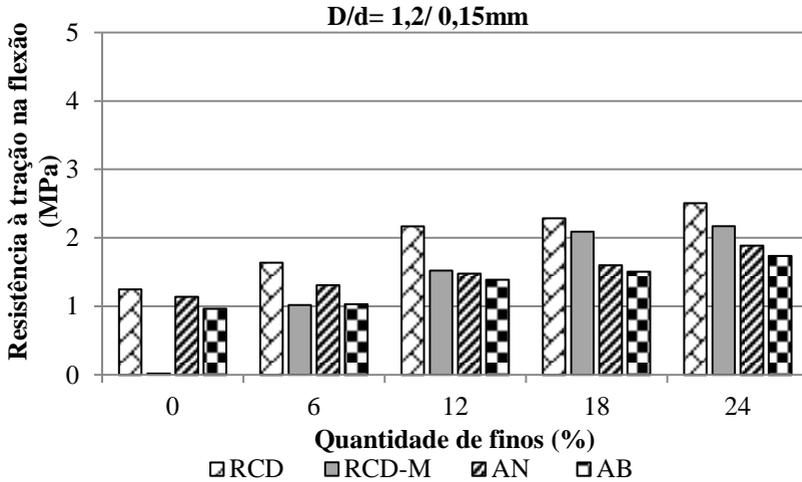


Figura 43: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Logo, ao observar os valores de resistência à tração com o traço rico do RCD, ocorreu o oposto do traço pobre, pois em todos os casos a molhagem prévia do agregado aumentou a resistência. O limite de finos nos traços ricos com os agregados saturados previamente foi de 18 % e para o RCD seco previamente o limite foi de 27%, já que passado essa quantidade a resistência das argamassas começou a reduzir (Figura 44).

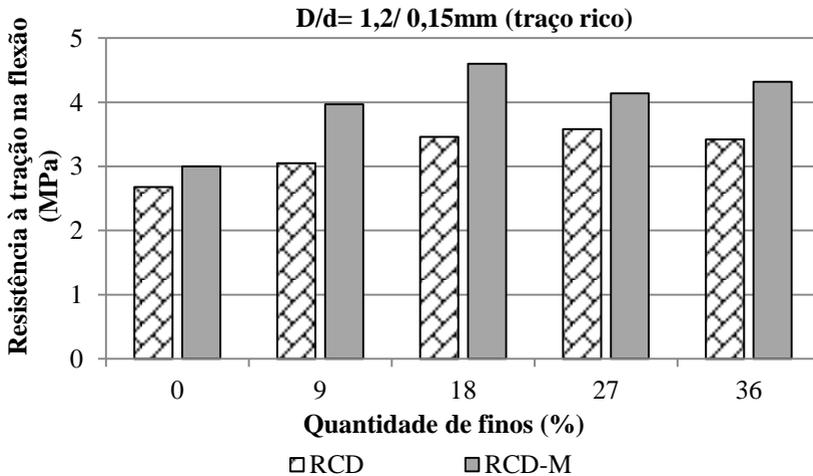


Figura 44: Resistência à tração na flexão das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) - traço rico

O consumo de cimento nas argamassas com agregado de britagem e com agregado natural foram superiores as argamassas produzidas com o agregado reciclado, essa tendência pode ser explicado pelo teor de ar incorporado ser superior nas argamassas com agregado reciclado.

Na Figura 45, também se pode verificar que, conforme adicionado o fino nas argamassas o consumo de cimento diminuiu para a AN, entretanto, nas amostras com AB ocorreu o aumento do consumo de cimento e em seguida o consumo começou a reduzir. Com RCD seco e molhado previamente o efeito se repete, porém conforme adicionado o fino ocorre um leve aumento do consumo e posteriormente reduz.

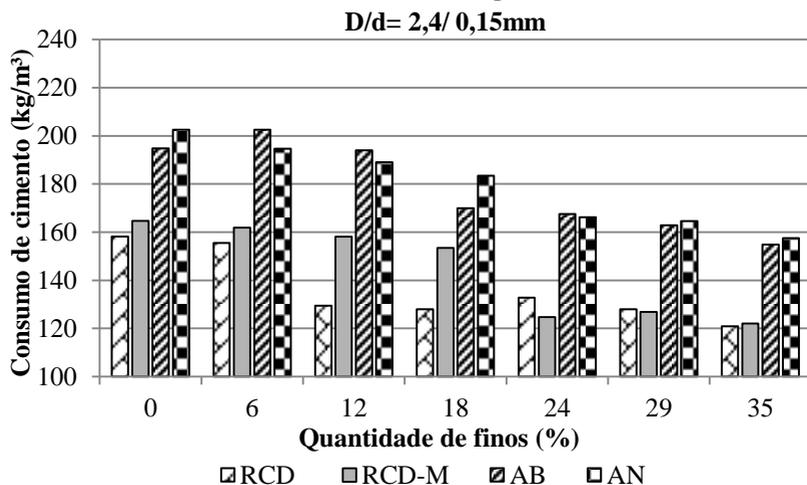


Figura 45: Consumo de cimento das argamassas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Nas argamassas com o agregado de britagem e curva D/d: 1,2/ 0,15 mm percebe-se que a tendência do consumo de cimento permanece o mesmo, não variando com o aumento da quantidade de finos. Já, com o agregado natural teve a mesma tendência que as argamassas com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm, com a adição de fino na argamassa o consumo de cimento diminui. Entretanto, no agregado reciclado ocorreu o inverso (Figura 46).

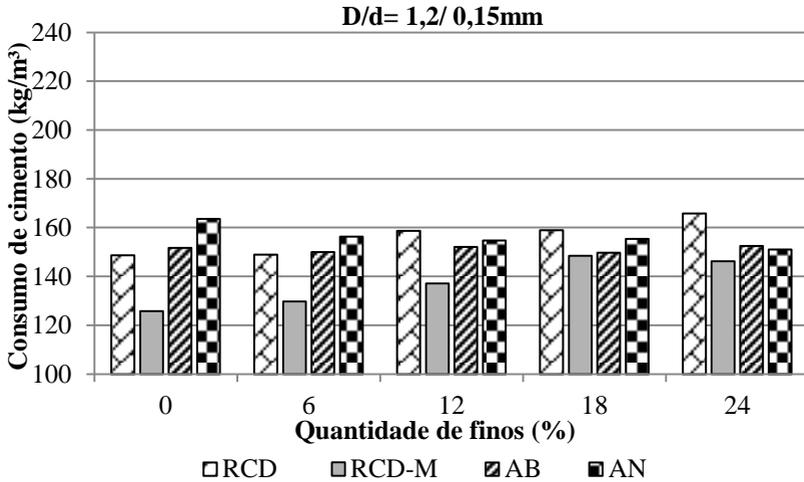


Figura 46: Consumo de cimento das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Na Figura 47 fica claro que o consumo de cimento é inferior nas argamassas onde os agregados foram saturados previamente e com o aumento da quantidade de finos nas argamassas ocorre à diminuição do consumo de cimento, tanto nas argamassas saturadas ou não.

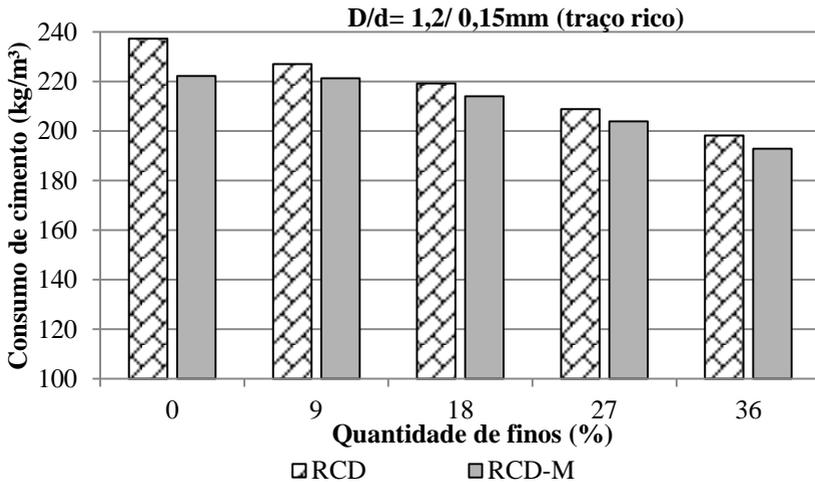


Figura 47: Consumo de cimento das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) - traço rico

#### 4.2.2.2 Módulo de elasticidade

Os resultados de módulo de elasticidade das argamassas aos 28 dias de cura seguem na Tabela 25, onde verificou-se que os maiores valores do módulo de elasticidade encontradas são nas argamassas com agregado de britagem e o agregado natural com a curva média, porém não é uma característica apreciada, pois pode ocasionar pior desempenho da argamassa de revestimento, uma vez que quanto maior o módulo, mais rígida será a argamassa. No entanto, já era esperado, visto que o consumo de água dessas argamassas foi menor e a relação a/c é inversamente proporcional às resistências mecânicas.

As argamassas com RCD-M (traço rico) obtiveram valores altos de módulo de elasticidade o que era esperado pelo maior consumo de cimento.

Uma elevada adição de fino nas argamassas de revestimento faz com que ocorra maior empacotamento e maior massa específica o que ajuda no aumento do módulo de elasticidade.

Para Mellman, Meinhold e Maultzsch (1999) o módulo de elasticidade tende a ser inferior para as argamassas com incorporação de agregados reciclados, quando comparado com argamassa com agregado natural, o que foi observado para a curva média das argamassas, todavia para a curva fina ocorreu apenas em alguns traços.

Tabela 25: Resultados do módulo de elasticidade

Argamassas / Propriedades	Teor de finos (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
<b>RCD: D/d:</b> 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	7,9
	1 : 0,5 : 7	8,2
	1 : 1 : 6,5	5,6
	1 : 1,5 : 6	5,2
	1 : 2 : 5,5	5,3
	1 : 2,5 : 5	4,6
	1 : 3 : 4,5	2,8
<b>RCD-M: D/d:</b> 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	6,8
	1 : 0,5 : 7	6,6
	1 : 1 : 6,5	6,4
	1 : 1,5 : 6	8,3
	1 : 2 : 5,5	4,9
	1 : 2,5 : 5	5,4
	1 : 3 : 4,5	5,3

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
AB: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	16,8
	1 : 0,5 : 7	6	13,8
	1 : 1 : 6,5	12	7,8
	1 : 1,5 : 6	18	9,8
	1 : 2 : 5,5	24	10,2
	1 : 2,5 : 5	29	11,0
	1 : 3 : 4,5	35	9,1
AN: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	6,1
	1 : 0,5 : 7	6	18,8
	1 : 1 : 6,5	12	11,2
	1 : 1,5 : 6	18	11,7
	1 : 2 : 5,5	24	11,5
	1 : 2,5 : 5	29	6,1
	1 : 3 : 4,5	35	10,3
RCD: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,5
	1 : 0,5 : 7	6	3,7
	1 : 1 : 6,5	12	5,4
	1 : 1,5 : 6	18	5,6
	1 : 2 : 5,5	24	4,5
RCD-M: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,4
	1 : 0,5 : 7	6	2,4
	1 : 1 : 6,5	12	1,8
	1 : 1,5 : 6	18	3,1
	1 : 2 : 5,5	24	3,9
AB: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,8
	1 : 0,5 : 7	6	1,8
	1 : 1 : 6,5	12	2,0
	1 : 1,5 : 6	18	3,8
	1 : 2 : 5,5	24	5,7
AN: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,6
	1 : 0,5 : 7	6	3,6
	1 : 1 : 6,5	12	2,8
	1 : 1,5 : 6	18	4,2
	1 : 2 : 5,5	24	5,6

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Módulo de elasticidade (GPa)
<b>RCD: D/d: 1,2/0,15mm</b>	1 : 0 : 4,5	0	5,1
	1 : 0,5 : 4	9	6,5
	1 : 1 : 3,5	18	6,4
	1 : 1,5 : 3	27	6,1
	1 : 2 : 2,5	36	6,1
<b>RCD-M: D/d: 1,2/0,15mm</b>	1 : 0 : 4,5	0	5,8
	1 : 0,5 : 4	9	9,9
	1 : 1 : 3,5	18	10,2
	1 : 1,5 : 3	27	7,2
	1 : 2 : 2,5	36	11,5

A Figura 48 mostra o módulo de elasticidade pela quantidade de fino das argamassas com a curva média. A molhagem prévia em alguns traços melhorou o módulo, em outras piorou, não verificando uma tendência linear. Na maioria dos traços a AN apresentou valores superiores aos da AB, entretanto no traço sem fino e com 29% de fino a AB obteve um módulo muito superior.

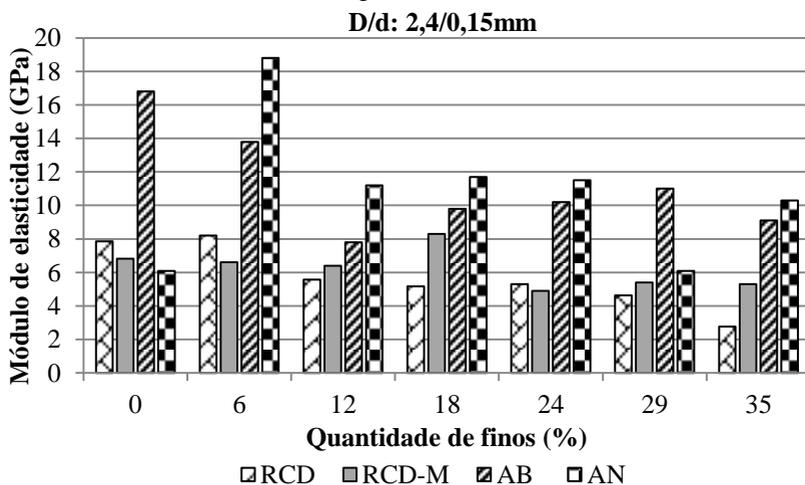


Figura 48: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/0,15 mm)

Na Figura 49 percebe-se que nos traços de RCD aumentou o módulo de elasticidade conforme adicionado os finos, voltando a reduzir

no traço com 24% de finos. A molhagem prévia reduziu o módulo para todas as adições de finos.

Os valores encontrados para AN e AB são superiores aos valores encontrados por Silva e Campiteli (2008) para o traço com 24% de finos, isso pode ser explicado pelo fato dos autores terem utilizado cal, que tem grande capacidade de deformação, no lugar do fino.

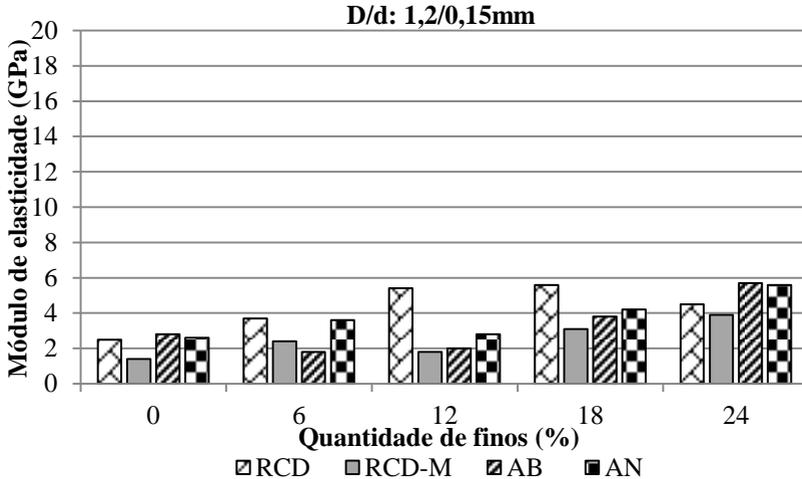


Figura 49: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/0,15 mm)

Já, na Figura 50 percebe-se que a molhagem prévia aumentou o módulo de elasticidade. Os valores para o RCD ficaram praticamente constantes, a não ser no traço sem fino que reduziu, devido à falta de material <0,15 mm que auxilia no preenchimento dos poros, deixando o material mais denso e consequentemente mais resistente.

Os valores encontrados por Neno (2010), para o módulo de elasticidade das argamassas com 0% e 20% de agregado reciclado proveniente da britagem de concreto, são superiores aos encontrados nesta pesquisa, este fato é justificado, pois na pesquisa de Neno (2010) foi utilizado um traço 1: 4 sem a adição de fino, apenas com o fino do próprio material, relação a/c menor e baixa adição de agregado reciclado.

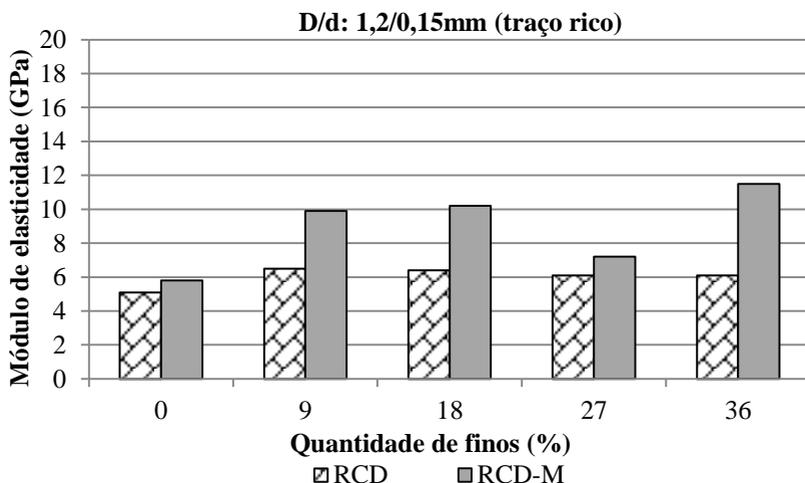


Figura 50: Módulo de elasticidade em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/0,15 mm - traço rico)

#### 4.2.2.3 Resistência potencial de aderência à tração

Na Tabela 26, estão dispostos os valores da resistência potencial de aderência à tração das argamassas, com o traço 1: 2: 5,5. O traço da curva granulométrica fina para o agregado reciclado foi o traço rico (1: 2: 2,5). As argamassas aplicadas nos blocos de concreto não apresentaram fissuras, já nas amostras de Miranda (2005) com agregado reciclado à base de cal observou-se fissuras.

Tabela 26: Resistência potencial de aderência à tração.

Argamassa		Resistência à aderência à tração		
Curva	Material	Média (MPa)	D.P. (MPa)	C.V. (%)
D/d: 2,4/ 0,15mm	RCD	0,23	0,06	27,75
	RCD-M	0,34	0,12	34,25
	AB	0,39	0,10	24,61
	AN	0,28	0,14	51,70
D/d: 1,2/ 0,15mm	RCD	0,45	0,14	32,09
	RCD-M	0,30	0,05	16,61
	AB	0,17	0,14	79,79
	AN	0,00	0,00	0,00

Nas argamassas com a curva granulométrica fina de AN a argamassa apresentou-se muito fraca, não resistindo à acomodação do aparato, entretanto não houve falha na colagem, pois como se observa na Figura 51 as amostras romperam na argamassa. As argamassas com agregado reciclado apresentaram valores superiores a 0,20 MPa, estipulado por norma como sendo o mínimo necessário que a argamassa deve resistir para ser considerada como argamassa de revestimento, essa diferença entre o agregado reciclado, o de britagem e o natural ocorreu pelo maior consumo de cimento das argamassas com agregado reciclado.



Figura 51: Ruptura dos corpos de prova.

As argamassas com a curva granulométrica média apresentaram valores satisfatórios, com todas as argamassas apresentando resultados superiores a 0,20 MPa. Ao contrário da curva fina, a molhagem prévia do agregado melhorou a resistência à aderência das argamassas com agregado reciclado, chegando a apresentar valores próximos das argamassas com agregado de britagem (Figura 52).

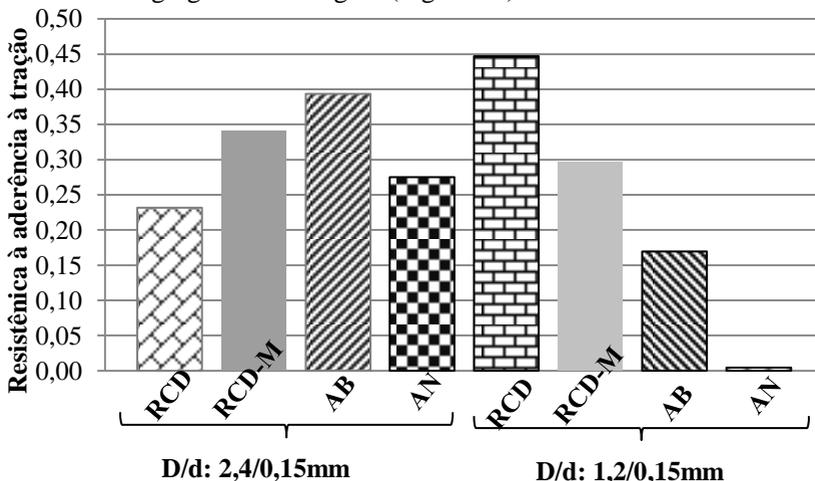


Figura 52: Resistência potencial de aderência à tração.

#### 4.2.2.4 Massa específica

A massa específica das argamassas com o agregado reciclado pré-molhado, com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm aumentou ou ficou igual à massa específica das amostras secas previamente, já na curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) a molhagem prévia do agregado reciclado reduziu a massa específica em todos os traços, o mesmo ocorreu com o traço rico. Entretanto, as massas específicas das amostras com o traço rico são superiores às argamassas com o traço pobre, isso ocorre devido à redução do agregado e o aumento do cimento, que ocupa os espaços vazios com os produtos hidratados (Tabela 27).

Os agregados naturais e de britagem possuem massa específica superior às argamassas com agregado reciclado em todos os casos, de acordo com a bibliografia, o que ocorre devido ao agregado reciclado ser composto de materiais porosos.

Tabela 27: Massa específica das argamassas no estado endurecido

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
RCD: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,57
	1 : 0,5 : 7	6	1,64
	1 : 1 : 6,5	12	1,55
	1 : 1,5 : 6	18	1,56
	1 : 2 : 5,5	24	1,65
	1 : 2,5 : 5	29	1,65
	1 : 3 : 4,5	35	1,60
RCD-M: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,66
	1 : 0,5 : 7	6	1,74
	1 : 1 : 6,5	12	1,79
	1 : 1,5 : 6	18	1,80
	1 : 2 : 5,5	24	1,65
	1 : 2,5 : 5	29	1,65
	1 : 3 : 4,5	35	1,64
AB: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,04
	1 : 0,5 : 7	6	2,15
	1 : 1 : 6,5	12	2,11
	1 : 1,5 : 6	18	1,95
	1 : 2 : 5,5	24	1,98
	1 : 2,5 : 5	29	2,00
	1 : 3 : 4,5	35	2,07

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
AN: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	2,02
	1 : 0,5 : 7	6	2,05
	1 : 1 : 6,5	12	2,07
	1 : 1,5 : 6	18	2,13
	1 : 2 : 5,5	24	1,98
	1 : 2,5 : 5	29	2,09
	1 : 3 : 4,5	35	2,09
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,43
	1 : 0,5 : 7	6	1,50
	1 : 1 : 6,5	12	1,61
	1 : 1,5 : 6	18	1,60
	1 : 2 : 5,5	24	1,62
RCD-M: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,25
	1 : 0,5 : 7	6	1,29
	1 : 1 : 6,5	12	1,36
	1 : 1,5 : 6	18	1,47
	1 : 2 : 5,5	24	1,44
AB: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,56
	1 : 0,5 : 7	6	1,57
	1 : 1 : 6,5	12	1,71
	1 : 1,5 : 6	18	1,74
	1 : 2 : 5,5	24	1,81
AN: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	1,72
	1 : 0,5 : 7	6	1,65
	1 : 1 : 6,5	12	1,69
	1 : 1,5 : 6	18	1,79
	1 : 2 : 5,5	24	1,87
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	1,59
	1 : 0,5 : 4	9	1,66
	1 : 1 : 3,5	18	1,72
	1 : 1,5 : 3	27	1,75
	1 : 2 : 2,5	36	1,78
RCD-M: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	1,53
	1 : 0,5 : 4	9	1,61
	1 : 1 : 3,5	18	1,69
	1 : 1,5 : 3	27	1,68
	1 : 2 : 2,5	36	1,70

Na Figura 53, percebe-se que as argamassas com o agregado natural e o de britagem, possuem massas específicas superiores as argamassas com agregado reciclado. Entretanto, não foi observada nenhuma tendência em relação à massa específica e a quantidade de finos no RCD, AB e AN. A única tendência observada foi para o RCD-M que conforme aumentou a quantidade de fino até 18%, aumentou a massa específica, a partir dessa quantidade começou a reduzir.

