LEONARDO FAGUNDES ROSEMBACK MIRANDA

ESTUDO DE FATORES QUE INFLUEM NA FISSURAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM ENTULHO RECICLADO

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

SÃO PAULO

2000

LEONARDO FAGUNDES ROSEMBACK MIRANDA

ESTUDO DE FATORES QUE INFLUEM NA FISSURAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM ENTULHO RECICLADO

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:
Sílvia Maria de Souza Selmo

SÃO PAULO

2000

Miranda, Leonardo Fagundes Rosemback

Estudo dos Fatores que Influem na Fissuração de Revestimentos de Argamassa com Entulho Reciclado. São Paulo, 2000.

172p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1. Fissuração 2. Revestimentos 3. Argamassa 4. Entulho 5. Reciclagem I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t

A Deus,

aos meus pais, Lício e Maria Aparecida

e à Vívian.

AGRADECIMENTOS

Na conclusão de mais esta etapa de minha vida, aproveito a oportunidade para externar meus sinceros agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar e em especial, agradeço a Prof. Drª. Sílvia Maria de Souza Selmo que, durante toda a pesquisa, mostrou ser uma excelente orientadora e também uma grande amiga, sempre presente nos momentos mais difíceis e a quem muito devo esta etapa da minha formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP – e ao Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP que viabilizaram a realização e a infra-estrutura para esta pesquisa.

Aos professores Mércia Barros e Vladimir Paulon pelas contribuições dadas no Exame de Qualificação, ao final deste trabalho.

À equipe do laboratório, Reginaldo, Dorval, Adilson, João, Renata, Joaquim, Antônio e principalmente ao Mário, pelo auxílio prestado durante a fase experimental da pesquisa.

À Patrícia e ao Rogério, do setor de informática, pela presteza com a qual atenderam às minha diversas solicitações.

À Associação Brasileira de Cimentos Portland – ABCP – pela realização dos ensaios de caracterização do cimento, granulometria a laser e a vácuo, bem como a Difração de Raios X.

À ANVI, pelo empréstimo do equipamento utilizado para moagem do entulho.

Ao LCTM, do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP, pela atenção e rápido atendimento nas análises iniciais de granulometria a laser.

À Glasser pela doação dos blocos de concreto utilizados na pesquisa.

Às secretárias Fátima, Engrácia, Cris, Alcione, Ivana e Iara e ao Paulinho, pela atenção; à Fátima, Leo e ao Fernando pela ajuda nas consultas feitas na biblioteca.

Aos meus verdadeiros amigos que torceram pelo sucesso deste trabalho.

Aos meus pais, Lício e Maria Aparecida Miranda, às minhas irmãs Carmem Lúcia e Cristiane, aos meus sobrinhos Rafael e Carolina, ao meu cunhado Edilberto e à minha namorada Vívian, pelo apoio, ensinamentos e alegrias que me deram durante toda minha vida e que juntos representam o que possuo de mais valioso: minha família.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO 1

1.1.1 IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM 1

1.1.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS NA RECICLAGEM 4

1.1.3 ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DA RECICLAGEM 6

1.2 A FISSURAÇÃO EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E O ENTULHO RECICLADO 8

1.3 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO 9

1.4 CONTEÚDO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 10

2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA – ORIGENS, CAUSAS E FATORES QUE INFLUENCIAM A FISSURAÇÃO 11

2.1 TRADIÇÃO DE USO INTENSO E EMPÍRICO DE ARGAMASSAS PELA CONSTRUÇÃO CIVIL 11

2.2 FREQUÊNCIA E ORIGENS DA FISSURAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS 13

2.3 TIPOS DE FISSURAS EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA E MECANISMOS BÁSICOS DE FORMAÇÃO 15

2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM A FISSURAÇÃO MAPEADA DOS REVESTIMENTOS 18

2.4.1 TÉCNICA DE EXECUÇÃO 18

2.4.2 RESTRIÇÃO DO SUBSTRATO À RETRAÇÃO E PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO 21

2.4.3 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS 22

2.4.3.1 Trabalhabilidade e retração 22

2.4.3.2 Demais propriedades de desempenho 24

2.4.4 NATUREZA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES 25

2.4.4.1 Natureza dos agregados 25

2.4.4.2 Natureza dos aglomerantes 27

2.4.5 DETALHAMENTO CONSTRUTIVO E CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS 28

3 ESTUDO EXPERIMENTAL DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS DOSADAS COM DIFERENTES ENTULHOS E PELO CRITÉRIO DO *TEOR TOTAL DE FINOS* < 75 μm 29