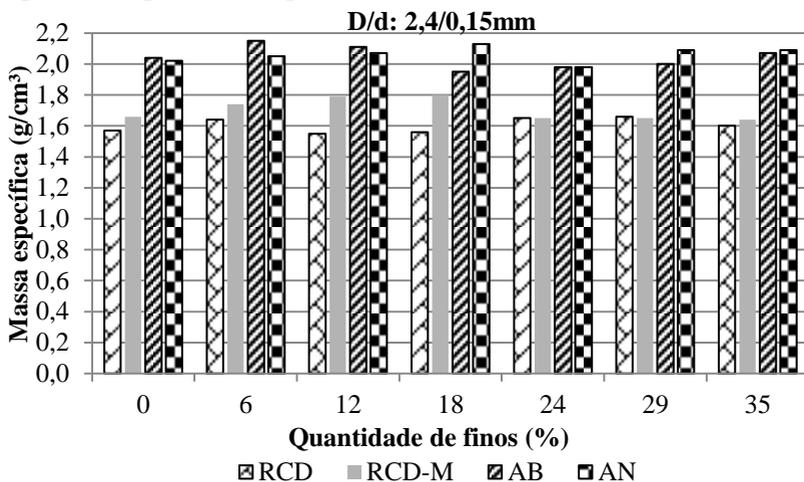


Figura 53: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Verificou-se que houve a tendência da AB aumentar a massa específica com o aumento da quantidade de finos, o mesmo ocorreu com a AN a partir de 6% de finos, para o RCD até 12% e para o RCD-M até 18% de finos (Figura 54).

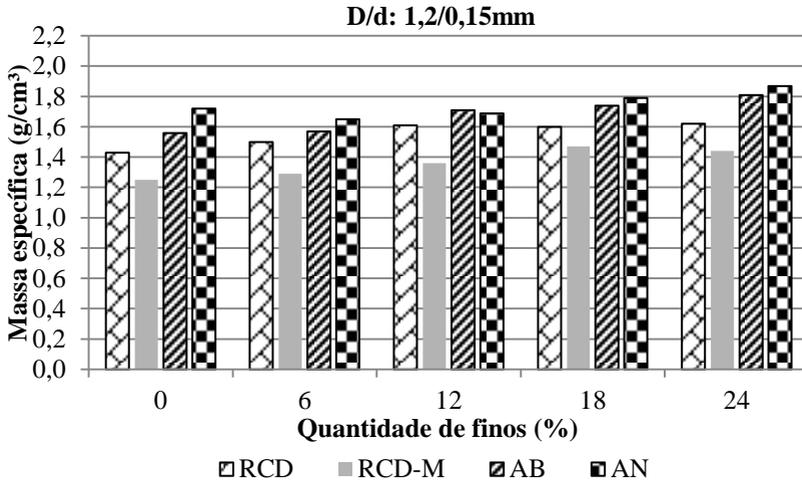


Figura 54: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Na Figura 55 observa-se que, quanto maior a quantidade de fino, maior a massa específica da amostra. A molhagem prévia reduziu a massa específica para todas as adições de finos.

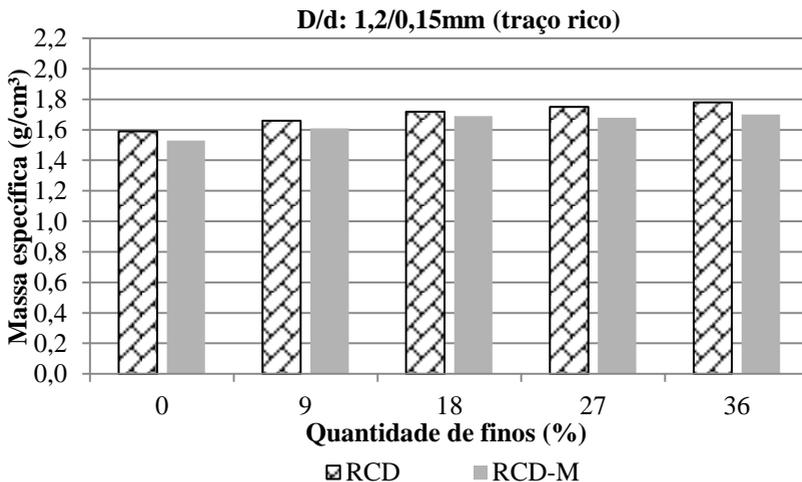


Figura 55: Massa específica em função da quantidade de finos (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico)

#### 4.2.2.5 Absorção de água por imersão e porosidade aberta

Os valores de absorção de água por imersão e porosidade aberta das argamassas estão relacionados na Tabela 28, observa-se que quanto maior a porosidade aberta (poros interligados) maior a absorção. As argamassas com agregados reciclados absorveram maior quantidade de água e conseqüentemente possuem uma maior porosidade aberta, devido a maior porosidade dos agregados (CORINALDESI, 2009).

O aumento da quantidade de fino reduziu a absorção e a porosidade nas argamassas de RCD-M e AN até o traço 1: 1,5: 6; na AB até o traço 1: 1: 6,5, nas argamassas utilizando a curva fina de RCD-M (em todos os traços), na AB e na AN (a partir do traço 1: 0,5: 7) e no RCD e RCD-M do traço rico (até o traço 1: 1: 6,5). Nas outras argamassas não se verificou o mesmo comportamento, ocorre porque a argamassa já não suporta a adição de fino em sua composição, ao invés do fino funcionar como *filler* dificultando a absorção, ele auxilia para o aumento da porosidade das argamassas.

Tabela 28: Absorção de água e porosidade aberta das amostras

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Absorção (%)	Porosidade aberta (%)
RCD: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	31,2	45,9
	1 : 0,5 : 7	6	29,0	43,5
	1 : 1 : 6,5	12	31,3	45,9
	1 : 1,5 : 6	18	33,7	47,8
	1 : 2 : 5,5	24	30,8	45,2
	1 : 2,5 : 5	29	29,0	42,1
	1 : 3 : 4,5	35	29,1	41,5
RCD-M: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	31,6	45,7
	1 : 0,5 : 7	6	24,2	37,5
	1 : 1 : 6,5	12	22,9	35,4
	1 : 1,5 : 6	18	19,6	30,7
	1 : 2 : 5,5	24	29,8	43,3
	1 : 2,5 : 5	29	28,3	41,2
	1 : 3 : 4,5	35	29,0	41,1

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Absorção (%)	Porosidade aberta (%)
AB: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	14,1	27,0
	1 : 0,5 : 7	6	12,8	25,1
	1 : 1 : 6,5	12	12,4	24,5
	1 : 1,5 : 6	18	18,8	32,8
	1 : 2 : 5,5	24	16,6	29,7
	1 : 2,5 : 5	29	15,3	28,1
	1 : 3 : 4,5	35	15,5	28,2
AN: D/d= 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	15,2	28,3
	1 : 0,5 : 7	6	14,2	26,6
	1 : 1 : 6,5	12	13,4	25,6
	1 : 1,5 : 6	18	12,4	24,1
	1 : 2 : 5,5	24	15,1	27,4
	1 : 2,5 : 5	29	13,8	26,5
	1 : 3 : 4,5	35	14,3	27,0
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	38,0	50,0
	1 : 0,5 : 7	6	38,0	50,0
	1 : 1 : 6,5	12	31,4	44,9
	1 : 1,5 : 6	18	32,6	45,5
	1 : 2 : 5,5	24	29,2	42,0
RCD-M: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	49,4	56,6
	1 : 0,5 : 7	6	48,8	56,3
	1 : 1 : 6,5	12	43,5	53,6
	1 : 1,5 : 6	18	40,1	51,5
	1 : 2 : 5,5	24	39,1	50,4
AB: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	33,1	46,6
	1 : 0,5 : 7	6	33,3	46,8
	1 : 1 : 6,5	12	28,2	42,5
	1 : 1,5 : 6	18	25,9	40,4
	1 : 2 : 5,5	24	23,1	37,4
AN: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	26,4	40,7
	1 : 0,5 : 7	6	29,2	43,2
	1 : 1 : 6,5	12	27,7	41,7
	1 : 1,5 : 6	18	25,3	39,3
	1 : 2 : 5,5	24	21,0	34,9

Argamassas / Propriedades		Teor de finos (%)	Absorção (%)	Porosidade aberta (%)
AN: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	26,4	40,7
	1 : 0,5 : 7	6	29,2	43,2
	1 : 1 : 6,5	12	27,7	41,7
	1 : 1,5 : 6	18	25,3	39,3
	1 : 2 : 5,5	24	21,0	34,9
RCD: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	29,9	43,2
	1 : 0,5 : 4	9	29,0	42,2
	1 : 1 : 3,5	18	27,2	40,5
	1 : 1,5 : 3	27	27,2	40,5
	1 : 2 : 2,5	36	28,0	41,5
RCD-M: D/d= 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	34,7	46,5
	1 : 0,5 : 4	9	24,8	35,0
	1 : 1 : 3,5	18	21,6	31,1
	1 : 1,5 : 3	27	23,8	34,3
	1 : 2 : 2,5	36	21,6	31,2

Nas Figuras 56 a 65 estão às curvas da cinética de absorção de água em função do tempo, sendo que as amostras foram pesadas em tempos pré-estabelecidas de 4 h, 8 h, 12 h, 24 h, 48 h e 72 h. Percebe-se que no início tem-se uma rápida absorção e em 8 h à 12 h todas as argamassas tiveram a tendência de se estabilizar.

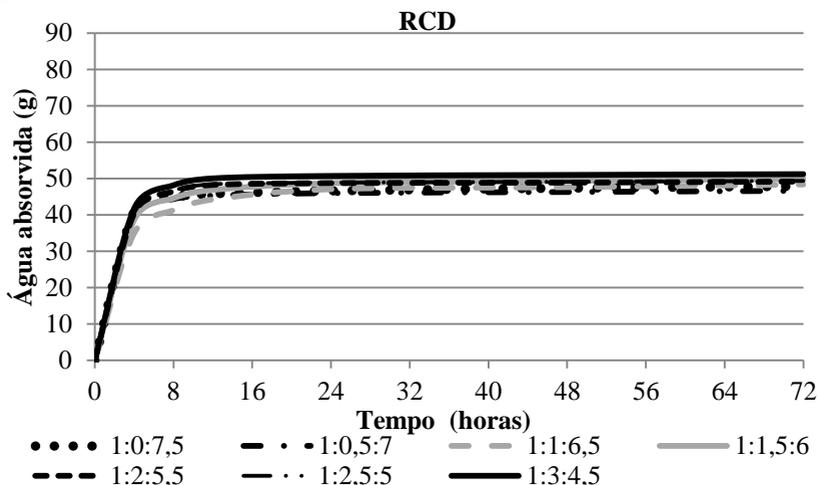


Figura 56: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

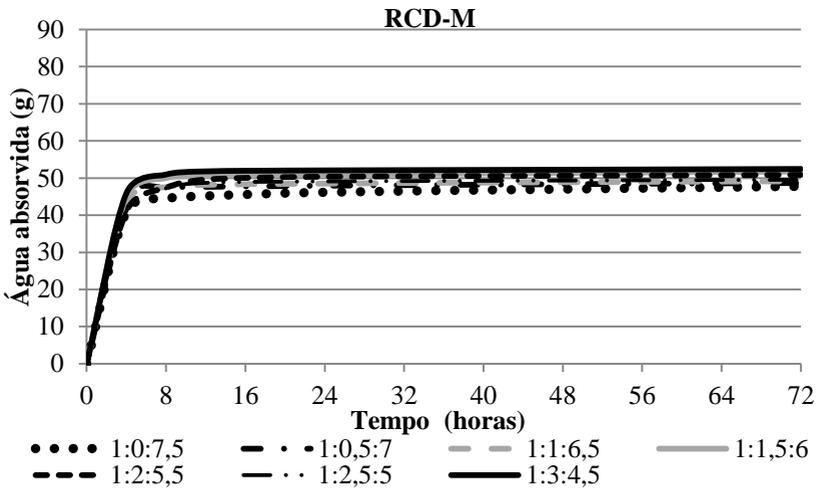


Figura 57: Absorção pelo tempo - RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

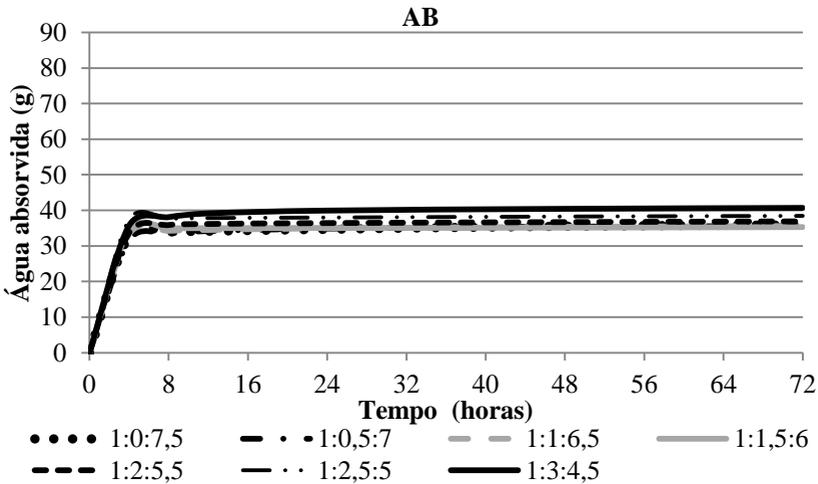


Figura 58: Absorção pelo tempo - AB (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

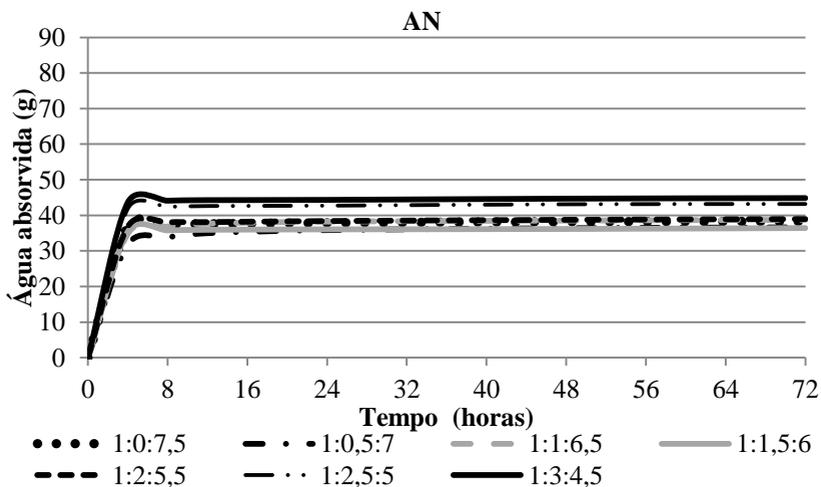


Figura 59: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

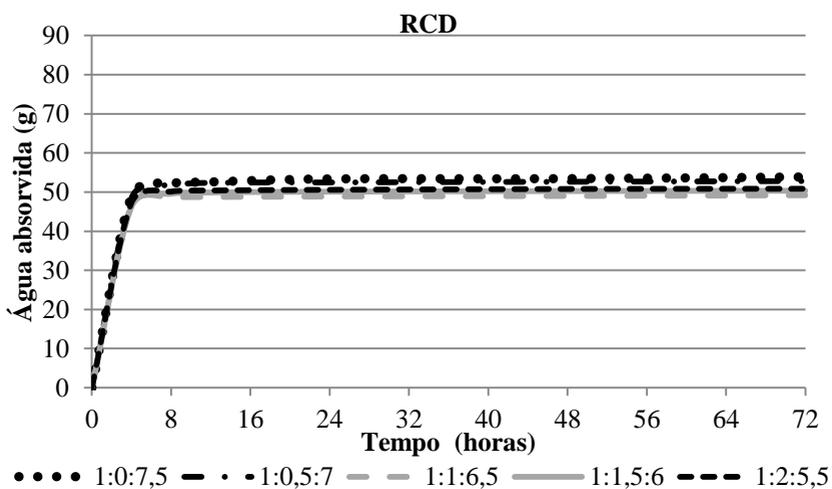
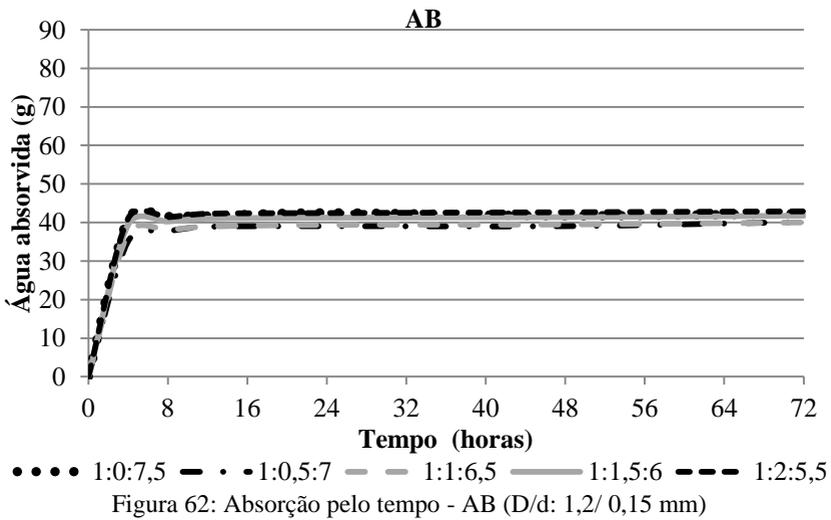
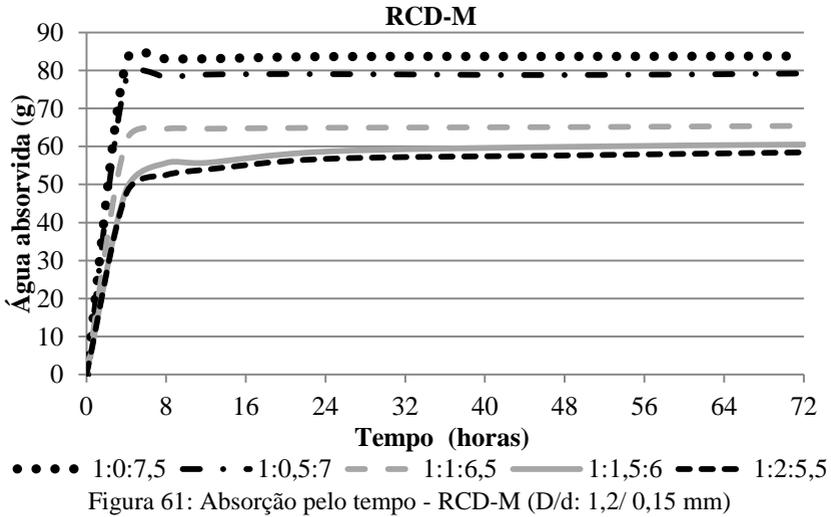
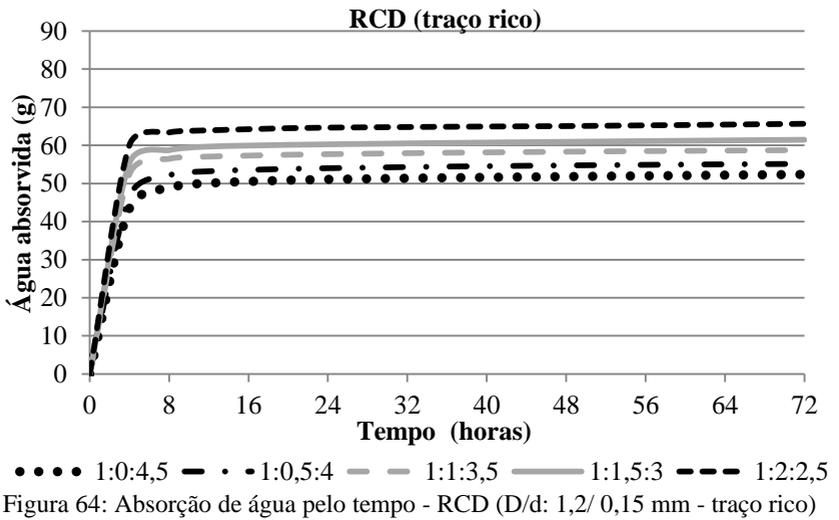
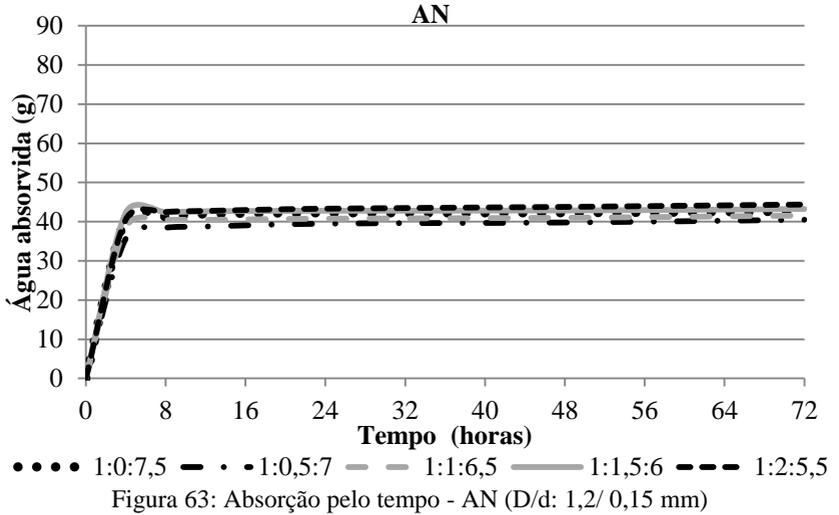
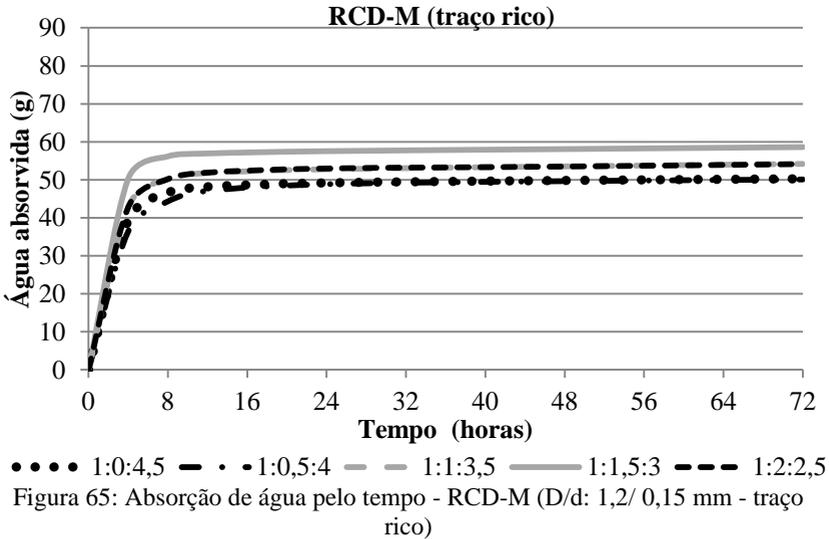


Figura 60: Absorção pelo tempo - RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm)







#### 4.2.2.6 Secagem ao ar

A partir dos dados da pesagem das amostras em tempos pré-definidos até a constância de massa que ocorreu após 480 horas (20 dias) para todas as argamassas, foi calculado e confeccionado os gráficos da quantidade de água e o conteúdo de umidade mássico presente nas diferentes amostras.

As amostras ficaram as primeiras 320 horas em temperatura ambiente (variando de 16° a 23°C) e após esse período foram colocadas em uma sala climatizada com temperatura e umidade relativa controladas de 25±3°C e UR 60±5%.

Nas Figuras 66 a 75 são apresentados o tempo de secagem pela quantidade de água presente nas argamassas após as 72 horas de imersão em água. Como pode ser observado o grau de saturação das argamassas no ponto inicial não é o mesmo, variando no traço e no tipo do agregado utilizado, pois cada argamassa confeccionada variou o seu comportamento perante a absorção de água.

Considerando o grau de saturação das amostras com o agregado reciclado, o traço com maior quantidade de finos apresentou um menor grau de saturação, entretanto, foi à amostra que mais demorou a perder a água do seu interior. Percebe-se neste caso, que a amostra sem fino apresentou uma maior facilidade para a evaporação da água contida em seus poros, isso pode ter acontecido pela maior conectividade dos poros.

As amostras intermediárias (com 6 até 29% de fino) apresentaram uma cinética de secagem semelhante (Figura 66).

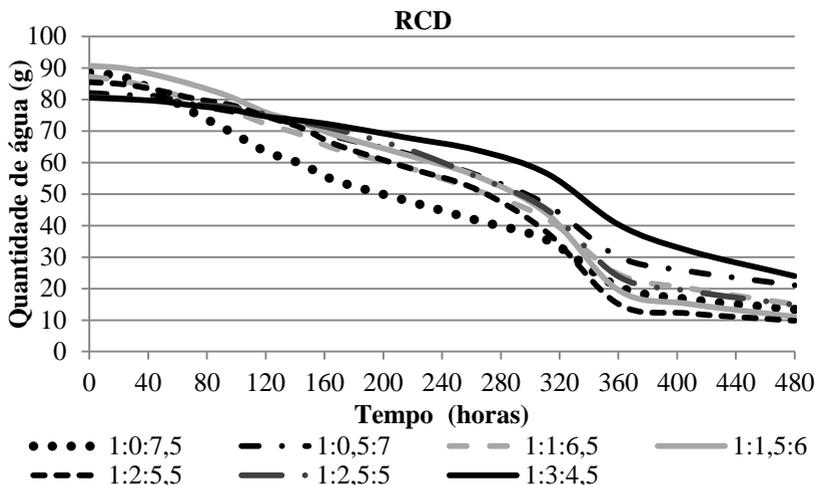


Figura 66: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Ao comparar o RCD com o RCD-M, as argamassas produzidas com o RCD-M apresentaram uma quantidade de água nos poros capilares e no interior dos grãos menores. Porém as amostras com 0 e 24% de fino com os dois materiais obtiveram praticamente a mesma quantidade de água no início do ensaio. Na Figura 67 percebe-se que o grau de saturação máxima das argamassas com o agregado reciclado saturado, previamente variou bastante entre os traços, porém, a cinética de secagem é parecida, sendo que a estabilização da secagem das amostras, os valores ficaram aproximados.