3.1 OBJETIVO E HIPÓTESES DO TRABALHO 29

3.2 RESUMO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 29

3.3 CRITÉRIO DE DOSAGEM DOS ENTULHOS NAS ARGAMASSAS 33

3.4 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NAS ARGAMASSAS 33

3.4.1 CIMENTO 33

3.4.2 AGREGADO MIÚDO 34

3.4.3 ENTULHOS RECICLADOS 34

3.4.3.1 Composições iniciais preestabelecidas 34

3.4.3.2 Preparo de amostras e partidas de moagem dos entulhos básicos 35

3.4.3.3 Análise do método de ensaio mais indicado para a determinação do teor de finos < 75 μm dos entulhos básicos 38

3.4.4 CAL HIDRATADA 41

3.5 SUBSTRATO DOS REVESTIMENTOS E TESTE ORIENTATIVO PARA USO DE CHAPISCO 42

3.6 EXEMPLO DE CÁLCULO DOS TRAÇOS DAS ARGAMASSAS PELO CRITÉRIO DE DOSAGEM DO *TEOR TOTAL DE FINOS* < 75 μM 44

3.7 ESTUDOS PRELIMINARES PARA SELEÇÃO DOS TIPOS DE ENTULHOS, TRAÇO E *TEOR TOTAL DE FINOS* < 75 μM DAS ARGAMASSAS UTILIZADAS NA EXECUÇÃO DOS REVESTIMENTOS 46

3.7.1 ESTUDO INICIAL DE TRABALHABILIDADE PARA CONFIRMAR A ADEQUAÇÃO DO CRITÉRIO PREESTABELECIDO DE DOSAGEM DOS ENTULHOS 46

3.7.2 ESCOLHA DO TRAÇO E DAS COMPOSIÇÕES DE ENTULHO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS A SEREM APLICADAS EM GRANDES PAINÉIS 50

3.8 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS SELECIONADAS 53

3.8.1 CURVA GRANULOMÉTRICA TEÓRICA DAS COMPOSIÇÕES ANIDRAS 54

3.8.2 MÉTODO DE MISTURA DAS ARGAMASSAS 55

3.8.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO 56

3.8.3.1 Índice de consistência 56

3.8.3.2 Manutenção da consistência em função do tempo 56

3.8.3.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado 57

3.8.3.4 Retenção de água 57

3.8.3.5 Consumo de materiais e custo por m³ de argamassa 57

3.8.4 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO 59

3.8.4.1 Moldagem e cura dos corpos-de-prova 59
3.8.4.2 Resistência à tração na flexão 60
3.8.4.3 Resistência à compressão simples 61
3.8.4.4 Módulo de elasticidade 62
3.8.4.5 Retração por secagem 63
3.9 ANÁLISE COMPLEMENTAR DE ALGUMAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO PARA AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA NATUREZA DO ENTULHO 64
3.10 EXECUÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA 65
3.11 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS 68
3.11.1 CARACTERIZAÇÃO COMPLEMENTAR DAS ARGAMASSAS APLICADAS COMO REVESTIMENTO 68
3.11.2 CONTROLE DA FISSURAÇÃO PELA SECAGEM NATURAL DOS REVESTIMENTOS 69
3.11.3 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO 69
3.11.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA CAPILAR PELO MÉTODO DO CACHIMBO 70
3.11.5 RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO, POR MÉTODO IPT 71
3.11.5.1 Influência do choque térmico na aderência dos revestimentos 74
3.11.5.2 Influência do choque térmico na fissuração dos revestimentos 74
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS ARGAMASSAS E DOS REVESTIMENTOS 75
4.1 CURVA GRANULOMÉTRICA TEÓRICA DAS COMPOSIÇÕES ANIDRAS 75
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO 76
4.2.1 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (A/C) E ÁGUA/MATERIAIS SECOS (H) 77
4.2.2 MANUTENÇÃO DE CONSISTÊNCIA 80
4.2.3 DENSIDADE DE MASSA E TEOR DE AR APRISIONADO 82
4.2.4 RETENÇÃO DE ÁGUA 85
4.2.5 CONSUMO DE MATERIAIS E CUSTO POR M³ DE ARGAMASSA 86
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO 88
4.3.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO 88
4.3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 90
4.3.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE 91
4.3.4 RETRAÇÃO POR SECAGEM 93
4.4 ANÁLISE COMPLEMENTAR DA INFLUÊNCIA DA NATUREZA DO ENTULHO NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO 96
4.5 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS 99

4.5.1 CARACTERIZAÇÃO COMPLEMENTAR DAS ARGAMASSAS APLICADAS COMO REVESTIMENTO 99
4.5.1.1 Relação água/cimento e consumo de cimento 99
4.5.1.2 Resistência à tração na flexão 100
4.5.1.3 Resistência à compressão 101
4.5.2 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS SEM CHOQUE TÉRMICO 102
4.5.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA CAPILAR PELO MÉTODO DO CACHIMBO 103
4.5.4 CONTROLE DA FISSURAÇÃO EM FUNÇÃO DA IDADE 104
4.5.5 RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO, MÉTODO IPT 106
4.5.5.1 Influência do choque térmico na aderência dos revestimentos 107
4.5.5.2 Influência do choque térmico na fissuração dos revestimentos 109
4.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS VERSUS O DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS 111

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 115

5.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO EXPERIMENTAL 115
5.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS 119

ANEXOS 120

ANEXO A Caracterização química, física e mecânica dos cimentos utilizados 121

ANEXO B Caracterização da cal CH I usada no assentamento da alvenaria e na a produção da argamassa de referência 123