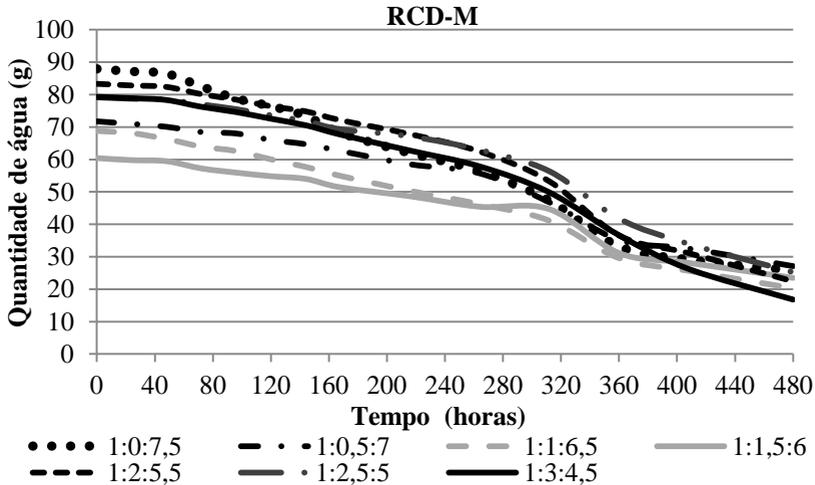


Figura 67: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Na Figura 68, as amostras com o agregado de britagem apresentaram a mesma tendência do RCD-M de variar o grau de saturação inicial. Todavia, o perfil de secagem e o grau de saturação final ficaram próximos. Entre todas as argamassas confeccionadas com a curva granulométrica média (D/d: 2,4/ 0,15 mm), as com agregado de britagem foram as que mais se aproximaram de uma completa perda de água, ou seja, de uma secagem completa. Comparando as argamassas confeccionadas com AB e AN (Figura 68 e 69), as argamassas com o agregado natural apresentam a tendência da quantidade de água no interior das amostras serem semelhantes e o perfil de secagem também, ao contrário do que acontece com as amostras com agregado de britagem que entre 80 e 280 horas possuem a maior distinção entre as curvas, entretanto, a partir de 360 horas a secagem das amostras se tornam parecidas.

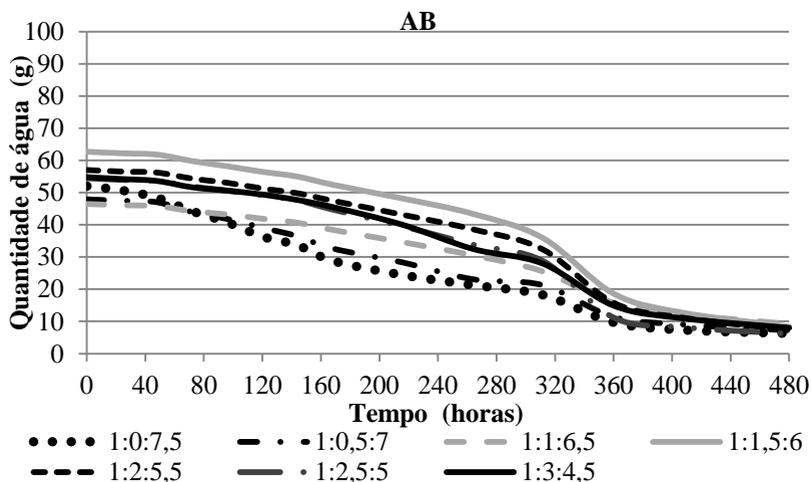


Figura 68: Quantidade de água pelo tempo – AB (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

As amostras com agregado natural, apresentaram o menor grau de saturação máximo das argamassas confeccionadas com a curva granulométrica média. Neste caso, percebe-se que a argamassa com 18% (1: 1,5: 6) de fino obteve o menor grau de saturação inicial e final, sendo considerada a melhor argamassa, pois além de absorver pouca água, perde praticamente toda a água do seu interior, devido à água presente nas argamassas estar em maior quantidade nos seus poros capilares, o que facilita essa perda de água (Figura 69).

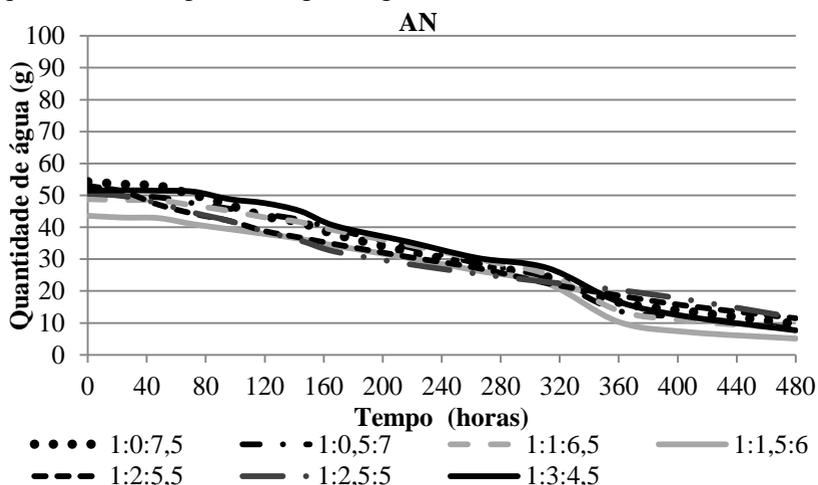


Figura 69: Quantidade de água pelo tempo – AN (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

A cinética de secagem das argamassas com a curva fina (D/d: 1,2/0,15 mm) é apresentado nas Figuras 70 a 62. Verificando a Figura 57, as amostras com 0 e 6 % de fino no início do ensaio obtiveram a maior quantidade de água absorvida, entretanto o perfil de secagem foi distinto, pois o material sem pó perdeu água mais rapidamente devido a conexão dos poros. As argamassas com adição de finos obtiveram uma perda de água gradativa, provavelmente provocada pelo aumento da tortuosidade, o que dificulta a saída de água. Confrontando as curvas de RCD com RCD-M, as amostra sem a molhagem prévia apresentaram os melhores resultados (Figura 70 e 71).

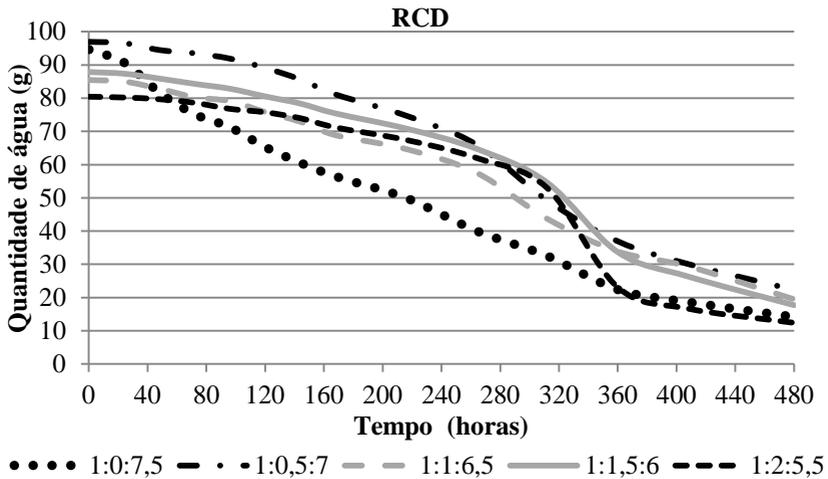


Figura 70: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

As argamassas com RCD-M obtiveram o maior grau de saturação inicial (Figura 71). Até 300 horas as argamassas apresentaram o mesmo perfil de secagem e praticamente a mesma quantidade de água acumulada, passado esse tempo as amostras com 0 e com 24% de fino perderam grande quantidade de água em pouco tempo.

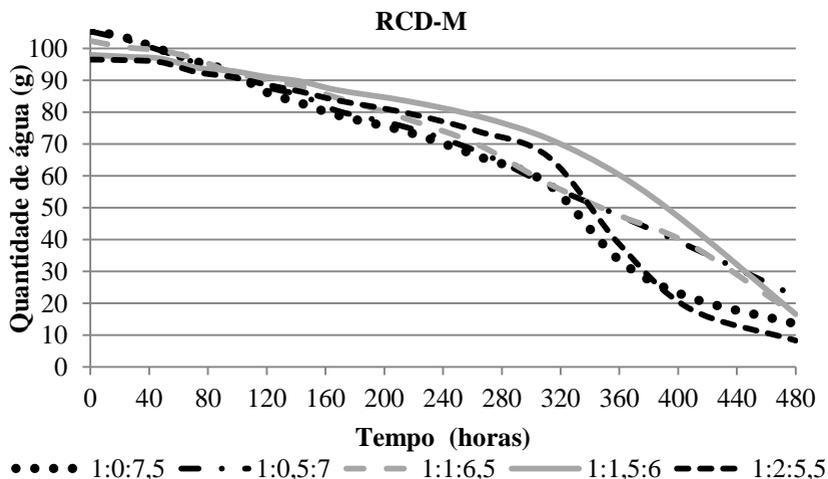


Figura 71: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15mm)

Na Figura 72, as amostras sem fino e com o máximo de fino apresentaram o mesmo perfil de secagem, sendo que no início do ensaio a quantidade de água nas amostras com 0% de fino foi maior, em 400 horas do ensaio a quantidade de água das amostras ficaram iguais. Nas amostras intermediárias observou-se a mesma tendência de secagem.

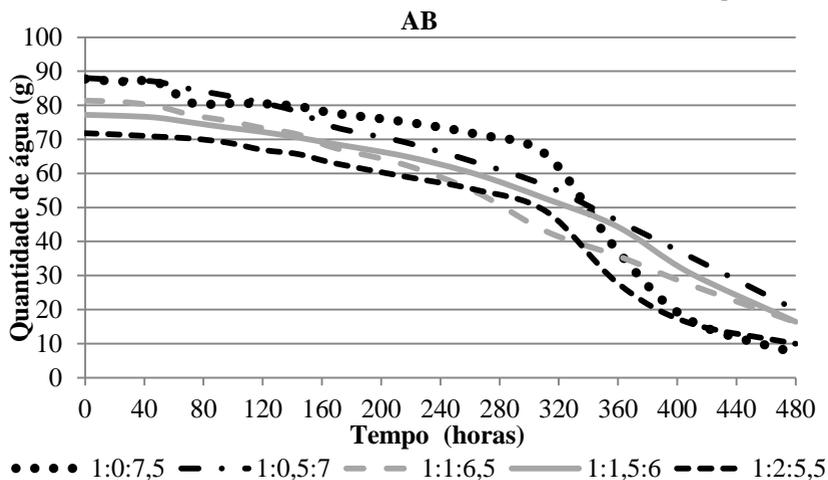


Figura 72: Quantidade de água pelo tempo – AB (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

As argamassas com agregado natural apresentaram um menor grau de saturação máxima, porém o grau de saturação após 480 horas foi o mesmo para a curva de 0% e 24% de fino para o agregado de britagem e o natural. O traço que menos absorveu água no interior dos capilares e dos grãos foi o traço com 24% de fino (1: 2: 5,5) o mesmo para o agregado de britagem e o natural. Essa secagem ocorre devido à quantidade de água dentro dos grãos serem menor, e pelo maior teor de fino, diminuindo a tortuosidade dos poros, facilitando a secagem (Figura 72 e 73). Na Figura 73, as amostras com 6 a 18 % de fino apresentaram praticamente o mesmo grau de saturação inicial e seguiram essa tendência até a estabilização.

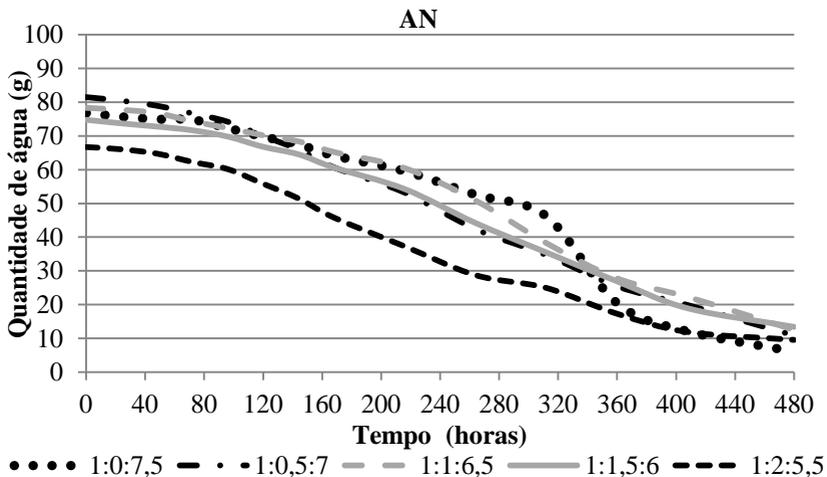


Figura 73: Quantidade de água pelo tempo – AN (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Na Figura 74, percebe-se que a quantidade de água necessária para a saturação das amostras com o agregado reciclado foi semelhante, sendo a que mais absorveu foi à argamassa sem adição de finos. Já, perto da constância de massa das amostras e a amostra sem fino apresentou um comportamento oposto.

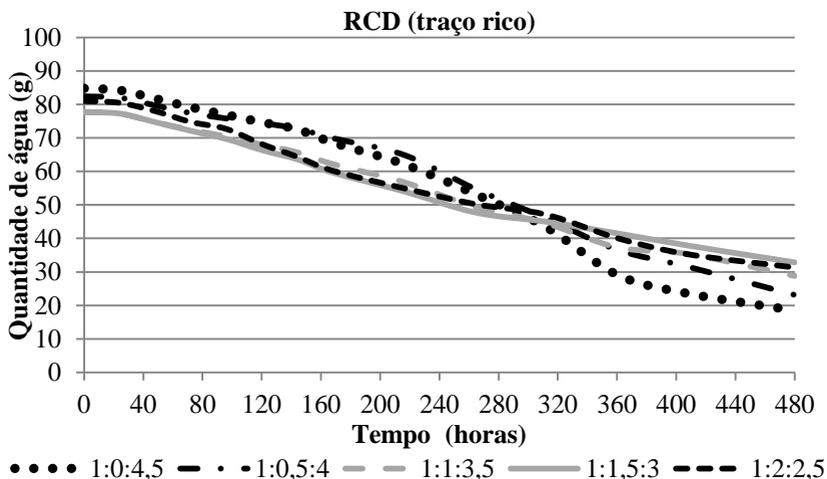


Figura 74: Quantidade de água pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico)

Comparando o RCD e o RCD-M, as amostras com o agregado saturado previamente obtiveram um comportamento melhor perante a secagem ao ar, excetuando a amostra sem adição de fino que apresentou um grau de saturação inicial maior (Figura 74 e 75). Na Figura 75 observa-se que as amostras com adição de finos apresentaram uma menor quantidade de água no seu interior, podendo-se concluir que adição de finos dificultou a comunicação entre os poros. Entretanto, passados 320 horas, a amostra sem finos perde maior quantidade de água que as amostras com finos, isso pode ser explicado, uma vez que o tempo de secagem das argamassas não é função apenas da porosidade e sim da quantidade de água absorvida pelos grãos da amostra.

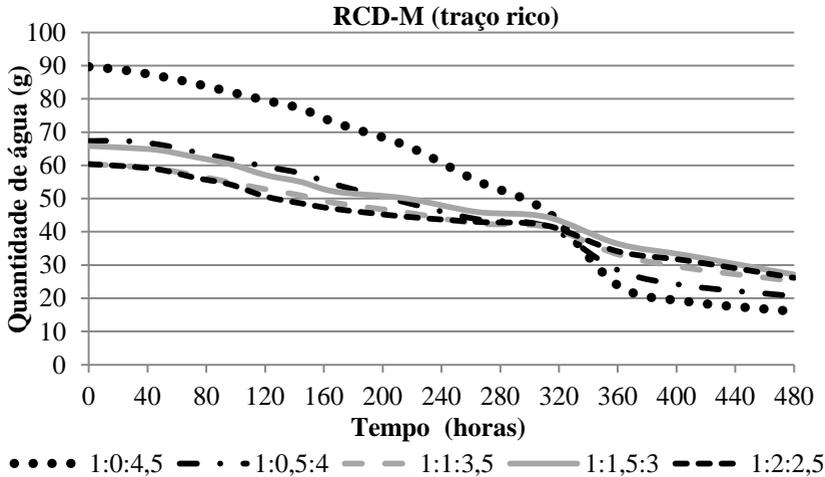


Figura 75: Quantidade de água pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm – traço rico)

No APÊNDICE 3, estão os gráficos do conteúdo de umidade mássico em relação ao tempo das argamassas.

#### 4.2.2.7 Absorção capilar

Na Tabela 29 verificou-se a tendência da molhagem prévia do agregado de reduzir a absorção capilar, tanto na curva média quanto na fina e no traço rico. Na curva fina com o traço pobre a molhagem aumentou a absorção capilar para os traços 1: 0: 7,5; 1: 0,5: 7 e 1: 1: 6,5. A redução da absorção é devido à cura interna das amostras, com o passar do tempo à água contida no interior dos grãos vai sendo liberada e auxilia na hidratação do cimento, resultando em uma permeabilidade e porosidade baixa. Entretanto, o aumento da absorção ocorreu, pois essas argamassas ficaram com elevada porosidade, estando à superfície da amostra com os poros visíveis.

Na curva fina com a adição dos finos reduziu-se a absorção até o traço 1: 1,5: 6, ou seja, até 18% de finos, isso acontece porque os finos adicionados preenchem os vazios que seriam preenchidos com água.

As argamassas com agregado natural e as com de britagem absorveram mais que as argamassas com agregado reciclado, isso não era esperado já que os agregados absorveram menor quantidade de água que o RCD, a relação a/c e a absorção por imersão da AN e da AB foi me-

nor, conclui-se que, a absorção devido à formação de poros interligados nas argamassas.

Tabela 29: Absorção de água por capilaridade das argamassas

Material	Argamassa		Absorção capilar (%)
	Traço	Teor de finos (%)	
RCD: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	4,3
	1 : 0,5 : 7	6	4,6
	1 : 1 : 6,5	12	2,2
	1 : 1,5 : 6	18	6,2
	1 : 2 : 5,5	24	2,6
	1 : 2,5 : 5	29	2,8
	1 : 3 : 4,5	35	2,9
RCD – M: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	3,3
	1 : 0,5 : 7	6	3,0
	1 : 1 : 6,5	12	2,6
	1 : 1,5 : 6	18	2,3
	1 : 2 : 5,5	24	2,6
	1 : 2,5 : 5	29	2,9
	1 : 3 : 4,5	35	3,0
AB: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	6,2
	1 : 0,5 : 7	6	5,9
	1 : 1 : 6,5	12	6,0
	1 : 1,5 : 6	18	3,1
	1 : 2 : 5,5	24	3,1
	1 : 2,5 : 5	29	3,7
	1 : 3 : 4,5	35	4,3
AN: D/d: 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	6,0
	1 : 0,5 : 7	6	6,7
	1 : 1 : 6,5	12	6,6
	1 : 1,5 : 6	18	10,3
	1 : 2 : 5,5	24	3,6
	1 : 2,5 : 5	29	10,0
	1 : 3 : 4,5	35	10,3

Material	Argamassa		Absorção capilar (%)
	Traço	Teor de finos (%)	
RCD: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	5,1
	1 : 0,5 : 7	6	5,2
	1 : 1 : 6,5	12	4,5
	1 : 1,5 : 6	18	4,7
	1 : 2 : 5,5	24	4,8
RCD - M: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	11,2
	1 : 0,5 : 7	6	17,0
	1 : 1 : 6,5	12	5,6
	1 : 1,5 : 6	18	3,3
	1 : 2 : 5,5	24	3,2
AB: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	13,1
	1 : 0,5 : 7	6	9,3
	1 : 1 : 6,5	12	6,9
	1 : 1,5 : 6	18	5,9
	1 : 2 : 5,5	24	6,6
AN: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	7,0
	1 : 0,5 : 7	6	5,7
	1 : 1 : 6,5	12	5,4
	1 : 1,5 : 6	18	5,2
	1 : 2 : 5,5	24	6,8
RCD: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	3,7
	1 : 0,5 : 4	9	3,5
	1 : 1 : 3,5	18	3,6
	1 : 1,5 : 3	27	3,8
	1 : 2 : 2,5	36	4,7
RCD - M: D/d: 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	1,9
	1 : 0,5 : 4	9	1,5
	1 : 1 : 3,5	18	2,0
	1 : 1,5 : 3	27	2,7
	1 : 2 : 2,5	36	1,5

Verificou-se na Figura 76, que a adição de fino reduziu a absorção até o traço 1: 1: 6,5, a partir desse traço aumenta, sendo é o melhor traço, pois foi o melhor valor de absorção e a partir desse valor ocorre a saturação do fino, com o mesmo auxiliando na maior absorção e aumentando a permeabilidade da amostra.

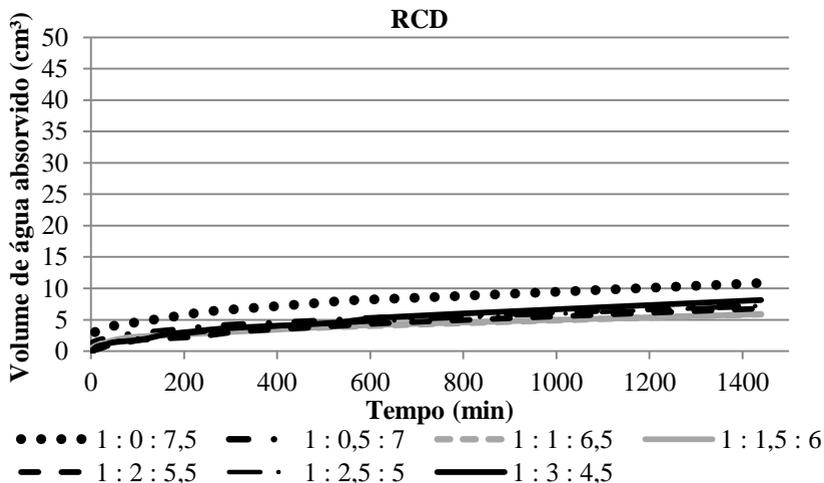


Figura 76: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Na Figura 77, verificou-se que o volume de água absorvido pela amostra diminui com o aumento da quantidade de fino até o traço 1: 2: 5,5 e a partir desse volta a aumentar progressivamente a absorção. Comparando o RCD e o RCD-M percebe-se que o RCD-M absorveu mais água por capilaridade que o RCD, diferente do que ocorreu na absorção por imersão, devido ao tamanho e a distribuição dos poros (Figura 77 e 78).

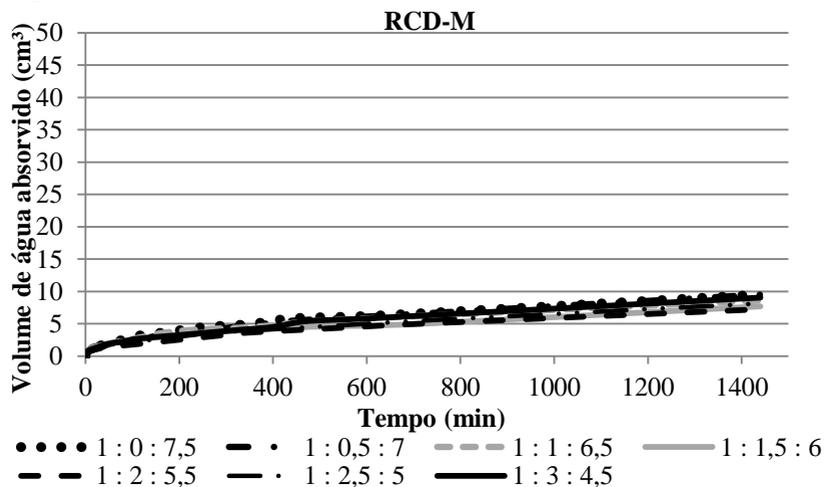


Figura 77: Volume de água absorvido pelo tempo - RCD-M (D/d: 2,4/ 0,15mm)

As amostras de AB até o traço 1: 2: 5,5 reduziu o volume de água absorvido, e ao adicionar mais fino nos traços (1: 2,5: 5 e 1: 3: 4,5) aumentou a absorção (Figura 78).

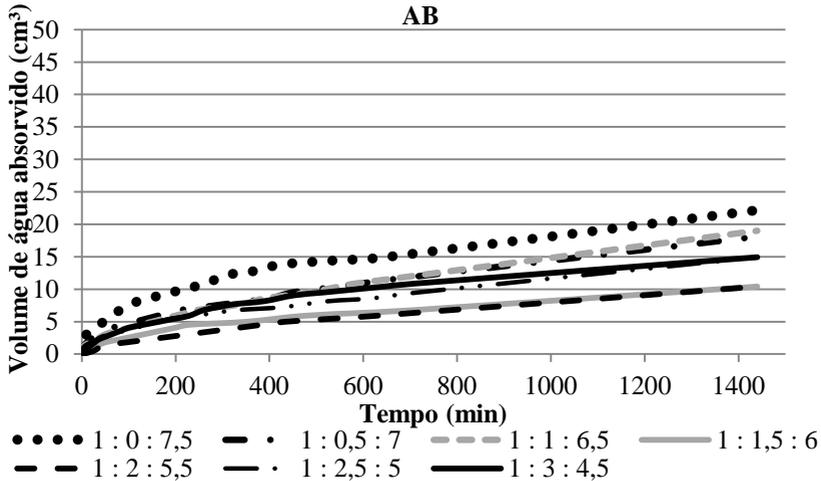


Figura 78: Volume de água absorvido pelo tempo - AB (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Comparando a AB com a AN verificou-se que a AN absorveu mais água em todos os traços, isso já era esperado uma vez que os grãos do agregado natural possuem um maior potencial de absorção (Figuras 78 e 79). As argamassas de AN com os traços de 1: 0: 7,5 até o traço 1: 1: 6,5 obtiveram praticamente a mesma absorção (Figura 79).

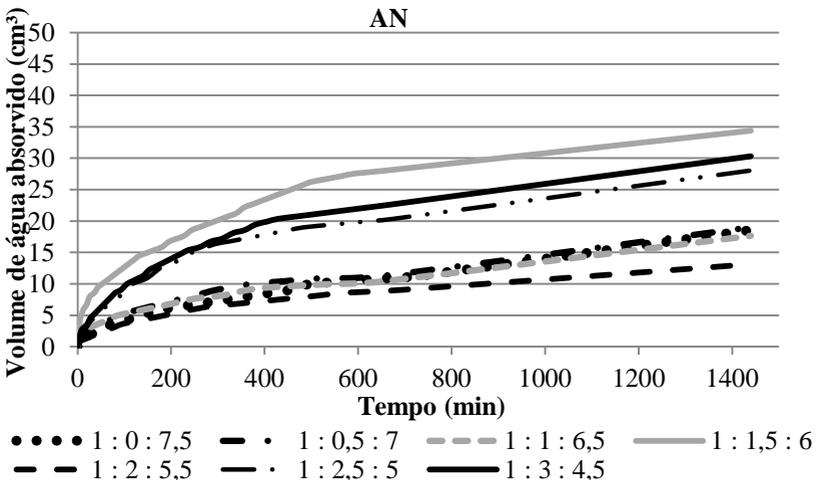


Figura 79: Volume de água absorvido pelo tempo - AN (D/d: 2,4/ 0,15 mm)

Na Figura 80 está disposto o volume de água absorvida em relação ao tempo do agregado reciclado com a curva fina, não se verificou nenhuma tendência nas amostras com a adição dos finos.

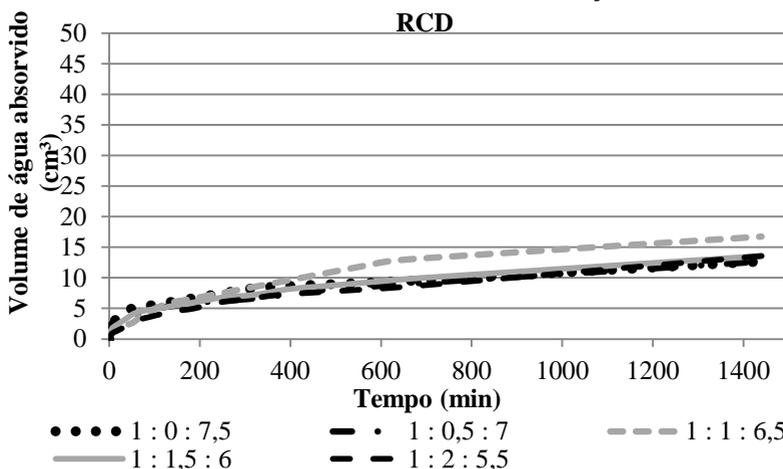


Figura 80: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Na Figura 81, os traços 1: 0: 7,5 e 1: 0,5: 7 absorveram um volume de água muito superior as outras argamassas, pois essas argamassas ficaram porosas e com elevada permeabilidade, o que facilita a entrada de água no seu interior. Comparando o RCD e o RCD-M, os traços 1: 1: 6,5 até o 1: 2: 5,5 do RCD absorveram um maior volume de água (Figura 80 e 81).

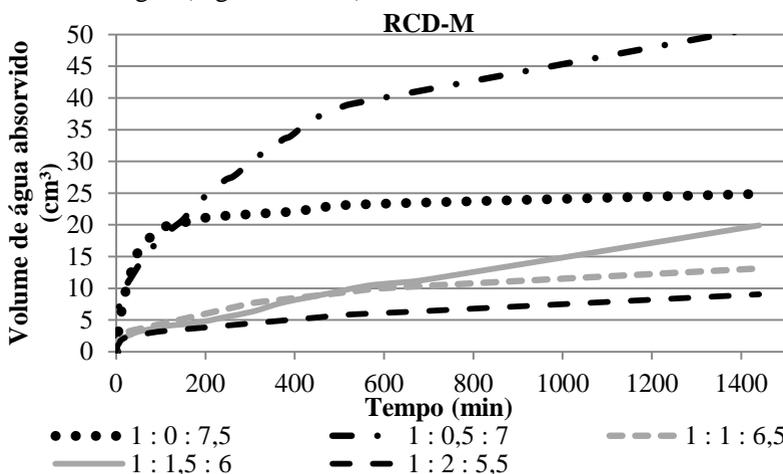


Figura 81: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15mm)

Na Figura 82 e 83 o volume de água absorvido diminui com a incorporação de fino nas argamassas com agregado de britagem e agregado natural, só variando para o traço de 1: 2: 5,5. Ao comparar os traços de AB com AN, observa-se que a AN absorveu um menor volume de água, o que era esperado, em função de apresentar uma menor absorção no ensaio de imersão.

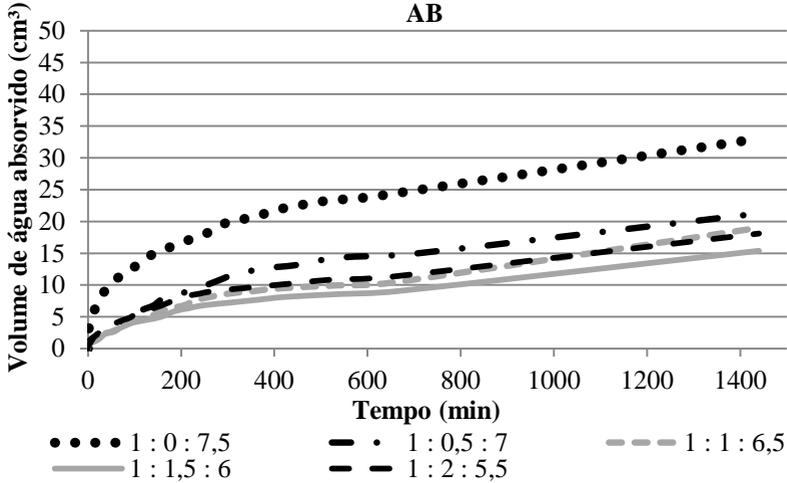


Figura 82: Volume de água absorvido pelo tempo – AB (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

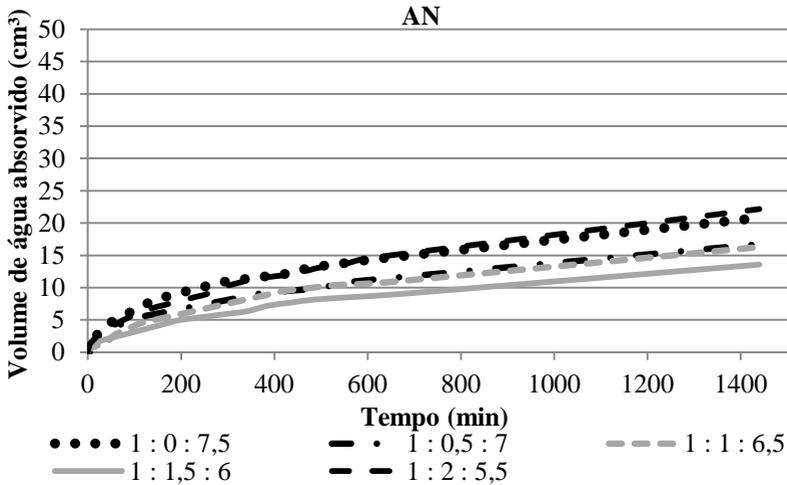


Figura 83: Volume de água absorvido pelo tempo – AN (D/d: 1,2/ 0,15 mm)

Nas Figuras 84 e 85 não foi verificado a tendência a reduzir o volume absorvido em relação à adição de finos nas amostras. Ao comparar o RCD com o RCD-M percebe-se que as amostras produzidas com o agregado saturado previamente reduziram a absorção, devido a uma melhor hidratação do cimento, por meio da cura interna propiciada pela água que aos poucos vai sendo liberada do interior dos grãos.

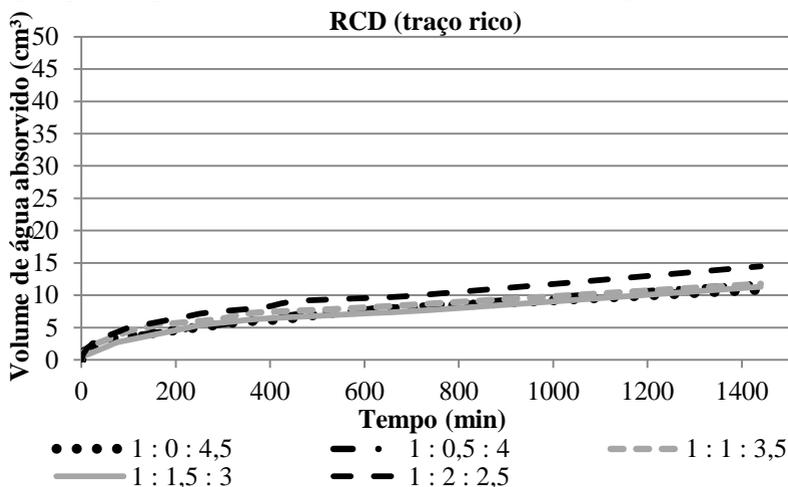


Figura 84: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico)

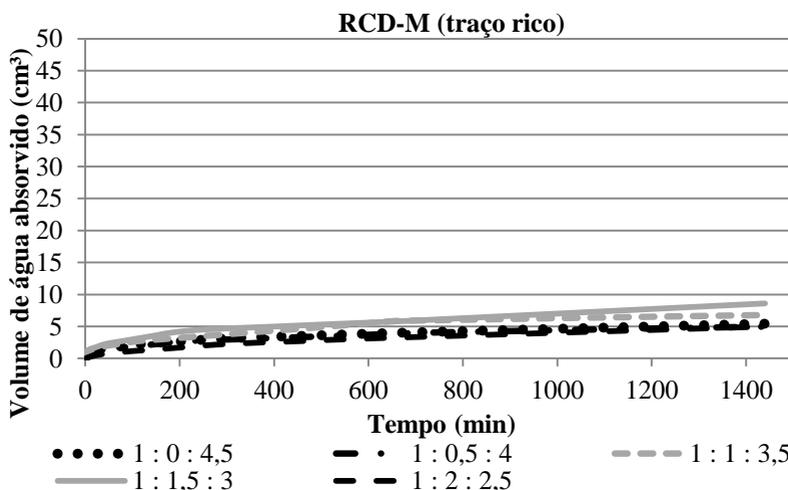


Figura 85: Volume de água absorvido pelo tempo – RCD-M (D/d: 1,2/ 0,15 mm - traço rico)

Os valores de sorptividade são determinados a partir da inclinação da reta, formada pelo volume de líquido absorvido pela área da seção, em função da raiz do tempo (APÊNDICE 4), com os valores de sorptividade a água e a álcool é determinado o ângulo de molhamento das argamassas.

Na Tabela 30, percebe-se que todos os ângulos de molhamento ficaram abaixo de  $90^\circ$  o que significa que as argamassas possuem uma boa molhabilidade (RANDALL, 1996). Quanto menor o ângulo de molhamento mais molhante é o material, ou seja, maior é o potencial de absorção da argamassa.

Tabela 30: Sorptividade e ângulo de molhamento aparente das argamassas.

Argamassa			Sorptividade (cm x min <sup>1/2</sup> )		Ângulo de molhamento		
Mate- rial	Traço	Finos (%)	Água	Álcool	cos $\alpha$	$\alpha$ (rad)	$\alpha$ ( $^\circ$ )
RCD: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,013	0,0365	0,0336	1,5371	88
	1 : 0,5 : 7	6	0,0088	0,0412	0,0121	1,5587	89
	1 : 1 : 6,5	12	0,0071	0,0439	0,0069	1,5639	90
	1 : 1,5 : 6	18	0,0064	0,0250	0,0174	1,5534	89
	1 : 2 : 5,5	24	0,0096	0,0191	0,0670	1,5037	86
	1 : 2,5 : 5	29	0,0095	0,0278	0,0310	1,5398	88
	1 : 3 : 4,5	35	0,0109	0,0390	0,0207	1,5501	89
RCD - M: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0137	0,0258	0,0748	1,4959	86
	1 : 0,5 : 7	6	0,0127	0,0203	0,1038	1,4668	84
	1 : 1 : 6,5	12	0,0133	0,0418	0,0269	1,5439	88
	1 : 1,5 : 6	18	0,0091	0,0223	0,0442	1,5266	87
	1 : 2 : 5,5	24	0,0094	0,0373	0,0168	1,5540	89
	1 : 2,5 : 5	29	0,0098	0,0198	0,0650	1,5058	86
	1 : 3 : 4,5	35	0,0106	0,0465	0,0138	1,5570	89
AB: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0330	0,0488	0,1213	1,4492	83
	1 : 0,5 : 7	6	0,0222	0,0512	0,0499	1,5209	87
	1 : 1 : 6,5	12	0,0189	0,0823	0,0140	1,5568	89
	1 : 1,5 : 6	18	0,0167	0,0467	0,0339	1,5369	88
	1 : 2 : 5,5	24	0,0148	0,0568	0,0180	1,5528	89
	1 : 2,5 : 5	29	0,0185	0,0459	0,0431	1,5277	88
	1 : 3 : 4,5	35	0,0235	0,0425	0,0811	1,4896	85

Argamassa			Sorptividade (cm x min <sup>1/2</sup> )		Ângulo de molhamento		
Mate- rial	Traço	Finos (%)	Água	Álcool	cos $\alpha$	$\alpha$ (rad)	$\alpha$ (°)
AN: D/d 2,4/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0230	0,0661	0,0321	1,5387	88
	1 : 0,5 : 7	6	0,0402	0,0533	0,1509	1,4193	81
	1 : 1 : 6,5	12	0,0212	0,0470	0,0540	1,5168	87
	1 : 1,5 : 6	18	0,0766	0,0595	0,4396	1,1156	64
	1 : 2 : 5,5	24	0,0211	0,0564	0,0371	1,5337	88
	1 : 2,5 : 5	29	0,0481	0,0605	0,1677	1,4023	80
	1 : 3 : 4,5	35	0,0534	0,1006	0,0747	1,4960	86
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0381	0,0549	0,1277	1,4427	83
	1 : 0,5 : 7	6	0,0242	0,0216	0,3329	1,2314	71
	1 : 1 : 6,5	12	0,0183	0,0140	0,4532	1,1005	63
	1 : 1,5 : 6	18	0,0250	0,0196	0,4315	1,1246	64
	1 : 2 : 5,5	24	0,0207	0,0408	0,0683	1,5025	86
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,1360	0,2019	0,1203	1,4502	83
	1 : 0,5 : 7	6	0,1290	0,1414	0,2208	1,3482	77
	1 : 1 : 6,5	12	0,0189	0,0620	0,0246	1,5461	89
	1 : 1,5 : 6	18	0,0148	0,0399	0,0365	1,5343	88
	1 : 2 : 5,5	24	0,0099	0,0344	0,0220	1,5488	89
AB: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0531	0,0697	0,1539	1,4162	81
	1 : 0,5 : 7	6	0,0342	0,0626	0,0792	1,4915	85
	1 : 1 : 6,5	12	0,0260	0,0694	0,0372	1,5336	88
	1 : 1,5 : 6	18	0,0214	0,0552	0,0399	1,5309	88
	1 : 2 : 5,5	24	0,0293	0,0534	0,0799	1,4909	85
AN: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 7,5	0	0,0325	0,0652	0,0659	1,5048	86
	1 : 0,5 : 7	6	0,0231	0,0600	0,0393	1,5315	88
	1 : 1 : 6,5	12	0,0259	0,0581	0,0527	1,5181	87
	1 : 1,5 : 6	18	0,0175	0,0531	0,0288	1,5420	88
	1 : 2 : 5,5	24	0,0291	0,0678	0,0489	1,5219	87
RCD: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	0,0140	0,0467	0,0238	1,5470	89
	1 : 0,5 : 4	9	0,0154	0,0339	0,0547	1,5160	87
	1 : 1 : 3,5	18	0,0211	0,0406	0,0716	1,4991	86
	1 : 1,5 : 3	27	0,0186	0,0419	0,0523	1,5185	87
	1 : 2 : 2,5	36	0,0228	0,0390	0,0907	1,4800	85
RCD - M: D/d 1,2/0,15mm	1 : 0 : 4,5	0	0,0064	0,0403	0,0067	1,5641	90
	1 : 0,5 : 4	9	0,0063	0,0313	0,0107	1,5601	89
	1 : 1 : 3,5	18	0,0098	0,0237	0,0454	1,5254	87
	1 : 1,5 : 3	27	0,0124	0,0301	0,0450	1,5258	87
	1 : 2 : 2,5	36	0,0069	0,0344	0,0107	1,5601	89

Para facilitar a interpretação, os dados da Tabela 30 foram convertidos nas Figuras 86 a 88. Na Figura 86, percebe-se que a molhagem prévia do material reduziu o ângulo de molhamento, entretanto a redução do ângulo de molhamento não é uma característica apreciável, uma vez que quanto menor o ângulo maior a molhagem da argamassa.

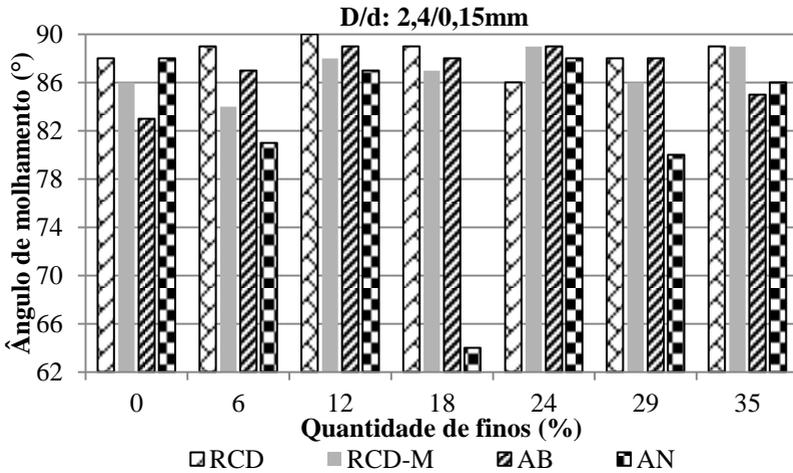


Figura 86: Ângulo de molhamento

Pela Figura 87 percebe-se que o RCD seco previamente, quando apresenta em sua composição 6, 12 e 18% de fino, os valores de ângulo de molhamento são inferiores às demais amostras, como era esperado por se tratar de um resíduo composto de argamassas, blocos cerâmicos, entre outros.

As argamassas com 12 e 18% de fino de RCD, AB e AN, apresentam valores semelhantes, portanto com essa composição o molhamento das amostras é praticamente o mesmo.

Ao comparar as argamassas produzidas com o mesmo material alterando apenas a curva granulométrica, verifica-se que para o RCD molhado, AB e AN os ângulos de molhamento são praticamente os mesmos, variando apenas na argamassa AN com 18% fino, onde se encontra um ângulo inferior das demais amostras. Nas argamassas RCD seco previamente, os ângulos da curva D/d: 2,4/ 0,15 mm são superiores, apresentando menor molhabilidade.

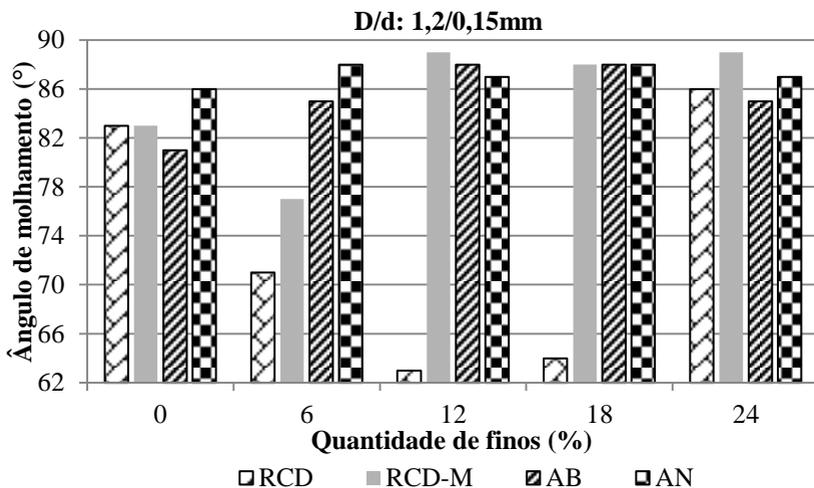


Figura 87: Ângulo de molhamento

Quando comparados os traços mais ricos de RCD (Figura 88), percebe-se que as amostras molhadas previamente apresentam ângulos de molhamento superiores ao RCD seco previamente, neste caso, quando o agregado miúdo foi saturado antes do preparo das argamassas reduziu o potencial de absorção das amostras, porém, quando se trata das argamassas de RCD com a curva D/d: 2,4/ 0,15 mm essa tendência à redução do potencial de absorção não foi constatada.

Quando comparamos o traço de RCD D/d: 1,2/ 0,15 mm o traço rico e o pobre percebe-se que, quase em sua totalidade, o traço rico apresenta ângulos de molhamento superior, a não ser no traço pobre com o agregado molhado previamente com 12, 18 e 24% que ocorreu o inverso (Figura 87 e 88).

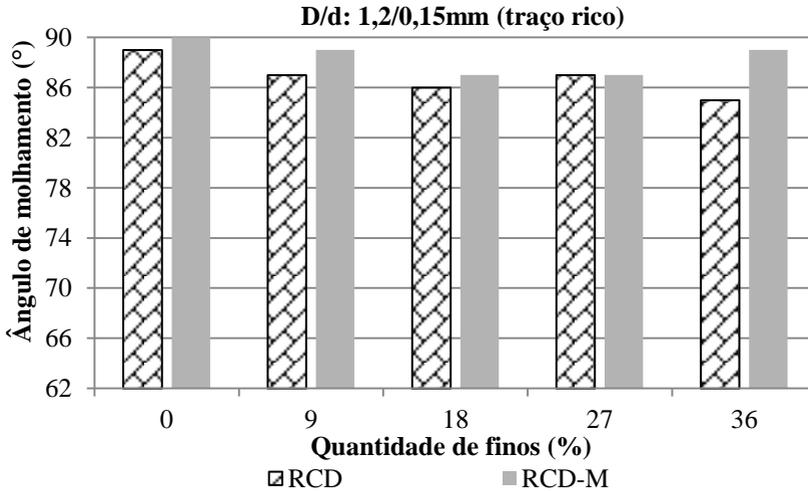


Figura 88: Ângulo de molhamento pela quantidade de finos

#### 4.2.2.8 Isotermas de adsorção

Para o ensaio de isoterma de adsorção, determinou-se dois traços, o 1: 0: 7,5 e o 1: 2: 5,5, pois esses traços eram presentes tanto na curva média como na fina. Sendo assim, poderia analisar o comportamento das argamassas sem a utilização dos finos e com o máximo de finos, no caso da curva fina. Para tanto, as amostras foram pesadas em tempos pré-estabelecidos, por meio destes valores foi determinado o conteúdo de umidade mássico para cada umidade relativa. Nas Tabelas 31 e 32 estão os valores referentes ao equilíbrio do material.

Tabela 31: Valores experimentais utilizados no ajuste das isotermas, com a curva granulométrica média.