ANEXO C Caracterização do agregado miúdo e dos entulhos 124

ANEXO D Composição de alvenarias demolidas 126

ANEXO E Resultados do ensaio de granulometria a laser 133

ANEXO F Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas e desempenho dos revestimentos 138

F.1 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão 139

F.2 – Resultados do ensaio de resistência à compressão 140

F.3 – Resultados do ensaio de módulo de elasticidade 141

F.4 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado na mesma argamassa dos revestimentos e com a cura em câmara úmida 142

F.5 – Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado na mesma argamassa dos revestimentos e com a cura em câmara seca 143

F.6 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado na mesma argamassa dos revestimentos e com a cura em câmara úmida 144

F.7 – Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado na mesma argamassa dos revestimentos e com a cura em câmara seca 145

F.8 – Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos 146

F.9 – Resultados do ensaio de absorção capilar pelo método do cachimbo nos revestimentos, após 15 minutos 150

ANEXO G Caracterização dos blocos de concreto utilizados como substrato dos revestimentos 151

ANEXO H Resultados das medições dos tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução dos revestimentos 152

ANEXO I Análise de variância dos resultados do ensaio de resistência de aderência à tração 163

ANEXO J Variação do teor total de finos < 75 μm nas argamassas, de acordo com o método de ensaio utilizado 165

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comparação do teor de contaminantes presentes em amostras abaixo de 8 mm de diâmetro, nos casos de demolição e desmantelamento (RUCH et al., 1997b). 7

Figura 2: Retração por secagem aos 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes em pó, em função da porcentagem de finos totais menores que 75 μm, sendo a cura em câmara seca a 50% ± 4% U.R e o consumo médio de cimento igual a 144 kg/m³. (SELMO; BUCHER, 1990). 24

Figura 3: Objetivos do trabalho e fatores investigados. 30

Figura 4: Fases do estudo experimental. 31

Figura 5: Fases do estudo experimental. 32

Figura 6: Equipamento de moagem com bloco cerâmico moído. 36

Figura 7: Curvas granulométricas dos entulhos básicos resultantes nas duas partidas de moagem realizadas, identificadas na legenda por "1" e "2".....37

Figura 8: Curvas granulométricas dos entulhos básicos moídos na 2ª partida, da areia de rio usada como agregado miúdo e do cimento da 1ª partida.....38

Figura 9: Vista de uma parte do conjunto de 15 pórticos de blocos de concreto, ainda sem o chapisco, utilizados na execução dos revestimentos. 42

Figura 10: Fissuras no revestimento de argamassa mista de cimento, cal e areia (1 : 1 : 8, massa seca), com espessura de 15 mm, sobre o substrato de bloco de concreto sem chapisco, o que não ocorreu quando a base foi chapiscada, conforme a Tabela 4. 44

Figura 11: Exemplo de aplicação da Equação 1, utilizada para dosagem das argamassas. 46

Figura 12: Estudo inicial de trabalhabilidade: **(a)** Aplicação e desempenamento das argamassas em substrato de alvenaria de blocos de concreto; **(b)** Haste e cuba utilizadas para a mistura das argamassas.....47

Figura 13: Resultados médios de "H", obtidos no estudo prático de trabalhabilidade, conduzido com dois pedreiros funcionários do SENAI e com os tipos de entulho descritos na Tabela 2. Traços com *teor total de finos* < *75 μm* constante e igual a 19%.....48

Figura 14: Variações da relação água/cimento (a/c), pelo estudo prático de trabalhabilidade, conduzido com dois pedreiros do SENAI e com os tipos de entulho identificados na Tabela 2. Traços com *teor total de finos* < *75 μm* constante e igual a 19%. 49

Figura 15: Índice de consistência das argamassas pela NBR 13276 (ABNT, 1995), com relação água/materiais secos constante e igual a 24%, em massa e utilizando-se os entulhos da primeira partida de moagem.....52

Figura 16: Retenção de água das argamassas pela NBR 13277 (ABNT, 1995) e com relação água/materiais secos constante e igual a 24%, em massa e utilizando-se os entulhos da primeira partida de moagem. 52

Figura 17: Mesa de consistência utilizada na determinação da consistência das argamassas e no ensaio de manutenção de consistência.....57

Figura 18: Equipamento utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm, utilizados nos ensaios mecânicos de tração na flexão, compressão e módulo de elasticidade.....60

Figura 19: Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos-de-prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, com vão livre de 100 mm, conforme a EN 1015 – Part 11. 61

Figura 20: Ensaio de resistência à compressão em metades dos corpos-de-prova de flexão e com dimensões aproximadas de 40 mm x 40 mm x 80 mm, conforme a EN 1015 – Part 11.....62

Figura 21: Ensaio de módulo de elasticidade secante à compressão em corpos-de-prova de 40 mm x 40 mm x 80 mm, feito por 3 ciclos de carregamentos, em analogia à NBR 7190 (ABNT, 1996). 63