D/d: 2,4/ 0,15mm	RCD 1:0:7,5	RCD 1:2:5,5	RCD-M 1:0:7,5	RCD-M 1:2:5,5
UR (%)	Conteúdo de umidade mássico (%)			
6	0,554	0,592	0,046	0,688
20	0,761	0,721	0,702	0,779
31	0,899	1,955	0,730	1,248
47	1,043	2,024	0,881	1,344
65	2,202	2,384	2,906	1,734
76	2,954	2,684	3,259	1,713
96	4,169	3,354	4,640	2,354

<b>D/d: 2,4/ 0,15mm</b>	<b>AB 1:0:7,5</b>	<b>AB 1:2:5,5</b>	<b>AN 1:0:7,5</b>	<b>AN 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	0,354	0,818	0,653	0,416
<b>20</b>	0,589	0,944	0,804	0,853
<b>31</b>	0,687	1,481	0,819	1,118
<b>47</b>	0,786	2,354	0,966	0,995
<b>65</b>	1,181	2,525	1,038	1,075
<b>76</b>	1,486	2,828	1,219	1,202
<b>96</b>	1,951	3,397	1,526	1,658

Tabela 32: Valores experimentais utilizados no ajuste das isotermas, com a curva granulométrica fina.

<b>D/d: 1,2/ 0,15mm</b>	<b>RCD 1:0:7,5</b>	<b>RCD 1:2:5,5</b>	<b>RCD-M 1:0:7,5</b>	<b>RCD-M 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	0,524	1,169	0,653	0,251
<b>20</b>	1,274	1,264	0,858	0,735
<b>31</b>	1,724	1,101	0,813	0,789
<b>47</b>	1,946	1,116	1,120	0,969
<b>65</b>	1,969	2,569	1,452	0,950
<b>76</b>	2,208	2,951	1,996	1,111
<b>96</b>	2,577	4,124	2,351	1,536
<b>D/d: 1,2/ 0,15mm</b>	<b>AB 1:0:7,5</b>	<b>AB 1:2:5,5</b>	<b>AN 1:0:7,5</b>	<b>AN 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	0,750	0,114	1,001	0,424
<b>20</b>	0,875	0,237	1,952	0,726
<b>31</b>	1,106	0,765	1,495	0,801
<b>47</b>	1,180	1,239	2,100	1,255
<b>65</b>	1,259	2,469	3,422	1,658
<b>76</b>	1,302	3,829	3,705	1,957
<b>96</b>	1,453	4,985	4,105	2,359

As isotermas de adsorção foram desenvolvidas a partir do ajuste do conteúdo de umidade mássico utilizando o modelo matemático de GAB. Na Tabela 33 pode-se observar os coeficientes do modelo GAB, obtidos por meio de um programa computacional de regressão não linear. Analisando a Tabela 33, percebe-se que apenas 6 amostras apresentam uma boa correlação ( $r^2$ ) dos dados experimentais com o modelo, ou seja, obtiveram coeficientes maiores que 0,9. As correlações ficaram

abaixo de 0,8 para a AN (curva média, traço 1: 2: 5,5) e para o RCD (curva fina, traço 1: 0: 7,5).

Tabela 33: Coeficientes do modelo GAB.

	Traço	Amostra	Xm	C	K	R <sup>2</sup>
D/d: 2,4/0,15mm	1: 0: 7,5	RCD	$0,852 \times 10^{-2}$	$0,340 \times 10^{16}$	0,836	0,930
	1: 2: 5,5		$0,990 \times 10^{-2}$	$0,463 \times 10^{16}$	0,750	0,891
	1: 0: 7,5	RCD-M	$0,962 \times 10^{-2}$	$0,389 \times 10^{16}$	0,835	0,871
	1: 2: 5,5		$0,841 \times 10^{-2}$	$0,312 \times 10^{16}$	0,685	0,934
	1: 0: 7,5	AB	$0,541 \times 10^{-2}$	$0,137 \times 10^{15}$	0,763	0,947
	1: 2: 5,5		$0,123 \times 10^{-1}$	$0,378 \times 10^{14}$	0,684	0,847
	1: 0: 7,5	AN	$0,673 \times 10^{-2}$	$0,170 \times 10^{15}$	0,583	0,985
	1: 2: 5,5		$0,680 \times 10^{-2}$	$0,173 \times 10^{16}$	0,611	0,831
D/d: 1,2/0,15mm	1: 0: 7,5	RCD	$0,116 \times 10^{-1}$	$0,202 \times 10^{15}$	0,595	0,750
	1: 2: 5,5		$0,120 \times 10^{-2}$	$0,288 \times 10^{14}$	0,743	0,972
	1: 0: 7,5	RCD-M	$0,753 \times 10^{-2}$	$0,243 \times 10^{14}$	0,723	0,937
	1: 2: 5,5		$0,553 \times 10^{-2}$	$0,735 \times 10^{14}$	0,669	0,836
	1: 0: 7,5	AB	$0,866 \times 10^{-2}$	$1,100 \times 10^{14}$	0,441	0,871
	1: 2: 5,5		0,632	0,033	0,578	0,935
	1: 0: 7,5	AN	$0,141 \times 10^{-2}$	$0,612 \times 10^{14}$	0,712	0,840
	1: 2: 5,5		$0,746 \times 10^{-2}$	$0,246 \times 10^{14}$	0,731	0,896

Nota: Xm= conteúdo de umidade na monocamada molecular ( $\text{kg H}_2\text{O} \cdot (\text{kg}^{-1} \text{ s\acute{o}lido seco})$ ). C= constante de GAB, relacionada ao calor de sorção da camada molecular de água. K= constante relacionada ao calor de sorção das múltiplas camadas, acima da monocamada de água nas isotermas de GAB.

O programa computacional ajustou os valores encontrados no ensaio experimental para a melhor curva de isoterma que possa ser traçada (Tabela 34 e 35).

Tabela 34: Valores ajustados pelo método de GAB, para a curva granulométrica média.

D/d: 2,4/ 0,15mm	RCD 1:0:7,5	RCD 1:2:5,5	RCD-M 1:0:7,5	RCD-M 1:2:5,5
UR (%)	Conteúdo de umidade mássico (%)			
6	0,897	1,037	1,013	0,877
20	1,023	1,165	1,156	0,975
31	1,150	1,291	1,299	1,068
47	1,404	1,531	1,585	1,241
65	1,867	1,936	2,107	1,518
76	2,339	2,309	2,637	1,757
96	4,325	3,553	4,864	2,463

<b>D/d: 2,4/ 0,15mm</b>	<b>AB 1:0:7,5</b>	<b>AB 1:2:5,5</b>	<b>AN 1:0:7,5</b>	<b>AN 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	0,568	1,293	0,0070	0,707
<b>20</b>	0,639	1,437	0,0076	0,776
<b>31</b>	0,710	1,574	0,0082	0,840
<b>47</b>	0,845	1,828	0,0093	0,955
<b>65</b>	1,075	2,234	0,0108	1,130
<b>76</b>	1,290	2,584	0,0121	1,272
<b>96</b>	2,027	3,615	0,0153	1,648

Tabela 35: Valores ajustados pelo método de GAB, para a curva granulométrica fina.

<b>D/d: 1,2/ 0,15mm</b>	<b>RCD 1:0:7,5</b>	<b>RCD 1:2:5,5</b>	<b>RCD-M 1:0:7,5</b>	<b>RCD-M 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	1,207	1,265	0,787	0,577
<b>20</b>	1,321	1,420	0,881	0,639
<b>31</b>	1,428	1,570	0,971	0,699
<b>47</b>	1,616	1,858	1,141	0,808
<b>65</b>	1,899	2,338	1,422	0,981
<b>76</b>	2,126	2,778	1,673	1,128
<b>96</b>	2,717	4,220	2,464	1,552
<b>D/d: 1,2/ 0,15mm</b>	<b>AB 1:0:7,5</b>	<b>AB 1:2:5,5</b>	<b>AN 1:0:7,5</b>	<b>AN 1:2:5,5</b>
<b>UR (%)</b>	<b>Conteúdo de umidade mássico (%)</b>			
<b>6</b>	0,888	0,949	1,482	0,781
<b>20</b>	0,948	1,088	1,654	0,875
<b>31</b>	1,001	1,229	1,820	0,966
<b>47</b>	1,091	1,514	2,132	1,138
<b>65</b>	1,212	2,049	2,641	1,424
<b>76</b>	1,301	2,615	3,092	1,682
<b>96</b>	1,501	5,244	4,486	2,509

Da Figura 89 até a Figura 96, estão apresentados os dados do ensaio experimental e as curvas geradas com os valores ajustados pelo método de GAB, podendo ser observado o comportamento das diferentes argamassas com a variação da curva granulométrica, em diferentes umidades relativas. De um modo geral, pode ser observado o formato e a quantidade de água que as argamassas absorvem com cada material e em cada umidade relativa.

Na Figura 89, verifica-se que os dois traços das argamassas com RCD a absorção seguiu-se praticamente iguais até a umidade relativa de 76%. Aumentando a umidade relativa, a absorção variou 8%. A maior absorção ocorre no traço sem adição de finos, isso ocorre porque no traço com fino, funciona como *filler* preenchendo os poros que seriam ocupados com água.

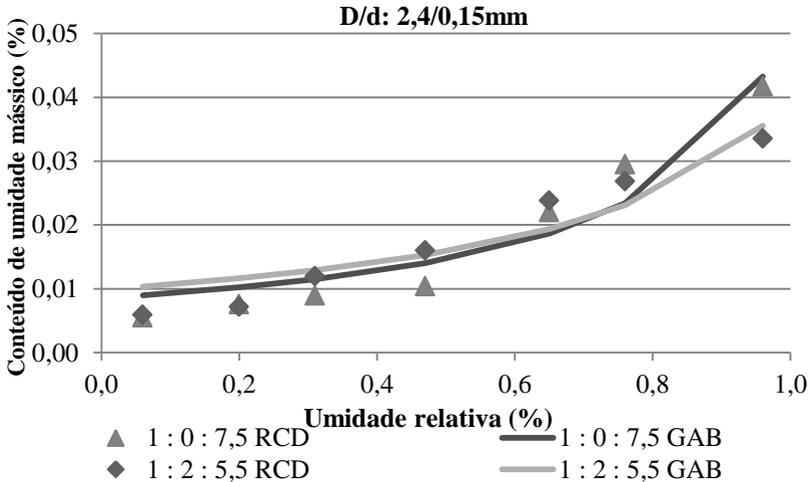


Figura 89: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado com a curva granulométrica média.

Ao comparar as argamassas produzidas com RCD-M com o RCD, percebe-se que o traço com adição de fino reduziu a absorção quando ocorreu à molhagem prévia, enquanto no traço sem fino a molhagem aumentou a absorção. Na Figura 90, o traço sem fino absorveu mais em todas as umidades relativas, com uma diferença de 24% entre os traços em uma umidade de 96%, devido a maior permeabilidade dos poros.

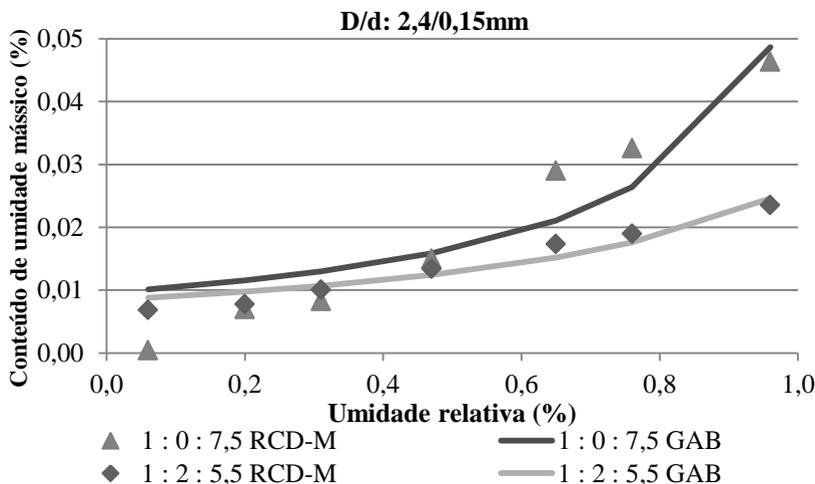


Figura 90: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado saturado previamente com a curva granulométrica média.

Ao contrário das outras curvas de isotermas de adsorção, as curvas com o agregado de britagem com adição de fino obteve maior potencial de absorção em todas as umidades relativas, isso pode ser explicado pelo excesso de fino na amostra, que contribui para a continuidade dos poros (Figura 91).

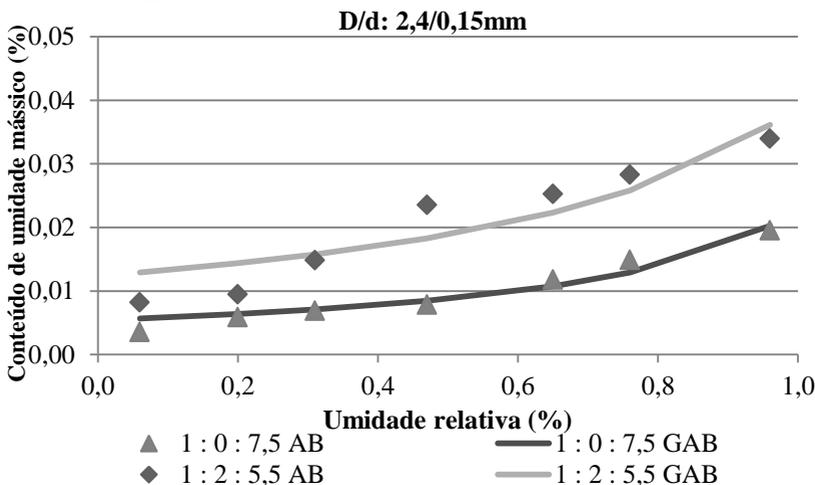


Figura 91: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado de britagem com a curva granulométrica média.

Na Figura 92, verifica-se que a adição de fino não influenciou nas isotermas de adsorção das argamassas com areia natural, pois os dois traços seguiram a mesma tendência de absorção. Comparando todas as curvas de isotermas com a curva granulométrica média, percebe-se que as argamassas produzidas com agregado natural absorveram menor volume de água.

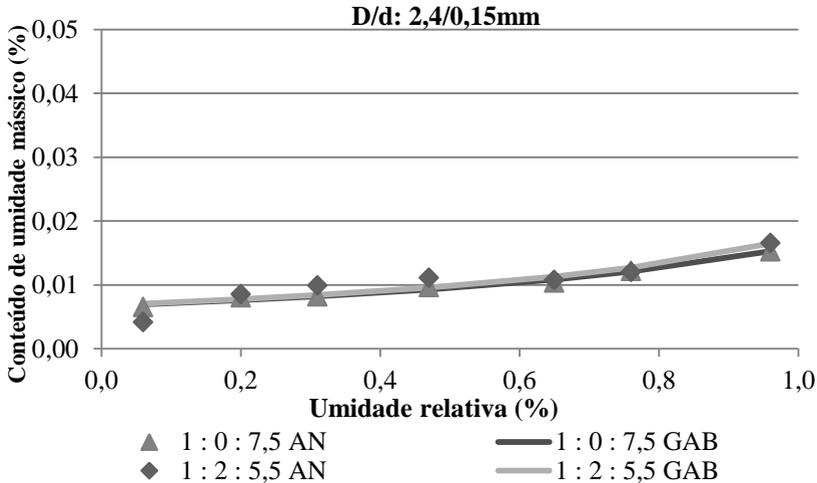


Figura 92: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado natural com a curva granulométrica média.

Da Figura 93 até a 96, estão dispostas as curvas de isotermas com a curva granulométrica fina. Com o agregado reciclado percebe-se a tendência das argamassas se distanciarem gradualmente, a argamassa com a adição de fino absorveu mais em todas as umidades, com maior potencial em 96% de umidade relativa (Figura 93).

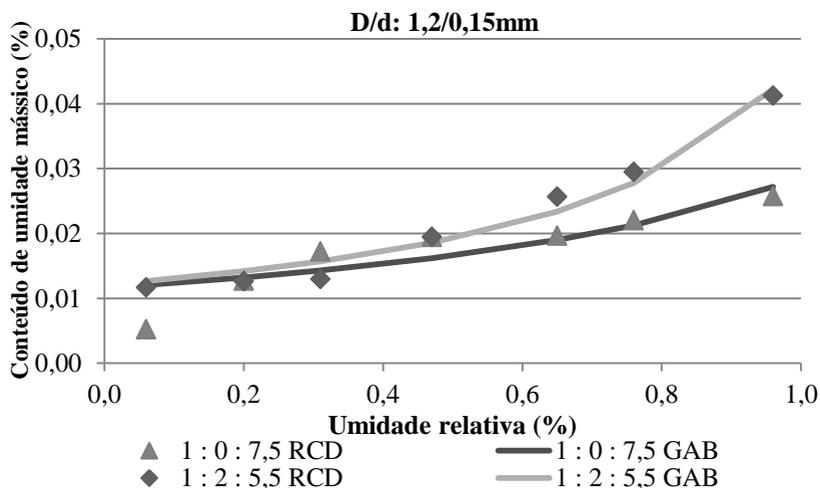


Figura 93: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado com a curva granulométrica fina.

A molhagem prévia do agregado reciclado melhorou as curvas de isotermas das argamassas, sendo mais eficiente quando se deseja diminuir a quantidade de água absorvida pelos poros das argamassas. Sendo que, a adição de finos reduziu a absorção (Figura 94).

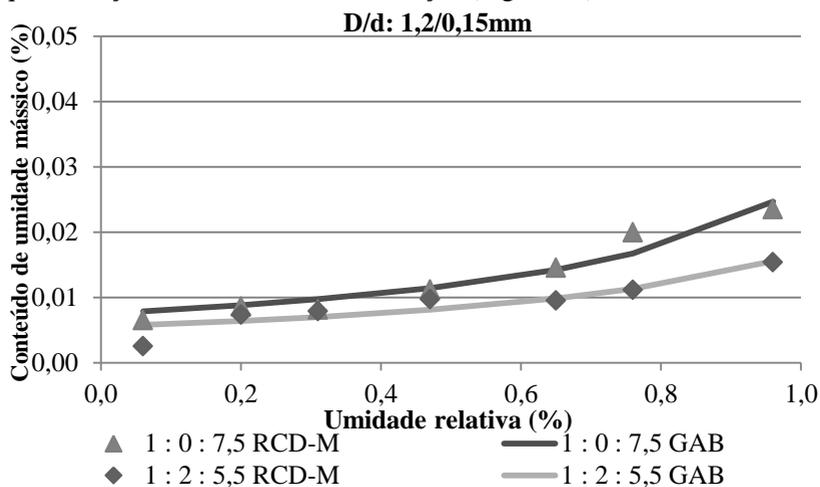


Figura 94: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado reciclado saturado previamente com a curva granulométrica fina.

Em todas as amostras, a que obteve maior absorção foi à argamassa com adição de fino e agregado de britagem. As amostras com 6% de umidade apresentaram o mesmo potencial de absorção. No traço sem fino, apresentou pouca variação de absorção nas diferentes umidades relativas (Figura 95).

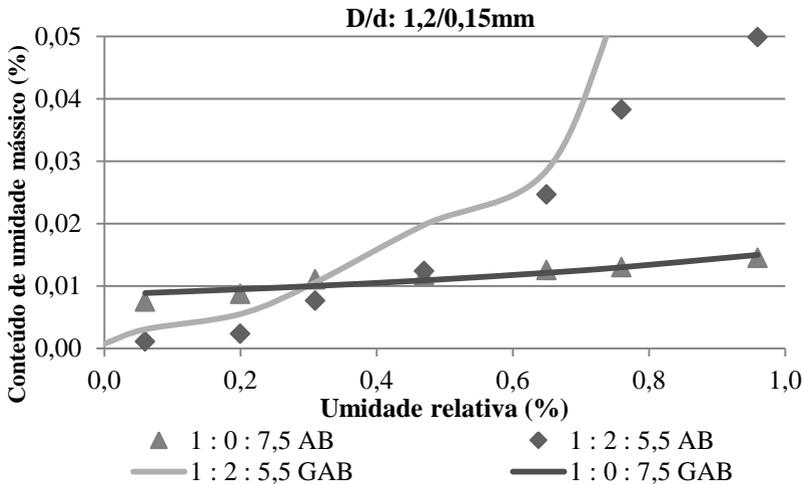


Figura 95: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado de britagem com a curva granulométrica fina.

Comparando o agregado de britagem com o agregado natural, analisa-se que o traço sem fino do agregado de britagem obteve menor potencial de absorção em todas as umidades relativas, devido a menor absorção dos grãos do material. Como o fino adicionado nessas argamassas foi de agregado de britagem, então a maior absorção das amostras com agregado de britagem, deve-se pela distribuição e continuidade dos poros, que faz com que a argamassa possua uma maior permeabilidade ao vapor de água. Observa-se na Figura 96 que o traço sem fino absorveu maior quantidade de água.

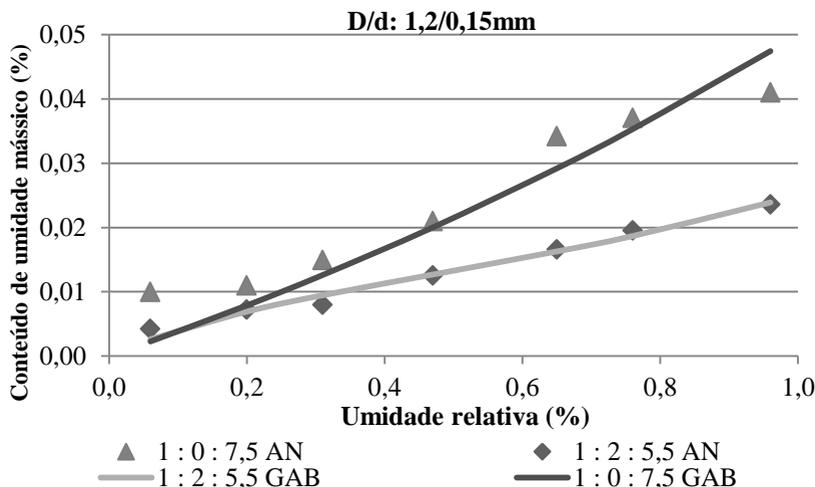


Figura 96: Isotermas de adsorção das argamassas produzidas com agregado natural com a curva granulométrica fina.

#### 4.2.2.9 Permeabilidade ao vapor

As Figuras 97 e 98 mostram as curvas da evolução do fluxo de vapor nas amostras com a curva granulométrica média e a curva granulométrica fina, respectivamente. Essa evolução do fluxo de vapor ocorre pela migração da umidade pelos poros do material poroso, devido a diferença de pressão e umidade relativa dentro da câmara e do porta amostra, tendo como única fronteira permeável os poros da argamassa.

No início do experimento as argamassas apresentam uma maior massa acumulada, isso pode ser atribuído, por que no início do ensaio elas estão secas em estufa, logo, essa maior massa acumulada não está relacionada apenas com a migração de vapor através da amostra, e sim com a migração e a condensação de umidade nos poros do material. Pode-se notar também, que com o passar do tempo o fluxo de umidade tende a se estabilizar, pode-se dizer que esse é o máximo da migração de vapor, pois a partir deste ponto o valor varia muito pouco. Quando isso ocorre tem-se o valor do fluxo de umidade, que a partir desse valor consegue-se calcular a permeabilidade ao vapor do meio poroso.

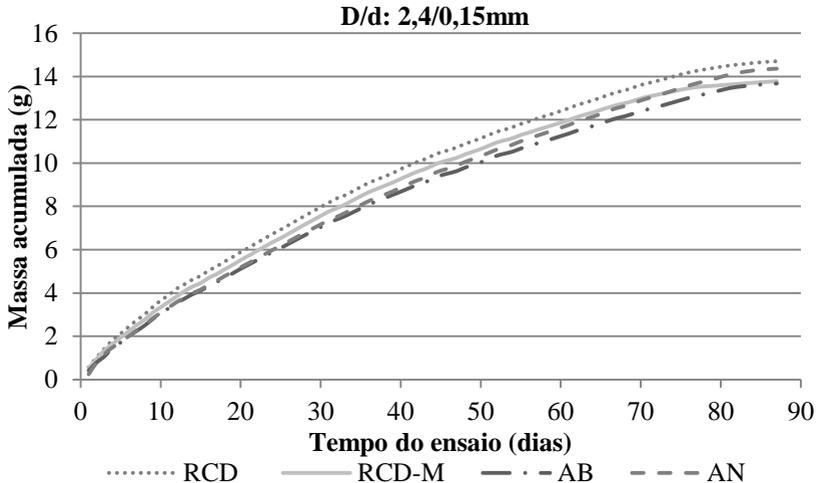


Figura 97: Evolução do fluxo de umidade nas argamassas com a curva D/d: 2,4/0,15 mm.