Figura 22: Aparelho comparativo da NBR 8490 (ABNT, 1984) de medida de retração linear por secagem em corpos-de-prova de 25 mm x 25 mm x 285 mm.....63

Figura 23: Leiaute em planta da disposição dos pórticos no laboratório do PCC-USP. Os pórticos destinados ao ensaio de choque térmico possuem o mesmo traço de argamassa em ambas as faces. Cada face de pórtico numerada de 1 até 38 corresponde a área de revestimento com cerca de 3 m². 66

Figura 24: Execução do desempenamento no revestimento de argamassa 18% T4, na região definida como precoce (metade superior). 67

Figura 25: Vista geral dos revestimentos de argamassas executados no laboratório do PCC-USP para análise de desempenho conforme os ensaios descritos no item 3.11 a seguir. 68

Figura 26: Pastilhas de alumínio coladas no revestimento 25% T2 para ensaio de aderência à tração, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), sendo realizado nas áreas sarrafeadas em tempo ótimo e precoce.....70

Figura 27: Ensaio de absorção pelo método do cachimbo, de origem francesa e estudado inicialmente para revestimentos de argamassa no Brasil por POLISSENI (1985) e SELMO (1989).....71

Figura 28: Equipamento e acessórios para o ensaio resistência ao choque térmico, com base no método IPT (1998): **a)** Perfil do equipamento de aquecimento desligado; **b)** Equipamento em funcionamento; **c)** Termômetro a laser, marca MiniTemp, usado para controle da temperatura superficial do revestimento (80 ºC ± 5 ºC, neste trabalho).....73

Figura 29: Etapa de molhagem dos revestimentos no ciclo de choque térmico. **a)** Balde e calha utilizados para captação da água; **b)** tubo de PVC perfurado encaixado na parte superior do pórtico molhando toda a superfície do revestimento. Por este processo, resfriou-se os revestimentos de 80 ºC para cerca de 36 ºC em 5 minutos. 73

Figura 30: Curva granulométrica teórica das treze argamassas estudadas, conforme a Tabela 6. 76

Figura 31: Relação água/cimento total e corrigida em função da absorção dos entulhos, para obtenção do índice de consistência das argamassas igual a 285 mm ± 15 mm pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.....78

Figura 32: Relação água / cimento corrigida das argamassas, em função *teor total de finos < 75 μm* μm na mistura seca, com variação contrária à esperada em função das características muito finas da areia de rio. Traço das argamassas na Tabela 6. 79

Figura 33 (a) e (b): Variação de consistência das argamassas em função do tempo, com o índice medido de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 81

Figura 34: Taxa de perda de consistência das argamassas testadas, em relação ao *teor total de finos < 75 μm*, para o intervalo de tempo de 0 a 1,5 horas. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 82

Figura 35: Densidade de massa das argamassas, pela NBR 13278 (ABNT, 1995), com os maiores resultados encontrados para as argamassas do tipo T6. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 83

Figura 36: Teor de ar aprisionado teórico das argamassas, calculado pela NBR 13278 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 84

Figura 37: Teor de ar aprisionado calculado em função da relação água/cimento corrigida das argamassas conforme a NBR 13278 (ABNT, 1995), mostrando a boa correlação entre as duas propriedades. 85

Figura 38: Retenção de água das argamassas, pela NBR 13277 (ABNT, 1995), com os valores dentro do intervalo normalmente encontrado para argamassas mistas convencionais. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 86

Figura 39: Resistência à tração na flexão das argamassas, aos 28 dias de idade, em função da relação água / cimento corrigida, sendo o ensaio conforme a norma EN 1015 – Part 11. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias. 89

Figura 40: Resistência à compressão das argamassas, a 28 dias de idade, em função da relação água/cimento corrigida, sendo o ensaio conforme a EN 1015 - Part 11. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias. 90

Figura 41: Resistência à tração na flexão em função da resistência à compressão, para as treze argamassas caracterizadas (Tabela 6 e Tabela 8), em ensaio segundo a EN 1015 – Part 11. 91

Figura 42: Módulo de elasticidade secante das argamassas aos 28 dias em função da relação água / cimento corrigida, determinado em analogia à NBR 7190 (ABNT, 1996). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias. 92

Figura 43: Módulo de elasticidade secante das argamassas a 28 dias de idade, em função da resistência mecânica, com o método de ensaio e cálculo explicados no item 3.8.4.4. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias. 93

Figura 44: Perda de umidade das argamassas em função da idade, a partir da retirada dos corpos-de-prova da câmara saturada de umidade. 94

Figura 45: Retração por secagem das argamassas segundo a NBR 8490 (ABNT, 1984) em função da idade, sendo que após 35 dias não se observaram mais variações expressivas na retração das barras. Barras mantidas em câmara saturada de umidade até 7 dias e após em câmara seca (U.R.= 55% ± 10% e T = 24 ºC ± 5 ºC). 94

Figura 46: Retração por secagem das argamassas estudadas até 63 dias, em corpos-de-prova da NBR 8490 (ABNT, 1984), em função do *teor total de finos < 75 μm*. Barras mantidas em câmara saturada de umidade até 7 dias e após em câmara seca (U.R.= 55% ± 10% e T = 24 ºC ± 5 ºC). 95

Figura 47: Retração por secagem inicial das argamassas em função do teor de umidade dos corpos-de-prova. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 96

Figura 48: Relação água/cimento corrigida das argamassas obtidas em argamasseiras na caracterização inicial, conforme o item 4.2.1, e depois quando preparadas em betoneiras de 500 L para execução dos revestimentos. 100

Figura 49: Resistência à tração na flexão das argamassas conforme a EN 1015 - Part 11, mas preparadas em betoneiras de 500 L para a execução dos revestimentos. Os cps receberam dois tipos de cura, permanente em câmara úmida (U.R. > 95%) e permanente em câmara seca (U.R. = 50%), até 28 dias, idade do ensaio..... 101

Figura 50: Resistência à compressão das argamassas conforme a EN 1015 - Part 11, mas preparadas em betoneiras de 500 L para a execução dos revestimentos. Os cps receberam dois tipos de cura, permanente em câmara úmida (U.R. > 95%) e permanente em câmara seca (U.R. = 50%), até 28 dias, idade do ensaio..... 102

Figura 51: Resistência de aderência à tração aos 28 dias, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), em função da relação água / cimento corrigida, para os revestimentos com as composições indicadas na Tabela 6 e na Tabela 13. 103

Figura 52: Resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo, descrito no item 3.11.4, onde não se observa diferença significativa para as argamassas com entulho estudadas. 104

Figura 53: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração na região de tempo precoce, após 8 meses de execução dos revestimentos, antes e após o ensaio de choque térmico. 107

Figura 54: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração em função da relação água / cimento corrigida, realizado nas áreas de sarrafeamento em tempo ótimo e precoce após o ensaio de choque térmico..... 108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de LEVY (1997), resumindo as propriedades de argamassas com entulho reciclado, para traços em volume e agregado úmido. 26

Tabela 2: Composições de entulho reciclado, preestabelecidas para uma seleção inicial de três tipos, a partir das proporções teóricas calculadas conforme o **ANEXO D.** 35

Tabela 3: Resultados médios dos métodos testados para a determinação da quantidade de finos menores que 75 μm nos entulhos reciclados. 40

Tabela 4: Resultados do teste de avaliação da necessidade de chapisco, feito para 2 alvenarias com 2,5 m^2 cada. 43

Tabela 5: Consumo de materiais de argamassas com entulho. 51

Tabela 6: Argamassas utilizadas na pesquisa e submetidas à caracterização indicada na última coluna. 54

Tabela 7: Distribuições granulométricas de agregados definidas pela DTU 26.1/78, NBR 7200/82, BSI 5262/76 e IPT ES-5/1981 para utilização em argamassas. 64

Tabela 8: Resumo das características das argamassas no estado fresco, misturadas conforme o item 3.8.2, com os traços e composições da Tabela 6, sendo as propriedades medidas como descrito nos itens 3.8.3.1 a 3.8.3.5. 77

Tabela 9: Consumo de materiais e custo do m^3 das argamassas analisadas, calculados conforme descrito no item 3.8.3.5, sendo que o custo relativo refere-se ao valor do m^3 das argamassas com entulho em relação à mista usada como referência. 87

Tabela 10: Resumo dos resultados obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. 88

Tabela 11: Resumo dos resultados encontrados de consistência, densidade de massa e teor de ar aprisionado para as argamassas no traço 1 : 9 em massa, com relação água / materiais secos fixada em 17% e distribuição granulométrica contínua, normalizada pelo DTU 26.1/78, conforme descrito em 3.9. 97

Tabela 12: Consistência das argamassas com a distribuição granulométrica das misturas que constam na Tabela 11, porém sem material menor que 0,15 mm e com a relação água / cimento corrigida fixada em 1,7 (H = 17%). 98

Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos na avaliação de desempenho dos revestimentos. Traço das argamassas na Tabela 6 com a dosagem de água modificada para a que consta abaixo. 99

Tabela 14: Resultados da contagem de fissuras nos revestimentos, aplicados sobre três faces dos pórticos, para cada tipo de argamassa. As áreas de sarrafeamento precoce e ótimo são de 1,5 m^2, metade de cada face dos pórticos utilizados. Vista geral na Figura 25 e detalhes no leiaute na Figura 23. 105

Tabela 15: Fissuras visíveis a olho nu, em cada revestimento de argamassa, antes e depois do ensaio de choque térmico, em cm / m^2. 109

Tabela 16: Análise qualitativa da influência do choque térmico no surgimento de microfissuras nos revestimentos, visíveis apenas por umedecimento superficial. 110

ESTUDO DE FATORES QUE INFLUEM NA FISSURAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM ENTULHO RECICLADO

Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

RESUMO

Muitas cidades brasileiras têm sofrido com o grave problema do elevado volume de entulho gerado pela construção civil, em obras novas, reformas e demolições. Por outro lado, pode ser muito amplo o potencial de emprego de entulhos reciclados como agregados em argamassas de assentamento e revestimento, considerando-se o elevado consumo desses materiais no processo construtivo tradicional. Mas, para se viabilizar estas aplicações, a fissuração de revestimentos é uma das propriedades críticas de desempenho que devem ser controladas e minimizadas, sendo por isto o tema desta dissertação.