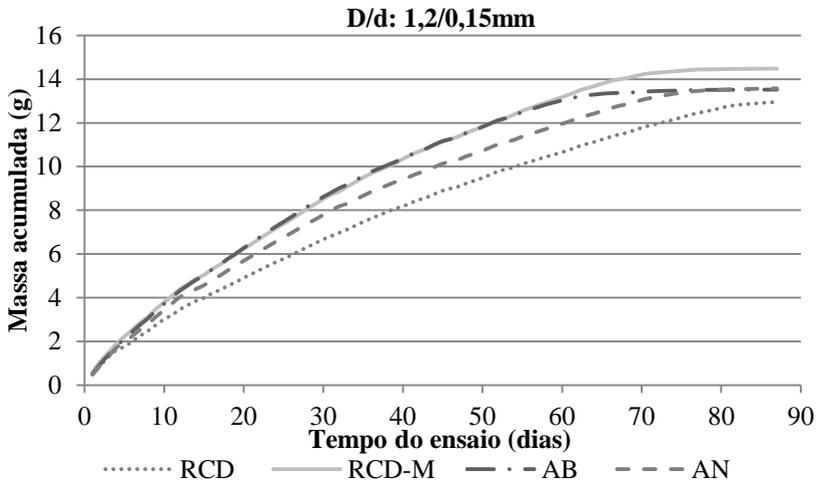


Figura 98: Evolução do fluxo de umidade nas argamassas com a curva D/d: 1,2/0,15 mm.

Na Tabela 36 apresentam-se os resultados obtidos relacionando o fluxo de umidade encontrado com a permeabilidade ao vapor para o traço 1: 2: 5,5 com as duas curvas granulométricas, para uma umidade relativa de 47%.

Tabela 36: Permeabilidade ao vapor com 47% de umidade relativa

Curva	Material	$k_v$ (kg/s.m.Pa)
D/d: 2,4/0,15 mm	RCD	$1,48 \times 10^{-11}$
	RCD-M	$1,63 \times 10^{-11}$
	AB	$1,60 \times 10^{-11}$
	AN	$1,41 \times 10^{-11}$
D/d: 1,2/0,15 mm	RCD	$1,37 \times 10^{-11}$
	RCD-M	$1,55 \times 10^{-11}$
	AB	$1,19 \times 10^{-11}$
	AN	$1,36 \times 10^{-11}$

Para facilitar a visualização dos resultados de permeabilidade ao vapor, os valores foram colocados graficamente na Figura 99. Percebe-se que a molhagem prévia aumentou a permeabilidade das argamassas com as duas curvas granulométricas. Essa maior permeabilidade pode ser explicada pelo tamanho dos poros, quanto maior o poro, mais fácil é a difusão de vapor. Observa-se que as argamassas produzidas com a curva granulométrica fina reduziu a permeabilidade, ou seja, a curva granulométrica fina ajudou na redução da dimensão dos poros.

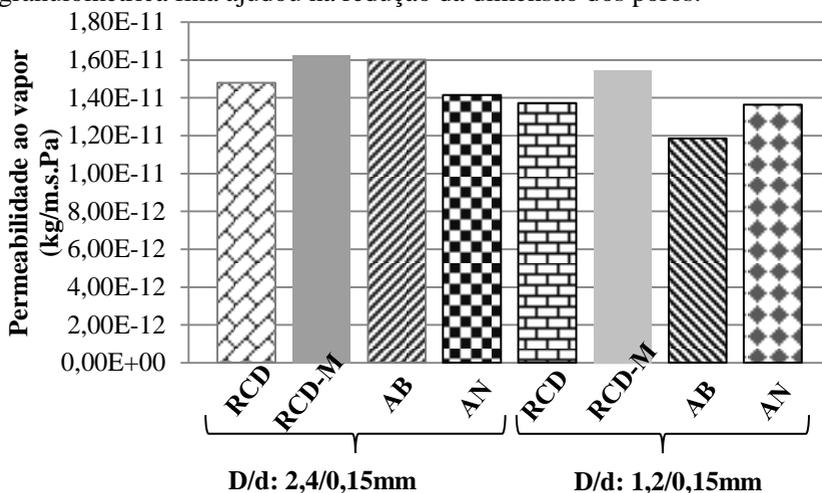


Figura 99: Permeabilidade ao vapor.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização desta pesquisa, contribuiu-se para a compreensão das alterações ocorridas na microestrutura das argamassas e nas propriedades higrotérmicas quando da adição de finos e da molhagem prévia dos agregados.

Em relação à faixa granulométrica dos agregados que confere maior influência na absorção de água, percebe-se que ao levar em conta a imersão dos grãos em água, a fração menor que 0,15 mm tem maior área específica e com isso adsorve maior quantidade de água. Por outro lado, quando a absorção ocorre por capilaridade há interferência do caminho dos poros formados com os grãos, a fração dos finos formou poros tortuosos, o que dificulta a penetração da água, por isso a fração com maior absorção por capilaridade foi à fração 0,15 mm dos agregados que formaram poros conectados o que facilita para a entrada da água.

A maior absorção de água foi dos agregados reciclados. Isso já era esperado em função da composição do resíduo, que é formado por materiais porosos, como argamassa e tijolo.

A adição dos finos nas argamassas até certo limite (máximo de fino que as argamassas suportam em sua composição e a partir desse limite começa a prejudicar as propriedades) é interessante e percebe-se a melhora nas propriedades, uma justificativa plausível é o efeito *filler* que os finos provocam na mistura. Além disso, como os finos possuem uma maior porosidade, apresentam uma tendência em criar uma melhor ligação com a pasta de cimento, preenchendo, deste modo, alguns poros que sem a adição de finos seriam preenchidos com água.

O aumento do teor de ar incorporado nas argamassas com a curva média (D/d: 2,4/ 0,15 mm) do agregado reciclado ocorreu pelo aumento da relação água/ cimento. A molhagem prévia do agregado reciclado com a curva média reduziu o teor de ar incorporado nas argamassas, entretanto, a molhagem do agregado reciclado com a curva fina (D/d: 1,2/ 0,15 mm) aumentou o teor de ar incorporado. Percebe-se que há influência da curva granulométrica na incorporação de ar nas argamassas, à curva fina incorpora maior teor de ar nos três tipos de agregado utilizado.

A molhagem prévia aumentou a retenção de água das argamassas com a curva fina. Já, com a curva média a retenção aumentou ou foi à mesma do agregado reciclado seco previamente. A retenção de água nas argamassas com AN e AB com a curva granulométrica fina, não variou muito, ficando com retenção adequada ao seu uso final. Entretanto, as

argamassas confeccionadas com AB e AN com a curva granulométrica média não apresentaram bons resultados quando da adição de até 12% de finos, a partir dos 18% de finos a retenção das argamassas melhorou consideravelmente, mostrando a importância da adição de finos adequada nas argamassas.

A massa específica no estado endurecido das argamassas saturadas previamente, do agregado reciclado com a curva média aumentou ou ficaram iguais as do agregado seco, ocorrendo o contrário na curva fina. Sabe-se que quanto maior a massa específica, mais denso é o material, sendo menor a quantidade de macroporos nas argamassas. A molhagem na curva média melhora a hidratação do cimento. Com a curva fina a AN apresentou maiores valores de massa específica do que a AB, enquanto que, na curva média as argamassas com AB ou AN obtiveram praticamente os mesmos valores.

A porosidade aberta é proporcional à absorção, quanto maior a porosidade, maior a quantidade de poros conectados e macroporos nas argamassas. A molhagem prévia dos agregados reciclados com a curva média não influenciou nesta propriedade, mantendo os mesmos resultados das argamassas com agregado reciclado seco. Já, com a curva granulométrica fina e com o traço pobre a molhagem aumentou a porosidade e conseqüentemente a absorção. Por outro lado, no traço rico a molhagem reduziu a absorção e a porosidade aberta quando adicionado fino nas argamassas. As argamassas confeccionadas com a curva granulométrica média com a AN e a AB, obtiveram uma porosidade e uma absorção praticamente iguais. Já com a curva granulométrica fina, as argamassas com AN reduziram a porosidade aberta e a absorção de água.

Em relação à secagem ao ar, a molhagem prévia do agregado reciclado (curva granulométrica média) reduziu o grau de saturação máximo nas argamassas com adição de 6 a 18% de finos. Nas demais, os valores de saturação máxima foram praticamente iguais. Entretanto, a secagem das amostras com o agregado reciclado seco foi melhor, concluindo que as argamassas com o mesmo apresentaram uma maior porosidade e conectividade dos poros.

Já nas amostras com o RCD-M obtiveram poros tortuosos e a maior quantidade de água estava nos grãos, o que dificulta a perda da água. As argamassas com o agregado natural (curva granulométrica média) apresentaram um menor grau de saturação inicial que as com o agregado de britagem, resultado da menor porosidade da amostra. Os graus de saturação inicial da AN e da AB foram menores que as dos agregados reciclados, pois a maior quantidade de água absorvida destes

se concentra no interior dos seus grãos, que tem um alto poder de absorção, enquanto que, nas argamassas com agregado natural e de britagem, é menor a quantidade de água nos seus grãos, permanecendo a água adsorvida nos poros capilares.

A molhagem prévia do agregado reciclado reduziu ou manteve igual à absorção capilar nas argamassas com a curva granulométrica média. Era esperado, uma vez que a porosidade aberta destas argamassas se mantiveram iguais. Em congruência com a redução da porosidade e da absorção por imersão das argamassas com a curva fina, a molhagem prévia também reduziu a absorção por capilaridade. Percebe-se que os poros formados com o agregado reciclado saturado foram mais tortuosos, reduzindo a conectividade, o que dificulta no transporte de água por capilaridade.

Ao contrário da absorção por imersão das argamassas com a curva granulométrica média, onde a AB e a AN obtiveram uma absorção parecida, a absorção por capilaridade com a AN foi superior, ocorrendo pela comunicação dos poros, sendo menos relevante o tamanho deles. Já, com a curva granulométrica fina, a AN reduziu a absorção.

Em congruência com a absorção capilar, quanto maior a absorção menor foi o ângulo de molhamento encontrado, pois quanto menor o ângulo de molhamento mais molhante é o material.

A molhagem prévia melhorou a permeabilidade ao vapor das argamassas com a curva granulométrica fina ou média, pois quanto maior a permeabilidade melhor será a eliminação, secagem da água que penetra nas argamassas e do vapor que se forma no interior dos edifícios. Com a curva granulométrica média com AB, também alcançou-se resultados consideráveis quando comparado com a AN, e com a curva fina a AN obteve melhores resultados que a AB.

Em relação à resistência mecânica, a molhagem aumentou a resistência tanto na tração na flexão como na compressão. Nas argamassas com AB e AN, obtiveram-se resultados parecidos nas duas curvas granulométricas. A adição de finos em todas as argamassas melhorou as resistências mecânicas. A resistência mecânica é influenciada pela curva granulométrica utilizada e não apenas pelo tipo do material.

O consumo de cimento como esperado foi maior nas argamassas com AB e AN, devido a menor relação a/c. Sendo as resistências mecânicas muito parecidas, as argamassas com agregado reciclado é uma boa opção e mais barata pela redução do consumo de cimento.

O módulo de elasticidade das argamassas com a curva granulométrica média de AN e AB, foram bem superiores aos valores encontrados para o agregado reciclado, considerando que quanto maior o módulo, pior será o desempenho das argamassas perante as tensões aplicadas. Então, as argamassas com agregado reciclado seriam melhores escolhas. As argamassas com a curva granulométrica fina apresentaram valores parecidos, apenas as argamassas com agregado reciclado molhado previamente com o traço rico apresentou em alguns traços (1: 0,5: 4; 1: 1: 3,5; 1: 2: 2,5) o aumento do módulo, não sendo um valor apreciável, pois um baixo módulo de elasticidade significa que a argamassa apresenta um valor de deformação maior.

Na resistência potencial de aderência à tração das argamassas com a curva granulométrica média, observou-se que a molhagem prévia do agregado reciclado melhorou a resistência, obtendo maiores resultados que o agregado natural. A argamassa que obteve o melhor resultado foi com agregado de britagem. Com a curva granulométrica fina o agregado reciclado previamente seco alcançou resultados melhores. As argamassas com agregado de britagem e com agregado natural não obtiveram resultados satisfatórios, não podendo ser utilizadas em argamassas de revestimento.

De modo geral, as curvas granulométricas influenciaram nas propriedades das argamassas de revestimento, sendo que a curva granulométrica média confere os melhores resultados. A molhagem prévia do agregado reciclado, para que o mesmo não absorva a água necessária para o amassamento, com a curva média melhorou praticamente todas as propriedades, e nas que não ocorreu melhora, permaneceram iguais às propriedades com o agregado reciclado seco previamente. A molhagem na curva granulométrica fina melhorou algumas propriedades, entretanto em algumas propriedades ocorreu uma piora significativa.

Em relação à adição de finos, percebe-se que as argamassas confeccionadas sem fino, não apresentaram os melhores resultados, percebendo-se a importância da existência de finos nas argamassas de revestimento. Entretanto, para cada tipo de material e cada traço existe uma quantidade limite dessa adição.

Com isso conclui-se que as argamassas produzidas com o agregado reciclado apresentam características apreciáveis para a utilização como argamassas de revestimento, com melhores resultados em algumas propriedades quando comparadas as argamassas com agregado de britagem e o agregado natural.

A alteração dos resíduos de construção e demolição em um produto comercial utilizado pela sociedade proporciona amplas oportunidades para aumentar a sustentabilidade social e ambiental. Porém, faltam especificações e normas que regem a utilização desse material, estipulando os seus limites, e falta também uma forma apropriada de separação e britagem desse material para que o seu uso se amplie. Percebe-se a necessidade de pesquisas voltadas a utilização do agregado reciclado em argamassas de revestimento, sendo este trabalho uma contribuição importante nessa área.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando à continuidade desta pesquisa, contribuindo para a melhoria da compreensão dos fenômenos e variações que ocorrem nas argamassas quando da adição dos finos e da molhagem dos agregados. Sugere-se para trabalhos futuros:

1. Analisar a influência da molhagem prévia somente da fração menor que 0,15 mm;
2. Analisar a estrutura porosa das argamassas, com adição dos finos e com os agregados saturados previamente, por meio do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio;
3. Realizar o ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) nas argamassas para analisar o efeito da molhagem prévia na interface agregado/ pasta;
4. Verificar a durabilidade das argamassas com adição de finos e dos agregados saturados previamente.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 517.2 R-87**: Accelerated curing of concrete at atmospheric pressure-state of the art. ACI Manual of Concrete, 1992.

ANDRADE, L. B.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Aspects of moisture kinetics of coal bottom ash in concrete**. Cement and Concrete Research, v. 37, n. 2, p. 231-241, 2007.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a Influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP, 2005.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP, 2000.

ANVI. **Nova velha proposta para melhorar a qualidade das argamassas**. São Paulo, ANVI 500 - moinho e argamassadeira, Folder, s.d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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

\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_. **NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_. **NM 45**: Agregados – Determinação de massa unitária e do volume de vazios. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_. **NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_. **NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NM 76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).** Norma Mercosur. Rio de Janeiro, 1998.

**ASTM C 1498: Standard test method for hygroscopic sorption isotherms of building materials.** 2001.

BARBARE, N.; SHUKLA, A.; BOSE, A. **Uptake and loss of water in a cenosphere–concrete composite material.** Cement and Concrete Research. v.33, n.10, p. 1681-1686, 2003.

BAROGHEL, B. V. **Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons: methods, analyse, interprétrations.** Laboratoire Central des Pont et Chaussées – Section des Publications, 1994.

BAROGHEL, B. V.; MAINGUY, M.; LASSABATERE, T.; COUSSY, O. **Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials.** Cement and Concrete Research, v. 29, n. 8, p. 1225-1238, 1999.

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

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades.** In: Elton Bauer. (Org.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. 1ed. Brasília: LEM-UnB e SINDUSCON-DF, 2005, v. 1.

CAMARGO, A. **Minas de entulho.** Revista Técnica nº 15. Editora Pini, p.15, 1995.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações – Fundamentos.** Livros Técnicos e Científicos Editora, 6º ed. v. 1. 1988.

CARASEK, H. **Argamassas.** In: **Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 1ed. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2. Cap. 26.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas**. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 1999. (Boletim Técnico 237).

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de Revestimento Características, propriedades e métodos de ensaio**. Publicação IPT n. 2378, São Paulo, 1995.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 307. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil**. Diário Oficial da União, Brasília, 17 jul. 2002.

CORINALDESI, V. **Mechanical behavior of masonry assemblages manufactured with recycled-aggregate mortars**. Cement & Concrete Composites, v. 31, p. 505-510, 2009.

DUAILIBE, G. J. **Avaliação de propriedades hidrodinâmicas em materiais granulares e argamassas com cinza pesada e agregado reciclado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis – SC, 2008.

FERREIRA, R. M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Escola de Engenharia Civil. Guimarães, 2000.

HELENE, P. R. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1993.

JANSEN, G. H. **Caracterização microestrutural e determinação de propriedades higrotérmicas de argamassas com adição de cinzas pesadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Florianópolis, 2007.

KRONLÖF, A.; LEIVO, M.; SIPARI, P. **Experimental study on basic phenomena of shrinkage and cracking of fresh mortar**. Cement and Concrete Research. v.25, n.8, p.1747-54, 1995.

LABUZA, T. P. **Sorption phenomena in foods**. Food Technology, v.22, n.3, p.15-24, 1968.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP, 2001.

LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. **Vantagens e desvantagens de argamassas produzidas com entulho de obra, finamente moído**. São Paulo, EPUSP, Departamento de Engenharia da Construção Civil, 1997. (Boletim Técnico 185).

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. São Carlos - SP, 1999.

LODI, V.H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento Portland na região de Chapecó-SC**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2006.

MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H. S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu - PR, 15 a 19 de novembro 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. Editora PINI, São Paulo, 1994. 573p.

MELLMAN, G.; MEINHOLD, U.; MAULTZSCH, M. **Processed concrete rubble for the reuse as aggregates**. Exploiting wastes in concrete: international seminar, University of Dundee, Thomas Telford, Scotland, UK, pp. 171-178, 1999.

MERTENS, G.; ELSSEN, J. **Use of computer assisted image analysis for the determination of the grain-size distribution of sands used in mortars**. Cement and Concrete Research. v. 36, p. 1453-1459, 2006.

MIRANDA, L. F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2000.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos classe A da construção civil.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. **A case study on the cariation in the quality of mortars using cdw recycled sands.** Civil Construction Engineering Department, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brazil, 2004.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão: integração de RCD.** Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa. Departamento de Engenharia Civil. Lisboa, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução: Salvador E. Giamusso, 2 ed. rev. Atual, São Paulo: Ed. PINI, 1997.

PEDROZO, R. F. E. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis – SC, 2008.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de construção Civil. São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. P. **Utilização de resíduos de construção.** Estudo do uso em argamassas. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1986.

POON, C. S.; CHAN, D. **The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong**. Resources Conservation and Recycling, v. 50, n. 3, p. 293-305, 2007.

prEN 13139: **Agregates for mortar**. 2002.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; OLIVEIRA, A. L.; BEDIN, C. A. **Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto**. Capítulo 2, pág. 34 a 54. Florianópolis – SC: Editora Gráfica Pallotti, 2002. v. 1. 208 p.

RANDALL, G. M. **Sintering theory and practice**. 1ed. John Wiley, 1996.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimento de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2004.

SANTOS, F. I. G. **Avaliação de propriedades higrotérmicas das argamassas: estudo de caso com as cinzas pesadas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis – SC, 2006.

SCHULZ, R. **The processing of building rubble as concrete aggregate in Germany**. In: International RILEM symposium on demolition and reuse of concrete and masonry, 3, Odense, 1993. Proceedings 23. London, E & FN Spon, p. 105-116. 1994.

SILVA, J.; BRITO, J.; VEIGA, M. R. **Avaliação do comportamento à água de argamassas com incorporação de agregados cerâmicos**. Rio Grande: Ed. Dunas, Revista Teoria e prática na engenharia civil, n.28, p. 37-45, 2007.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC. Porto Alegre, v.8, n.4, p. 21-35, 2008.

SOUZA, U. E. L.; FRANCO, L. S. **Subsídios para a opção entre: elevador ou grua, andaime fachadeiro ou balancim, argamassa indus-**

**trializada ou produzida em obra.** São Paulo, EPUSP, 1997. (Boletim Técnico 176).

TRISTÃO, F. A., **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 1995.

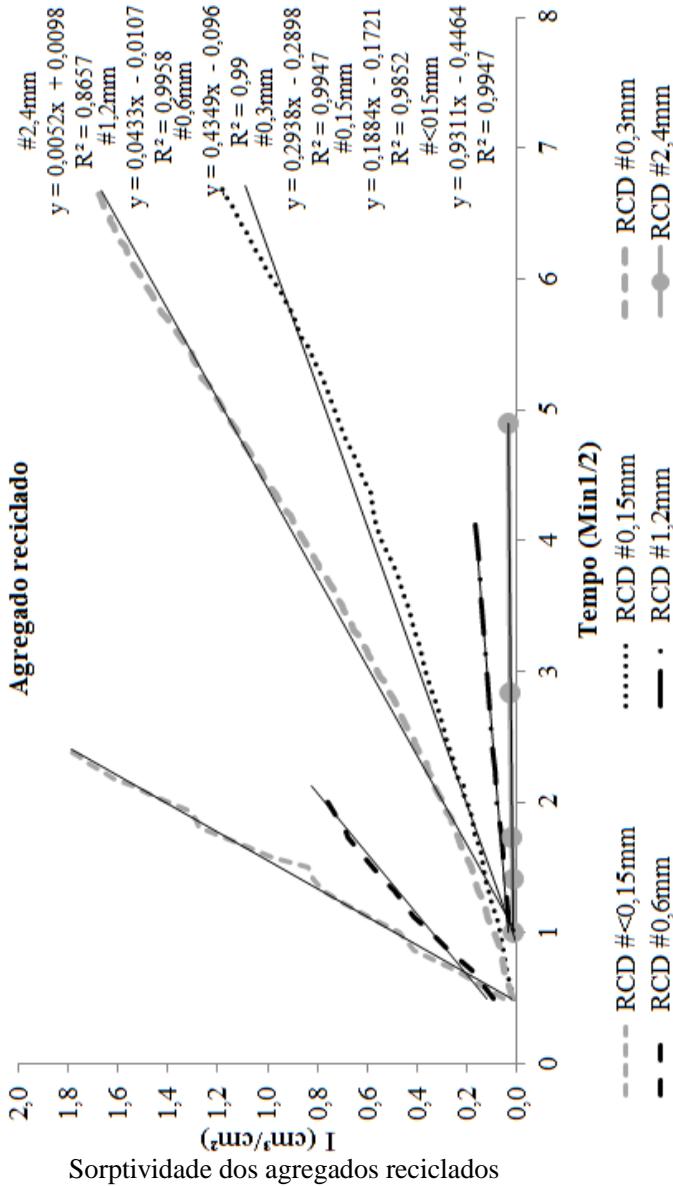
TURKI, M.; BRETAGNE, E.; ROUIS, M. J.; QUÉNEUDEC, M. **Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures.** Construction and Building Materials. v. 23, p. 2715-2722, 2009.

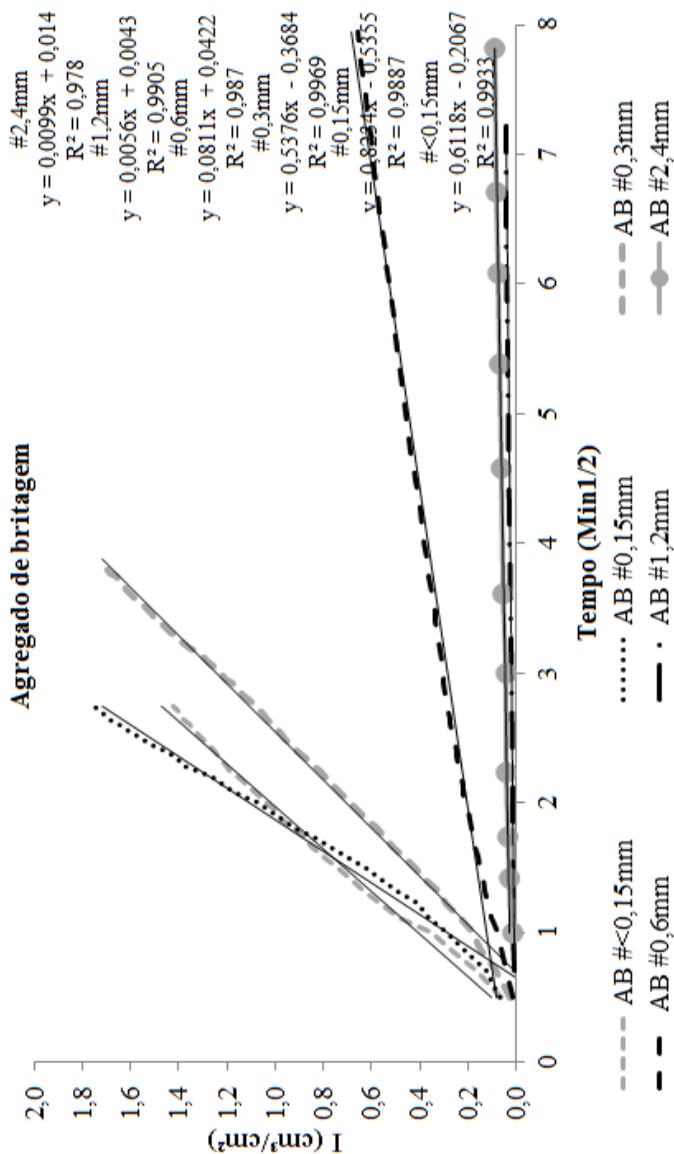
VAZ, M. G. A. **Estudo da permeabilidade ao vapor de água em materiais de construção.** LFC rel. n. 003.95, FEUP, 1995.