O objetivo principal do trabalho foi contribuir para a proposição de parâmetros que possam prevenir a fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado, pelo estudo de fatores relativos ao tipo de entulho, ao seu proporcionamento nas argamassas e à técnica de execução desses revestimentos.

A parte experimental foi planejada com base nas hipóteses de que os fatores que influem na fissuração mapeada dos revestimentos de argamassa com entulho reciclado são decorrentes: *a)* da natureza ou do teor excessivo de *finos* $< 75\ \mu m$ na argamassa, procedentes do entulho reciclado; *b)* da execução inadequada do revestimento, no que diz respeito à não observância de um tempo ótimo de sarrafeamento; *c)* da ciclagem termo-higroscópica que os revestimentos podem ficar sujeitos, após execução e antes de receberem o acabamento final. O plano experimental incluiu em sua fase principal a execução e caracterização de 90 m^2 de revestimento com 10 traços de argamassas. Além de ensaios de caracterização das argamassas, os principais ensaios dos revestimentos envolveram o seu desempenho quanto à fissuração, absorção de água por capilaridade e resistência de aderência à tração, caracterizando-se após 180 dias o seu desempenho frente a ciclos de choque térmico, por aquecimento a 80 ºC e resfriamento brusco por umedecimento superficial.

Os resultados obtidos indicam que o entulho de construção reciclado pode ser utilizado para a produção de revestimentos, em argamassas simples de cimento Portland, obtendo-se bom acabamento superficial, resistência de aderência à tração e baixos níveis de fissuração. Mas recomenda-se controlar o *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ nas argamassas, para evitar excesso de refinamento dos poros, principalmente em se tratando de entulhos com elevado teor de argamassas mistas, e reduzir a exposição de revestimentos externos, a ciclos de umedecimento e secagem, por medidas adequadas de projeto e execução. Para a reciclagem de entulho em usinas, visando-se a produção de argamassas, recomenda-se fazer um controle granulométrico do entulho entre as dimensões de 2,4 mm até 0,15 mm, descartando o material passante nesta abertura de malha e utilizando um outro material como plastificante, como por exemplo a cal, se isto for economicamente viável.

STUDY OF FACTORS INFLUENCING CRACKING IN RECYCLED WASTE PLASTER

Leonardo Fagundes Rosemback Miranda

ABSTRACT

Many Brazilian cities have suffered with the serious problem caused by the great amount of waste generated by civil construction, be it in new constructions, improvements or demolitions. On the other hand, the potential for employing recycled waste as aggregate in mortars and plaster may be very wide, considering the high consumption of these materials in the traditional building process. But, to make these applications viable, the plaster cracking is one of the critical performance properties which must be controlled and minimized; thus the theme of this dissertation.

This work aimed mainly to contribute to the proposition of parameters which can prevent the cracking in plaster from recycled waste mortar, through the study of factors concerning the kind of waste, its proportion in the mortars and the technique used in executing these plasters.

The experimental part was planned based on the hypotheses that the factors influencing this mapped cracking in the plaster from recycled waste mortar derive from: a) nature or excessive *fines* $< 75\ \mu m$ in the mortar, originating in the recycled waste; b) the inadequate execution of the plaster, concerning the non-observance of leveling optimum time; c) the thermo-hygroscopic cycling which the plasters may be subjected to, after execution and before receiving the finishing. The experimental plan, in its initial phase, included the execution and characterization of a 90 m^2 plaster with 10 traces of mortars. Besides the mortar characterization essays, the main plaster essays involved its performance concerning cracking, capillarity water absorption and adherence resistance to traction, having its performance characterized after 180 days after undergoing thermal shock cycles, being heated to 80º C and suffering sudden cooling by superficial wetting.

The results obtained show that the recycled building waste may be used to produce plasters in simple Portland cement mortar, producing good superficial finishing, adherence resistance to traction and low cracking levels. However, it is recommended to control the *total fines* $< 75\ \mu m$ in the mortars, to avoid excessive pore refinement, especially concerning wastes with a high level of mixed mortars, besides reducing the exposition of external plasters to wetting and drying cycles, using adequate planning and execution measures. To recycle the waste in plants, aiming mortar production, it is recommended to proceed a granulometric control of the waste from a dimension of 2.4 mm up to 0.15 mm, discarding the material that passes this mesh opening and using another material as a plastifier, such as lime for example, if economically viable.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Reciclagem do entulho de construção

O termo “entulho de construção” é aqui usado para designar as sobras e rejeitos de materiais minerais oriundos do processo construtivo de obras novas ou de reformas e demolições e foi sintetizado de LEVY (1997).

Já a seleção e o tratamento adequados desse material dão origem ao chamado “entulho reciclado”, que foi normalizado pela NBR 13529 (ABNT, 1995) como “material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolos com dimensão máxima característica de 2,4 mm”.

De acordo com RUCH et al. (1997b), o entulho de construção e demolição pode ser dividido em três categorias:

a) a fração reutilizada: consiste de elementos de construção que podem ser transformados diretamente em sua forma original e usados em sua função original. Exemplos: janelas, grades de sacadas, etc.;

b) a fração reciclada: consiste em materiais que não retêm nem a sua forma nem a sua função original. Exemplo: componentes minerais, que são os estudados neste trabalho;

c) a fração descartada: consiste em componentes não desejados na reciclagem (predominantemente não minerais), como elementos poluentes, e que são descartados.

A construção civil é, em qualquer sociedade, o setor responsável pelo consumo do maior volume de recursos naturais, em estimativas que variam entre 15% e 50% dos recursos extraídos, além de seus produtos serem grandes consumidores de energia, o que bem alerta JOHN (1999) com base em levantamentos feitos no estrangeiro. Por isso, torna-se extremamente necessário reciclar os resíduos gerados.

1.1.1 Importância da reciclagem

Muitas cidades brasileiras têm sofrido com o grave problema que é o elevado volume de entulho gerado pela construção civil, tanto por obras novas quanto em reformas e

demolições. Enchentes, poluição visual, escassez de aterros e falta de matéria-prima são apenas alguns exemplos dos problemas causados por este desperdício e falta de consciência do setor.

É muito importante que sejam desenvolvidas técnicas construtivas que diminuam o volume do entulho gerado por obras novas, mas apenas isto não resolve o problema. Existe ainda os entulhos de reformas e demolições que só podem ser combatidos através da educação social para a reciclagem.

Apesar do entulho de construção nunca ter sido o alvo das administrações públicas, talvez por não serem tóxicos[1], nesta última década esta situação tem mudado, tanto que foi classificado como resíduo prioritário por Comissão da Comunidade Européia (CEC) (RUCH et al., 1997a).

O volume de entulho de construção gerado em todo o mundo é alarmante. Por ano, são produzidos na Alemanha cerca de 33 milhões de toneladas (RUCH et al., 1997b). Na Inglaterra, chega a 70 milhões de toneladas por ano (FREEMAN; HARDER, 1997) e, na França, de 20 a 25 milhões (BOILEAU, 1997). No oeste da Europa, a quantidade é cerca de 0,7 a 1 tonelada por habitante, quase 2 vezes a massa do resíduo sólido municipal (SIMONS; HENDERIECKX, 1993).

No Brasil, PINTO (1986) estimou um índice médio de produção de entulho de 0,9 toneladas por metro quadrado construído e, aplicando este índice para a cidade de São Carlos, como exemplo, obteve o cálculo de treze mil toneladas de entulho ao mês. LEVY (1997) chegou ao valor de 1100 m^3 / dia de entulho gerado apenas na cidade de São Paulo, considerando um coeficiente de 0,10 m^3/m^2 construído. Dados mais recentes de PINTO (1999) mostram que no Brasil é gerado 0,52 toneladas de entulho por habitante e por ano, representando de 54% a 61% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

Todo este volume de entulho está tornando os aterros urbanos regulares cada vez mais esgotados. Além disso, devido à distância desses aterros, muitas vezes o entulho é jogado em bota-foras clandestinos, tornando-se uma fonte geradora de problemas e de

---

[1] Classificados como Classe 1 pela NBR 10004 (ABNT, 1987)

constantes prejuízos para as cidades, como por exemplo, agravando as enchentes urbanas. Assim, além de causarem a degradação ambiental, aumentam expressivamente os custos da administração municipal. São Paulo, por exemplo, gasta R$ 4,5 milhões por mês na remoção de despejos clandestinos (BRITO, 1999).

PINTO (1986) aponta ainda outras razões para a reciclagem do entulho, relacionadas à preservação ambiental, tais como o esgotamento de reservas de matéria-prima e o volume crescente de resíduos sólidos descartados.

O tema tem sido estudado por vários países desenvolvidos, como Holanda, Bélgica, França, Japão, Alemanha e Grã-Bretanha. Em toda a Europa, os entulhos de demolição de edifícios são reciclados. Como exemplo, na Alemanha se recicla cerca de 60% do entulho gerado; na Holanda, mais de 80% (CABRERA et al, 1997).

A reciclagem do entulho como material de construção civil encontra-se muito atrasada no Brasil, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas e, especialmente, se comparada à dos países europeus.

Todavia, de acordo com PINTO (1997), no Brasil já existem sete cidades que decidiram investir no entulho de construção através da instalação de usinas de reciclagem. Essas cidades são: Belo Horizonte (duas usinas) e Muriaé, em Minas Gerais, São Paulo, Ribeirão Preto, São José dos Campos e Piracicaba, no estado de São Paulo e Londrina/PR. No caso de Belo Horizonte, os resultados econômicos foram três vezes superior aos investimentos realizados, sendo estes da ordem de R$ 130.000. Isso graças ao baixo custo da reciclagem, que no caso de instalações baseadas em britadores de impacto está em torno de R$ 4/ton, e à otimização da limpeza urbana oferecida pelos pontos de captação.