XI, Y.; BAZANT, Z. P.; MOLINA, L., JENNINGS, H. M. **Moisture diffusion in cementitious materials Adsorption isotherms.** Advanced Cement Based Materials. v.1, n.6, p. 248-257, 1994.

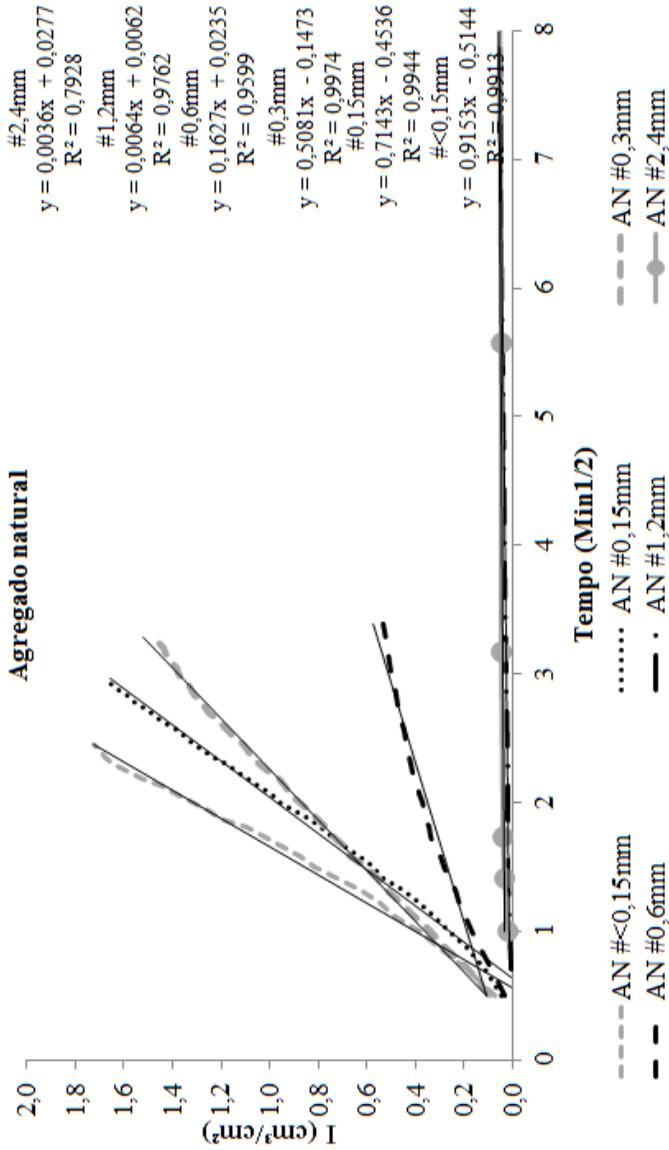
## APÊNDICES

## APÊNDICE 1: Sorptividade dos agregados

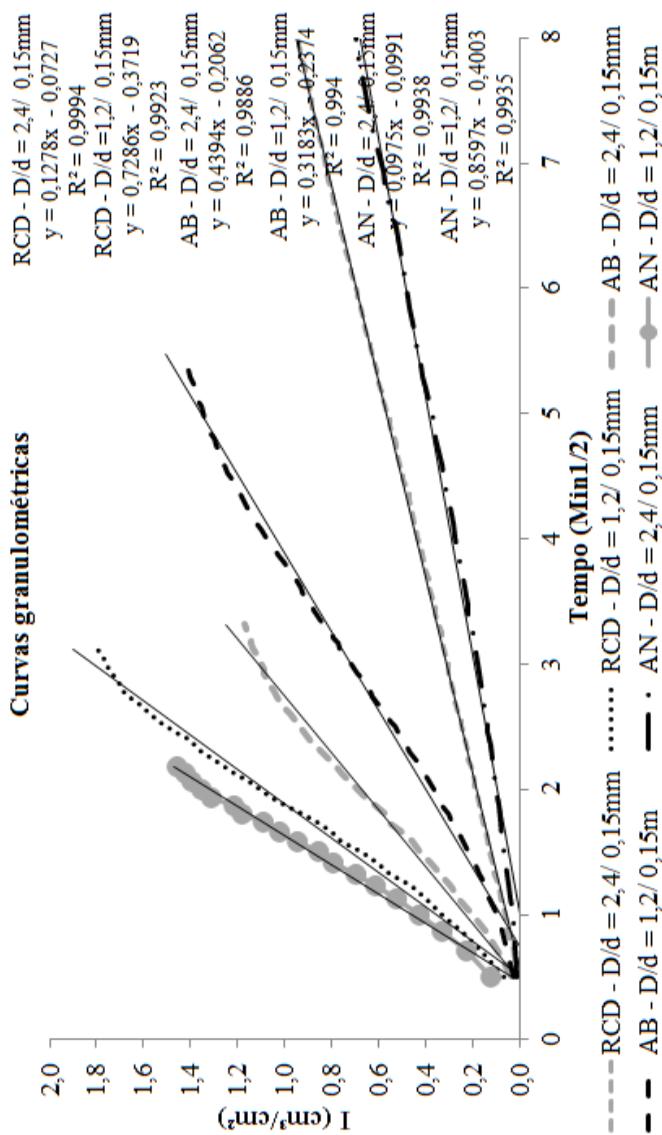




Sorptividade dos agregados de britagem



Sorptividade dos agregados naturais



Sorptividade das curvas granulométricas montadas

## APÊNDICE 2: Análise de variância

### MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	1,59	1,66	1,90	1,98	7,1
6%	1,64	1,71	2,08	2,00	7,4
12%	1,47	1,75	2,09	2,04	7,4
18%	1,51	1,78	1,92	2,07	7,3
24%	1,64	1,54	1,97	1,96	7,1
29%	1,64	1,63	2,00	2,06	7,3
35%	1,61	1,63	1,99	2,05	7,3
<b>T<sub>j</sub></b>	11,1	11,7	14,0	14,2	50,9
<b>Σ<sup>2</sup></b>	17,6	19,6	27,8	28,7	93,7

#### Tabela ANOVA

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	1,04	3	0,35	68,22	3,16
<b>Quant. Finos</b>	0,02	6	0,00	0,67	2,66
<b>Resíduo</b>	0,09	18	0,01		
<b>Total</b>	1,15	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a massa específica, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

#### Tabela ANOVA

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	0,03	1	0,03	2,57	5,99
<b>Quant. Finos</b>	0,01	6	0,00	0,15	4,28
<b>Resíduo</b>	0,06	6	0,01		
<b>Total</b>	0,09	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na massa específica.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,00	1	0,00	0,97	5,99
<b>Quant. Finos</b>	0,02	6	0,00	1,19	4,28
<b>Resíduo</b>	0,02	6	0,00		
<b>Total</b>	0,05	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na massa específica.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	1,62	1,51	1,53	1,65	6,3
6%	1,66	1,61	1,59	1,65	6,5
12%	1,72	1,66	1,68	1,71	6,8
18%	1,74	1,70	1,73	1,8	7,0
24%	1,77	1,70	1,84	1,82	7,1
<b>T,j</b>	8,5	8,2	8,4	8,6	33,7
<b><math>\Sigma^2</math></b>	14,5	13,4	14,1	14,9	56,9

### **Tabela ANOVA**

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,02	3	0,01	6,45	3,49
<b>Quant. Finos</b>	0,11	4	0,03	23,91	3,26
<b>Resíduo</b>	0,01	12	0,00		
<b>Total</b>	0,15	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado não influencia, mas a quantidade de fino afeta a massa específica no estado fresco.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,01	1	0,01	5,06	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,08	4	0,02	14,85	6,39
<b>Resíduo</b>	0,01	4	0,00		
<b>Total</b>	0,09	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado não influencia, mas a quantidade de fino afeta a massa específica no estado fresco.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,01	1	0,01	29,84	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,04	4	0,01	26,53	6,39
<b>Resíduo</b>	0,00	4	0,00		
<b>Total</b>	0,05	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos influenciaram na massa específica.

**TEOR DE AR INCORPORADO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	24,3	20,7	13,8	9,6	68,4
6%	22,5	19,4	6,7	9,4	58,0
12%	29,8	18,2	6,9	8,5	63,4
18%	28,2	17,7	15,3	7,8	69,0
24%	22,9	27,5	13,3	13,3	77,0
29%	23,3	23,9	12,7	7,1	67,0
35%	25,1	24,4	12,9	8,1	70,5
<b>T<sub>j</sub></b>	176,1	151,8	81,6	63,8	473,3
<b><math>\Sigma^2</math></b>	4477,3	3372,6	1021,6	606,5	9478,1

**Tabela ANOVA**

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	1254,41	3	418,14	44,15	3,16
<b>Quant. Finos</b>	52,39	6	8,73	0,92	2,66
<b>Resíduo</b>	170,49	18	9,47		
<b>Total</b>	1477,29	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta o teor de ar incorporado, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	42,14	1	42,14	2,47	5,99
<b>Quant. Finos</b>	24,93	6	4,16	0,24	4,28
<b>Resíduo</b>	102,52	6	17,09		
<b>Total</b>	169,59	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou no teor de ar incorporado.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	22,63	1	22,63	2,92	5,99
<b>Quant. Finos</b>	48,99	6	8,16	1,05	4,28
<b>Resíduo</b>	46,44	6	7,74		
<b>Total</b>	118,06	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou no teor de ar incorporado.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	24,65	1	24,65	8,75	7,71
<b>Quant. Finos</b>	105,05	4	26,26	9,32	6,39
<b>Resíduo</b>	11,27	4	2,82		
<b>Total</b>	140,97	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos influenciaram o teor de ar incorporado.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	37,99	1	37,99	80,14	7,71
<b>Quant. Finos</b>	33,53	4	8,38	17,68	6,39
<b>Resíduo</b>	1,90	4	0,47		
<b>Total</b>	73,41	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos influenciaram no teor de ar incorporado.

**RETENÇÃO DE ÁGUA**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	97,2	97,8	72,8	56,9	324,7
6%	95,7	97,8	67,8	60,5	321,8
12%	98,2	98,0	79,4	69,0	344,6
18%	98,3	98,3	91,3	84,0	371,9
24%	98,3	98,9	73,0	93,2	363,4
29%	98,2	98,4	94,2	86,1	376,9
35%	99,1	85,7	93,4	87,4	365,6
<b>T<sub>j</sub></b>	685,0	674,9	571,9	537,1	2468,9
<b><math>\Sigma^2</math></b>	67039,4	65204,8	47462,9	42453,1	222160,2

**Tabela ANOVA**

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	2342,03	3	780,68	10,31	3,16
<b>Quant. Finos</b>	759,90	6	126,65	1,67	2,66
<b>Resíduo</b>	1363,04	18	75,72		
<b>Total</b>	4464,97	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a retenção de água, mas a quantidade de fino adicionado não influência.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	7,29	1	7,29	0,51	5,99
<b>Quant. Finos</b>	56,99	6	9,50	0,67	4,28
<b>Resíduo</b>	85,10	6	14,18		
<b>Total</b>	149,37	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na retenção de água.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	86,50	1	86,50	1,29	5,99
<b>Quant. Finos</b>	1578,76	6	263,13	3,93	4,28
<b>Resíduo</b>	402,10	6	67,02		
<b>Total</b>	2067,36	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na retenção de água.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	37,64	1	37,64	9,79	7,71
<b>Quant. Finos</b>	60,25	4	15,06	3,92	6,39
<b>Resíduo</b>	15,37	4	3,84		
<b>Total</b>	113,26	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afetou a retenção de água, mas a adição de finos não influenciou.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	561,00	1	561,00	235,62	7,71
<b>Quant. Finos</b>	5,90	4	1,48	0,62	6,39
<b>Resíduo</b>	9,52	4	2,38		
<b>Total</b>	576,43	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia afetou a retenção de água, mas a adição de finos não influenciou.

**ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	31,2	31,6	14,1	15,2	92,1
6%	29,0	24,2	12,8	14,2	80,2
12%	31,3	22,9	12,4	13,4	80,0
18%	33,7	19,6	18,8	12,4	84,5
24%	30,8	29,8	16,6	15,1	92,3
29%	29,0	28,3	15,3	13,8	86,4
35%	29,1	29,0	15,5	14,3	87,9
<b>T<sub>j</sub></b>	214,1	185,4	105,5	98,4	603,4
<b><math>\Sigma^2</math></b>	6566,3	5022,7	1619,8	1388,9	14597,7

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	1428,84	3	476,28	67,25	3,16
<b>Quant. Finos</b>	38,07	6	6,34	0,90	2,66
<b>Resíduo</b>	127,48	18	7,08		
<b>Total</b>	1594,39	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a absorção por imersão, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	58,84	1	58,84	4,00	5,99
<b>Quant. Finos</b>	41,92	6	6,99	0,48	4,28
<b>Resíduo</b>	88,20	6	14,70		
<b>Total</b>	188,95	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na absorção por imersão.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	3,60	1	3,60	0,98	5,99
<b>Quant. Finos</b>	13,50	6	2,25	0,62	4,28
<b>Resíduo</b>	21,93	6	3,66		
<b>Total</b>	39,03	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na absorção por imersão.

#### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	38,0	49,4	33,1	26,4	146,9
6%	38,0	48,8	33,3	29,2	149,3
12%	31,4	43,5	28,2	27,7	130,8
18%	32,6	40,1	25,9	25,3	123,9
24%	29,2	39,1	23,1	21,0	112,4
<b>T,j</b>	169,2	220,9	143,6	129,6	663,3
<b><math>\Sigma^2</math></b>	5789,4	9850,9	4204,2	3398,0	23242,4

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	970,17	3	323,39	124,09	3,49
<b>Quant. Finos</b>	242,58	4	60,65	23,27	3,26
<b>Resíduo</b>	31,27	12	2,61		
<b>Total</b>	1244,03	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de finos afetaram a absorção por imersão.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	267,29	1	267,29	168,48	7,71
<b>Quant. Finos</b>	148,79	4	37,20	23,45	6,39
<b>Resíduo</b>	6,35	4	1,59		
<b>Total</b>	422,43	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a quantidade de finos influenciaram a absorção por imersão.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	19,60	1	19,60	5,70	7,71
<b>Quant. Finos</b>	104,96	4	26,24	7,63	6,39
<b>Resíduo</b>	13,76	4	3,44		
<b>Total</b>	138,32	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o parâmetro que influência na absorção por imersão é a quantidade de finos.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	21,90	1	21,90	2,17	7,71
<b>Quant. Finos</b>	83,42	4	20,85	2,07	6,39
<b>Resíduo</b>	40,38	4	10,09		
<b>Total</b>	145,70	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não afetaram a absorção por imersão.

**POROSIDADE ABERTA**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	45,9	45,7	27,0	28,3	146,9
6%	43,5	37,5	25,1	26,6	132,7
12%	45,9	35,4	24,5	25,6	131,4
18%	47,8	30,7	32,8	24,1	135,4
24%	45,2	43,3	29,7	27,4	145,6
29%	42,1	41,2	28,1	26,5	137,9
35%	41,5	41,1	28,2	27,0	137,8
<b>T,j</b>	311,9	274,9	195,4	185,5	967,7
<b>Σ²</b>	13928,4	10951,9	5502,0	4926,6	35309,0

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	1618,89	3	539,63	50,60	3,16
<b>Quant. Finos</b>	53,75	6	8,96	0,84	2,66
<b>Resíduo</b>	191,97	18	10,66		
<b>Total</b>	1864,61	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a porosidade aberta, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	97,79	1	97,79	4,74	5,99
<b>Quant. Finos</b>	63,40	6	10,57	0,51	4,28
<b>Resíduo</b>	123,85	6	20,64		
<b>Total</b>	285,04	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na porosidade aberta das argamassas.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	7,00	1	7,00	1,10	5,99
<b>Quant. Finos</b>	20,40	6	3,40	0,54	4,28
<b>Resíduo</b>	38,06	6	6,34		
<b>Total</b>	65,47	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na porosidade aberta das argamassas.

### Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	50,0	56,6	46,6	40,7	193,9
6%	50,0	56,3	46,8	43,2	196,3
12%	44,9	53,6	42,5	41,7	182,7
18%	45,5	51,5	40,4	39,3	176,7
24%	42,0	50,4	37,4	34,9	164,7
<b>T<sub>j</sub></b>	232,4	268,4	213,7	199,8	914,3
<b><math>\Sigma^2</math></b>	10850,3	14438,6	9199,0	8024,1	42512,0

### Tabela ANOVA

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	529,99	3	176,66	123,31	3,49
<b>Quant. Finos</b>	167,57	4	41,89	29,24	3,26
<b>Resíduo</b>	17,19	12	1,43		
<b>Total</b>	714,75	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de finos afetaram a porosidade aberta.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	129,60	1	129,60	164,57	7,71
<b>Quant. Finos</b>	76,07	4	19,02	24,15	6,39
<b>Resíduo</b>	3,15	4	0,79		
<b>Total</b>	208,82	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos influenciaram a porosidade aberta.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	19,32	1	19,32	8,97	7,71
<b>Quant. Finos</b>	96,93	4	24,23	11,25	6,39
<b>Resíduo</b>	8,61	4	2,15		
<b>Total</b>	124,87	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado a quantidade de finos afetaram a porosidade aberta.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	88,80	1	88,80	6,02	7,71
<b>Quant. Finos</b>	106,81	4	26,70	1,81	6,39
<b>Resíduo</b>	59,01	4	14,75		
<b>Total</b>	254,62	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciaram a porosidade aberta.

**ABSORÇÃO CAPILAR**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	4,3	3,3	6,2	6,0	19,8
6%	4,6	3,0	5,9	6,7	20,2
12%	2,2	2,6	6,0	6,6	17,4
18%	6,2	2,3	3,1	10,3	21,9
24%	2,6	2,6	3,1	3,6	11,9
29%	2,8	2,9	3,7	10,0	19,4
35%	2,9	3,0	4,3	10,3	20,5
<b>T.j</b>	25,6	19,7	32,3	53,5	131,1
<b><math>\Sigma^2</math></b>	105,9	56,1	160,7	449,6	772,3

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	93,17	3	31,06	11,42	3,16
<b>Quant. Finos</b>	16,34	6	2,72	1,00	2,66
<b>Resíduo</b>	48,95	18	2,72		
<b>Total</b>	158,46	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a absorção capilar, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	2,49	1	2,49	2,13	5,99
<b>Quant. Finos</b>	6,00	6	1,00	0,86	4,28
<b>Resíduo</b>	6,99	6	1,16		
<b>Total</b>	15,47	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na absorção capilar.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	32,10	1	32,10	5,96	5,99
<b>Quant. Finos</b>	20,00	6	3,33	0,62	4,28
<b>Resíduo</b>	32,31	6	5,38		
<b>Total</b>	84,41	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na absorção capilar.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	5,1	11,2	13,1	7,0	36,4
6%	5,2	17,0	9,3	5,7	37,2
12%	4,5	5,6	6,9	5,4	22,4
18%	4,7	3,3	5,9	5,2	19,1
24%	4,8	3,2	6,6	6,8	21,4
<b>T,j</b>	24,3	40,3	41,8	30,1	136,5
<b><math>\Sigma^2</math></b>	118,4	466,9	384,1	183,9	1153,4

### **Tabela ANOVA**

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	41,95	3	13,98	1,63	3,49
<b>Quant. Finos</b>	76,72	4	19,18	2,23	3,26
<b>Resíduo</b>	103,08	12	8,59		
<b>Total</b>	221,76	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de finos não afetaram a absorção capilar.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	25,60	1	25,60	1,56	7,71
<b>Quant. Finos</b>	76,95	4	19,24	1,18	6,39
<b>Resíduo</b>	65,49	4	16,37		
<b>Total</b>	168,04	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciaram a absorção capilar.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	13,69	1	13,69	4,28	7,71
<b>Quant. Finos</b>	24,57	4	6,14	1,92	6,39
<b>Resíduo</b>	12,79	4	3,20		
<b>Total</b>	51,05	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado influenciou, mas a adição de finos não influenciou na absorção capilar.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	9,41	1	9,41	30,95	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,68	4	0,17	0,56	6,39
<b>Resíduo</b>	1,22	4	0,30		
<b>Total</b>	11,31	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia influenciou a absorção capilar, mas a adição de finos não.

**SORPTIVIDADE**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	0,0130	0,0137	0,0033	0,0230	0,0530
6%	0,0088	0,0127	0,0222	0,0040	0,0477
12%	0,0071	0,0133	0,0189	0,0212	0,0605
18%	0,0064	0,0091	0,0167	0,0766	0,1088
24%	0,0096	0,0094	0,0148	0,0211	0,0549
29%	0,0095	0,0098	0,0185	0,0481	0,0859
35%	0,0109	0,0106	0,0235	0,0534	0,0984
<b>T.j</b>	0,0653	0,0786	0,1179	0,2474	0,5092
$\Sigma^2$	0,0006	0,0009	0,0023	0,0125	0,0163

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	0,00296	3	0,00099	5,65	3,16
<b>Quant. Finos</b>	0,00090	6	0,00015	0,86	2,66
<b>Resíduo</b>	0,00314	18	0,00017		
<b>Total</b>	0,00701	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta a sorptividade, mas a quantidade de fino adicionado não influencia.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	0,00001	1	0,000013	4,17	5,99
<b>Quant. Finos</b>	0,00003	6	0,000006	1,90	4,28
<b>Resíduo</b>	0,00002	6	0,000003		
<b>Total</b>	0,00007	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou na sorptividade das argamassas.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,00120	1	0,00120	3,86	5,99
<b>Quant. Finos</b>	0,00213	6	0,00036	1,14	4,28
<b>Resíduo</b>	0,00186	6	0,00031		
<b>Total</b>	0,00519	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou na sorptividade das argamassas.

### Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	0,0381	0,1360	0,0531	0,0325	0,2597
6%	0,0242	0,1290	0,3420	0,0231	0,5183
12%	0,0183	0,0189	0,0260	0,0259	0,0891
18%	0,0250	0,0148	0,0214	0,0175	0,0787
24%	0,0207	0,0990	0,0293	0,0291	0,1781
<b>T<sub>j</sub></b>	0,1263	0,3977	0,4718	0,1281	1,1239
<b><math>\Sigma^2</math></b>	0,0034	0,0455	0,1218	0,0034	0,1741

### Tabela ANOVA

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,01947	3	0,00649	1,32	3,49
<b>Quant. Finos</b>	0,03233	4	0,00808	1,64	3,26
<b>Resíduo</b>	0,05918	12	0,00493		
<b>Total</b>	0,11097	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de finos não afetaram a sorptividade.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,007	1	0,01	4,88	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,008	4	0,00	1,34	6,39
<b>Resíduo</b>	0,006	4	0,00		
<b>Total</b>	0,021	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não afetaram a sorptividade.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,01181	1	0,01181	1,20	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,03813	4	0,00953	0,97	6,39
<b>Resíduo</b>	0,03926	4	0,00981		
<b>Total</b>	0,08920	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciaram a sorptividade.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,00025	1	0,00025	34,92	7,71
<b>Quant. Finos</b>	0,00005	4	0,00001	1,91	6,39
<b>Resíduo</b>	0,00003	4	0,00001		
<b>Total</b>	0,00033	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia influenciou a sorptividade, mas a adição de finos não.

**ÂNGULO DE MOLHAMENTO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	88,0	86,0	83,0	88,0	345,0
6%	89,0	84,0	87,0	81,0	341,0
12%	90,0	88,0	89,0	87,0	354,0
18%	89,0	87,0	88,0	64,0	328,0
24%	86,0	89,0	89,0	88,0	352,0
29%	88,0	86,0	88,0	80,0	342,0
35%	89,0	89,0	85,0	86,0	349,0
<b>T.j</b>	619,0	609,0	609,0	574,0	2411,0
<b><math>\Sigma^2</math></b>	54747,0	53003,0	53013,0	47510,0	208273,0

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	$F\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	166,96	3	55,65	2,59	3,16
<b>Quant. Finos</b>	114,43	6	19,07	0,89	2,66
<b>Resíduo</b>	387,29	18	21,52		
<b>Total</b>	668,68	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de fino afetam no ângulo de molhamento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	$F\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	7,14	1	7,14	2,40	5,99
<b>Quant. Finos</b>	11,86	6	1,98	0,66	4,28
<b>Resíduo</b>	17,86	6	2,98		
<b>Total</b>	36,86	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou no ângulo de molhamento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	87,50	1	87,50	1,97	5,99
<b>Quant. Finos</b>	206,00	6	34,33	0,77	4,28
<b>Resíduo</b>	266,00	6	44,33		
<b>Total</b>	559,50	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou no ângulo de molhamento.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	83,0	83,0	81,0	86,0	333,0
6%	71,0	77,0	85,0	88,0	321,0
12%	63,0	89,0	88,0	87,0	327,0
18%	64,0	88,0	88,0	88,0	328,0
24%	86,0	89,0	85,0	87,0	347,0
<b>T,j</b>	367,0	426,0	427,0	436,0	1656,0
<b><math>\Sigma^2</math></b>	27391,0	36404,0	36499,0	38022,0	138316,0

### **Tabela ANOVA**

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	601,20	3	200,40	4,79	3,49
<b>Quant. Finos</b>	96,20	4	24,05	0,58	3,26
<b>Resíduo</b>	501,80	12	41,82		
<b>Total</b>	1199,20	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado influenciou o ângulo de molhamento, mas a quantidade de finos não afetou.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	348,10	1	348,10	4,64	7,71
<b>Quant. Finos</b>	261,60	4	65,40	0,87	6,39
<b>Resíduo</b>	300,40	4	75,10		
<b>Total</b>	910,10	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a quantidade de finos não influenciaram o ângulo de molhamento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	8,10	1	8,10	2,84	7,71
<b>Quant. Finos</b>	24,60	4	6,15	2,16	6,39
<b>Resíduo</b>	11,40	4	2,85		
<b>Total</b>	44,10	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado influenciou, mas a adição de finos não influenciou no ângulo de molhamento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	6,40	1	6,40	5,57	7,71
<b>Quant. Finos</b>	11,40	4	2,85	2,48	6,39
<b>Resíduo</b>	4,60	4	1,15		
<b>Total</b>	22,40	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a quantidade de finos não influenciaram o ângulo de molhamento.

**MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO ENDURECIDO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	3,71	27	0,14	442,09	1,69
<b>Resíduo</b>	0,02	56	0,00		
<b>Total</b>	3,73	83			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	3,45	3	1,15	3705,48	2,77
<b>Quant. Finos</b>	0,06	6	0,01	31,99	2,27
<b>Agreg x fino</b>	0,20	18	0,01	34,89	1,79
<b>Resíduo</b>	0,02	56	0,00		
<b>Total</b>	3,73	83			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo de agregado, a quantidade de finos e a inter-relação entre o agregado e a quantidade de finos afetam a massa específica no estado endurecido. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é o tipo de agregado.

**Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	1,72	19	0,09	891,99	1,85
<b>Resíduo</b>	0,00	40	0,00		
<b>Total</b>	1,73	59			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	1,29	3	0,43	4229,57	2,84
<b>Quant. Finos</b>	0,37	4	0,09	902,35	2,61
<b>Agreg x fino</b>	0,07	12	0,01	54,14	2,00
<b>Resíduo</b>	0,00	40	0,00		
<b>Total</b>	1,73	59			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo de agregado, a quantidade de finos e a inter-relação entre o agregado e a quantidade de finos afetam a massa específica no estado endurecido. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é o tipo de agregado.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	0,15	9	0,02	61,88	2,39
<b>Resíduo</b>	0,01	20	0,00		
<b>Total</b>	0,16	29			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	0,02	1	0,02	88,11	4,35
<b>Quant. Finos</b>	0,13	4	0,03	116,20	2,87
<b>Agreg x fino</b>	0,00	4	0,00	1,01	2,87
<b>Resíduo</b>	0,01	20	0,00		
<b>Total</b>	0,16	29			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a quantidade de finos afetam a massa específica no estado endurecido, mas a inter-relação entre eles não afeta. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é a quantidade de fino.

**CONSUMO DE CIMENTO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	158,1	164,8	194,8	202,5	720,2
6%	155,5	161,9	202,5	194,6	714,5
12%	129,5	158,2	194,0	189,1	670,8
18%	128,0	153,4	170,0	183,4	634,8
24%	132,8	124,8	167,5	166,2	591,3
29%	127,9	126,8	162,9	164,5	582,1
35%	120,9	122,1	154,8	157,5	555,3
<b>T.j</b>	952,7	1012,0	1246,5	1257,8	4469,0
<b><math>\Sigma^2</math></b>	130941,2	148491,1	224045,0	227758,7	731236,0

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	10659,16	3	3553,05	76,79	3,16
<b>Quant. Finos</b>	6459,72	6	1076,62	23,27	2,66
<b>Resíduo</b>	832,82	18	46,27		
<b>Total</b>	17951,70	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de fino afeta o consumo de cimento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	251,18	1	251,18	2,69	5,99
<b>Quant. Finos</b>	2904,06	6	484,01	5,19	4,28
<b>Resíduo</b>	559,50	6	93,25		
<b>Total</b>	3714,73	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia não afetou o consumo de cimento, mas a adição de finos afetou.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	9,12	1	9,12	0,34	5,99
<b>Quant. Finos</b>	3669,70	6	611,62	23,04	4,28
<b>Resíduo</b>	159,28	6	26,55		
<b>Total</b>	3838,10	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo de agregado não influenciou o consumo de cimento, mas a adição de finos afetou.

### **Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	64,01	1	64,01	5,26	7,71
<b>Quant. Finos</b>	41,91	4	10,48	0,86	6,39
<b>Resíduo</b>	48,71	4	12,18		
<b>Total</b>	154,62	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de finos não afetaram o consumo de cimento.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	131,04	1	131,04	13,88	7,71
<b>Quant. Finos</b>	1514,15	4	378,54	40,09	6,39
<b>Resíduo</b>	37,77	4	9,44		
<b>Total</b>	1682,96	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos afetaram o consumo de cimento.

**RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	17,11	27	0,63	38,05	1,69
<b>Resíduo</b>	0,93	56	0,02		
<b>Total</b>	18,04	83			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	3,68	3	1,23	73,61	2,77
<b>Quant. Finos</b>	3,97	6	0,66	39,71	2,27
<b>Agreg x fino</b>	9,46	18	0,53	31,56	1,79
<b>Resíduo</b>	0,93	56	0,02		
<b>Total</b>	18,04	83			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo de agregado, a quantidade de finos e a inter-relação entre eles afetam a resistência à tração na flexão. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é o tipo de agregado.

**Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)**

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	13,57	19	0,71	84,60	1,85
<b>Resíduo</b>	0,34	40	0,01		
<b>Total</b>	13,91	59			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	3,46	3	1,15	136,58	2,84
<b>Quant. Finos</b>	8,93	4	2,23	264,24	2,61
<b>Agreg x fino</b>	1,19	12	0,10	11,72	2,00
<b>Resíduo</b>	0,34	40	0,01		
<b>Total</b>	13,91	59			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo de agregado, a quantidade de finos e a inter-relação entre eles afetam a resistência à tração na flexão. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é a quantidade de finos.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico).

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Tratamento</b>	10,54	9	1,17	54,22	2,39
<b>Resíduo</b>	0,43	20	0,02		
<b>Total</b>	10,97	29			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que existe influência dos tratamentos ou a inter-relação entre eles.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Agregado</b>	4,42	1	4,42	204,80	4,35
<b>Quant. Finos</b>	5,49	4	1,37	63,51	2,87
<b>Agreg x fino</b>	0,63	4	0,16	7,29	2,87
<b>Resíduo</b>	0,43	20	0,02		
<b>Total</b>	10,97	29			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia, a quantidade de finos e a inter-relação entre eles afetam a resistência à tração na flexão. Sendo que destes parâmetros o que mais influência é a quantidade de fino.

**MÓDULO DE ELASTICIDADE**  
**Curva granulométrica média (D/d: 2,4/0,15mm)**

Quantidade de finos	Material				Ti.
	RCD	RCD-M	AB	AN	
0%	7,9	6,8	16,8	6,1	37,6
6%	8,2	6,6	13,8	18,8	47,4
12%	5,6	6,4	7,8	11,2	31,0
18%	5,2	8,3	9,8	11,7	35,0
24%	5,3	4,9	10,2	11,5	31,9
29%	4,6	5,4	11,0	6,1	27,1
35%	2,8	5,3	9,1	10,3	27,5
<b>T<sub>j</sub></b>	39,6	43,7	78,5	75,7	237,5
<b>Σ<sup>2</sup></b>	245,1	280,9	937,4	928,5	2392,0

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	181,29	3	60,43	8,92	3,16
<b>Quant. Finos</b>	74,19	6	12,36	1,82	2,66
<b>Resíduo</b>	122,00	18	6,78		
<b>Total</b>	377,48	27			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado afeta o módulo de elasticidade, mas a quantidade de finos não influenciou.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

**Tabela ANOVA**

Fonte	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha_{0,05}$
<b>Material</b>	1,20	1	1,20	0,77	5,99
<b>Quant. Finos</b>	19,88	6	3,31	2,13	4,28
<b>Resíduo</b>	9,33	6	1,56		
<b>Total</b>	30,42	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia e a adição de finos não influenciou no módulo de elasticidade.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,56	1	0,56	0,04	5,99
<b>Quant. Finos</b>	76,64	6	12,77	0,85	4,28
<b>Resíduo</b>	90,34	6	15,06		
<b>Total</b>	167,54	13			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a adição de finos não influenciou no módulo de elasticidade.

### Curva granulométrica fina (D/d: 1,2/0,15mm)

<b>Quantidade de finos</b>	<b>Material</b>				<b>Ti.</b>
	<b>RCD</b>	<b>RCD-M</b>	<b>AB</b>	<b>AN</b>	
0%	2,5	1,4	2,8	2,6	9,3
6%	3,7	2,4	1,8	3,6	11,5
12%	5,4	1,8	2,0	2,8	12,0
18%	5,6	3,1	3,8	4,2	16,7
24%	4,5	3,9	5,7	5,6	19,7
<b>T.j</b>	21,7	12,6	16,1	18,8	69,2
<b><math>\Sigma^2</math></b>	100,7	35,8	62,0	76,6	275,1

### Tabela ANOVA

<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	9,03	3	3,01	4,20	3,49
<b>Quant. Finos</b>	18,00	4	4,50	6,28	3,26
<b>Resíduo</b>	8,60	12	0,72		
<b>Total</b>	35,63	19			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o tipo do agregado e a quantidade de fino afetam o módulo de elasticidade.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do RCD e do RCD-M.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	8,28	1	8,28	11,21	7,71
<b>Quant. Finos</b>	7,61	4	1,90	2,57	6,39
<b>Resíduo</b>	2,95	4	0,74		
<b>Total</b>	18,84	9			

Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia influenciou o módulo de elasticidade, mas a adição de finos não influenciou.

Na Tabela abaixo está à verificação da influência apenas do AB e do AN.

<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	0,73	1	0,73	2,22	7,71
<b>Quant. Finos</b>	14,72	4	3,68	11,19	6,39
<b>Resíduo</b>	1,32	4	0,33		
<b>Total</b>	16,77	9			

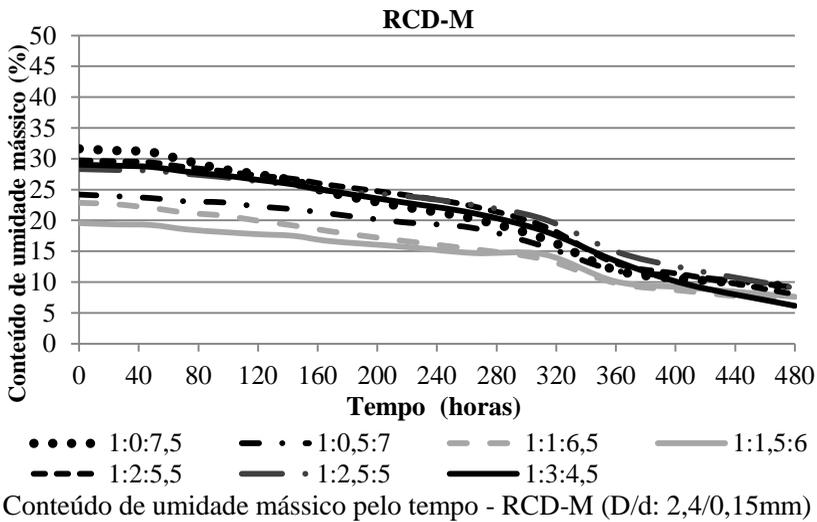
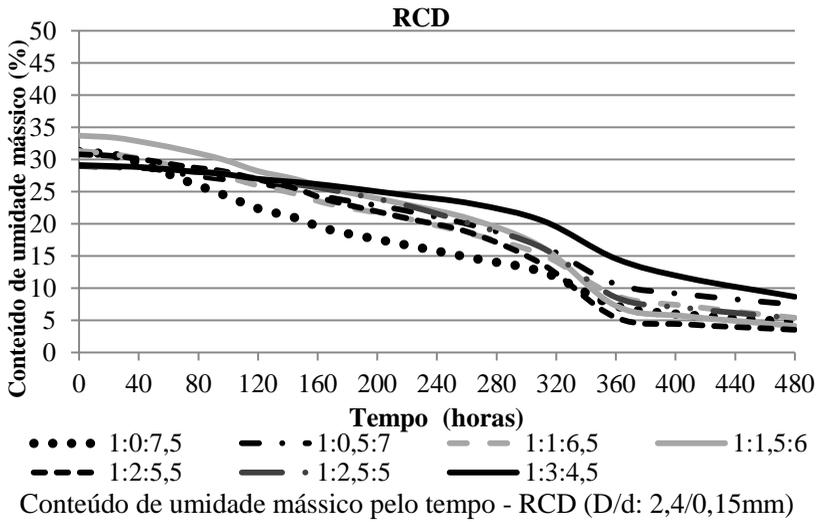
Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que o parâmetro que influencia o módulo de elasticidade é a quantidade de finos.

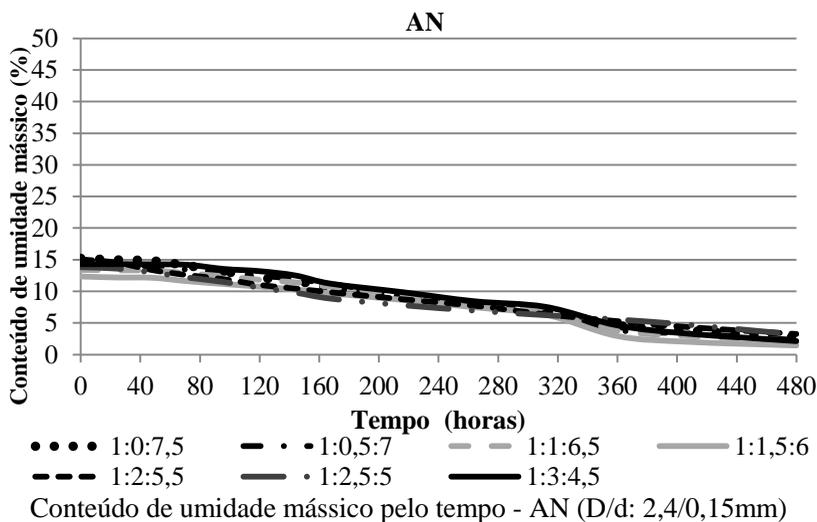
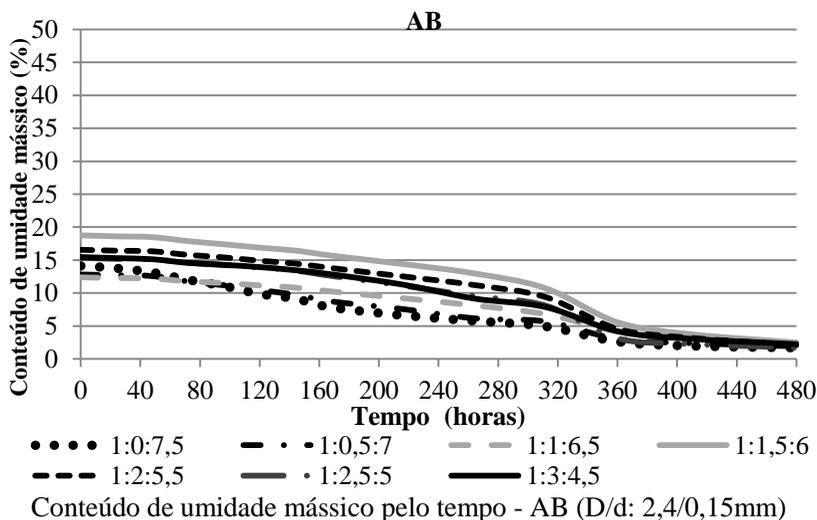
Na Tabela abaixo está à verificação da influência do RCD e do RCD-M (traço rico)

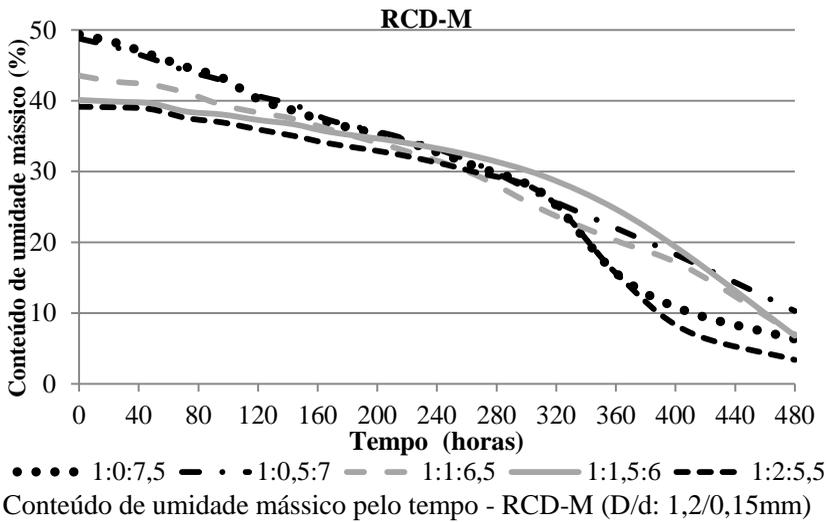
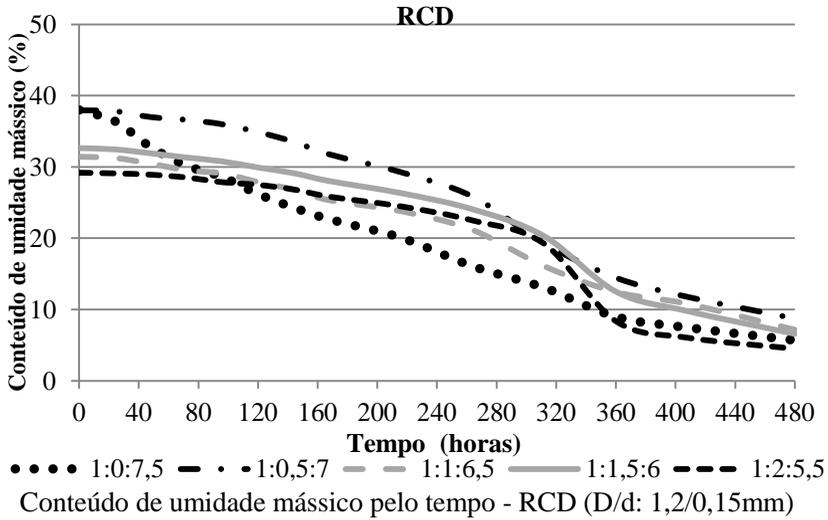
<b>Tabela ANOVA</b>					
<b>Fonte</b>	<b>SQ</b>	<b>GDL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>F<math>\alpha_{0,05}</math></b>
<b>Material</b>	20,74	1	20,74	10,78	7,71
<b>Quant. Finos</b>	15,49	4	3,87	2,01	6,39
<b>Resíduo</b>	7,69	4	1,92		
<b>Total</b>	43,92	9			

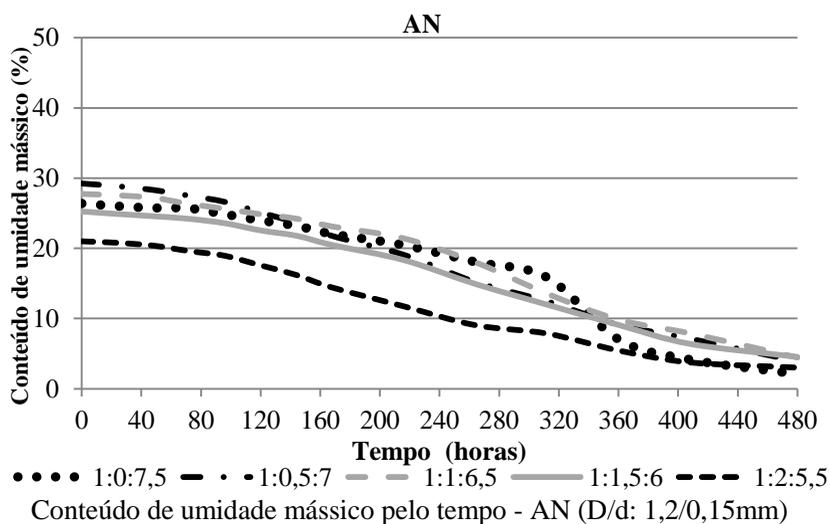
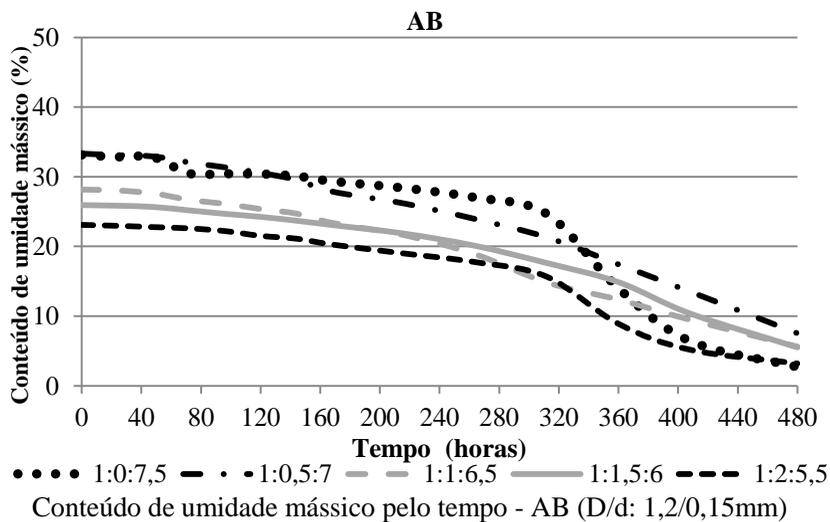
Portanto, com 95% de confiança pode-se afirmar que a molhagem prévia influenciou o módulo de elasticidade, mas a adição de finos não.

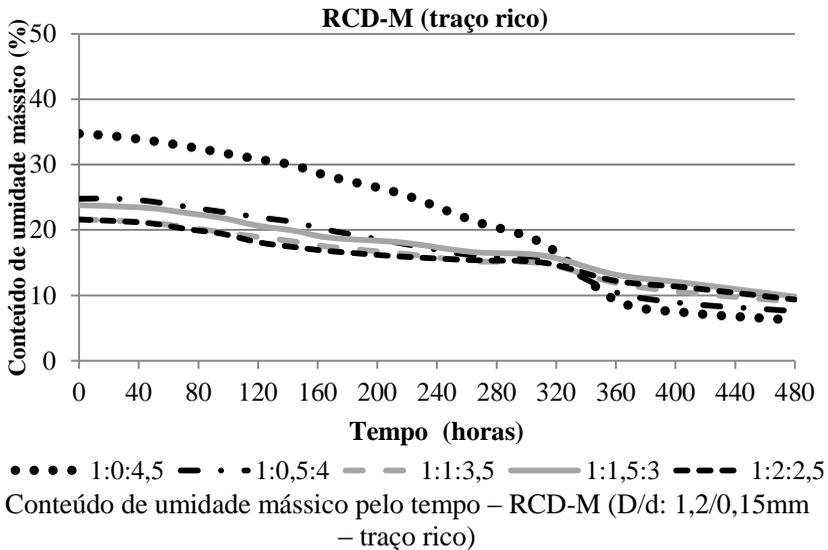
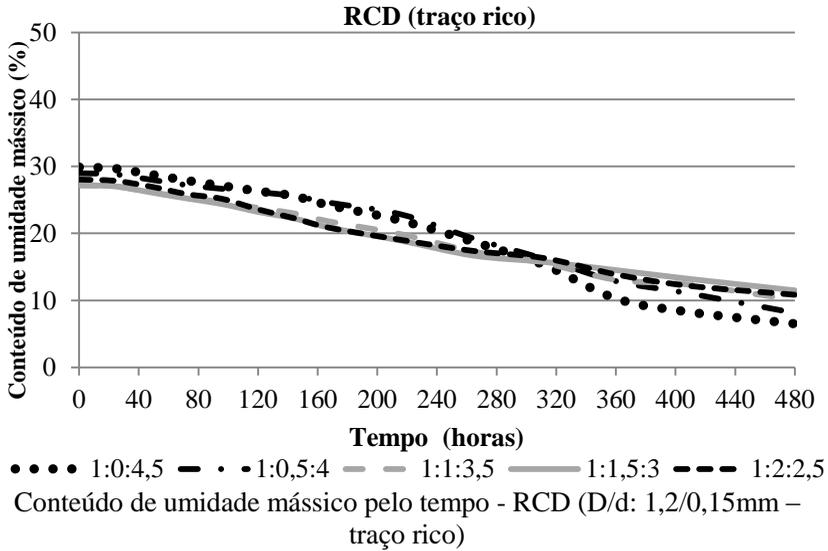
### APÊNDICE 3: Secagem ao ar











#### APÊNDICE 4: Absorção de água por capilaridade