Diante do exposto, fica claro que a reciclagem do entulho não é apenas um modismo, mas uma questão de administração pública das mais prementes e que necessita da implementação de políticas apartidárias e que somente terão êxito, se calcadas no desenvolvimento tecnológico dos processos e dos materiais envolvidos.

A pesquisa tecnológica sobre o emprego do entulho de construção iniciou no Brasil pelo trabalho de PINTO (1986), e depois de forma esporádica por mais alguns autores, quais sejam: CAMARGO (1995), HAMASSAKI et al. (1996) e LEVY (1997).

No tocante ao estudo das argamassas de revestimento de paredes e tetos com entulho reciclado, o trabalho de LEVY (1997) foi um dos primeiros no Brasil a abordar esta aplicação. Cita este autor que “poucos trabalhos foram encontrados na literatura que permitissem avaliar o desempenho e a durabilidade destas argamassas ao longo do tempo”.

LEVY (1997) realizou diversos experimentos em argamassas, mas não analisou propriedades importantes no desempenho dos revestimentos com entulho reciclado, quais sejam: controle de fissuração, resistência de aderência à tração e permeabilidade à água.

1.1.2 Dificuldades encontradas na reciclagem

Apesar do entulho de construção vir sendo utilizado em obras de engenharia desde a Roma antiga e até mesmo existirem locais como Londres, Berlim e Varsóvia que são exemplos de cidades reconstruídas com os escombros produzidos durante a II Guerra Mundial (CABRERA et al., 1997), a sua reciclagem em grande escala tem encontrado algumas dificuldades.

A inexistência de marcas de qualidade ambiental de produtos, algumas vezes chamados de “selo verde”, demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de “marketing”, apesar do consumidor preferir produtos com menor impacto ambiental, quando mantido o preço e a qualidade (MORENO, 1998).

Infelizmente, o consumidor leigo ainda associa o produto reciclado a produto de baixa qualidade, o que somente pode ser resolvido através de uma maior divulgação dos produtos reciclados e de um desenvolvimento tecnológico adequado desses produtos.

Do ponto de vista industrial, talvez a principal dificuldade que o entulho reciclado enfrente seja a sua elevada heterogeneidade. Por exemplo, a composição mineral do entulho em obras novas pode variar de acordo com a etapa em que esta se encontra. Assim, o entulho pode conter maior teor de material cerâmico durante a execução da alvenaria (se esta for de bloco cerâmico), ou de argamassa na fase de revestimentos. Porém, deve-se observar que, até o momento, não estão quantificados os limites para os

quais essa variação deve ser levada em consideração, tanto em termos de variação mineralógica quanto granulométrica, para o seu emprego em argamassas de construção.

Existe também o problema da contaminação do entulho, que pode inviabilizar a sua reciclagem, mas que pode ser evitada através de técnicas racionais de construção e demolição. RUCH et al. (1997b) mostraram que a maior parte da fração contaminante dos resíduos de construção encontram-se nas frações abaixo de 8 mm. Devido a estes problemas, o entulho reciclado passou a ser utilizado nos países desenvolvidos apenas em locais onde permitia-se baixa qualidade (RUCH et al., 1997a).

No Brasil, a principal ênfase comercial na reciclagem desse entulho, até agora, foi a instalação de máquinas argamasseiras, em canteiros de obras, para triturar os seus próprios resíduos minerais das obras. Esse método de produção de argamassas, apesar de aparentemente poder trazer benefícios econômicos às construtoras, apresenta problemas por falta de planejamento e de conhecimento do assunto por parte dos engenheiros. Em muitos casos, os canteiros de obras não dispõem de espaço suficiente para instalação da máquina e armazenamento do entulho, que varia com o tamanho da obra. Não existe uma gestão racional do resíduo gerado, que reduza ao mínimo os gastos com a reciclagem e evite a contaminação do entulho a ser reciclado por materiais indesejáveis (aço, gesso, plástico, madeira e outros que possam inviabilizar a reciclagem). Para agravar, são poucos os engenheiros que têm domínio do processo de moagem, do comportamento dos materiais reciclados e da sua influência nas propriedades das argamassas.

Sendo assim, a forma como o entulho de construção tem sido utilizado nos canteiros de obras é um contraponto às metas, hoje generalizadas, de melhoria da qualidade na construção civil.

Considera-se, pois, que as grandes perspectivas para a reciclagem de entulho de construção estejam na instalação de centrais de reciclagem, de iniciativa pública ou privada e que possam produzir argamassas, concretos e pré-fabricados, em volumes compatíveis à velocidade de geração de entulho pelas grandes cidades e com um nível adequado de controle tecnológico, para garantir o desempenho dos materiais e

componentes ali produzidos. Dentro desta premissa é que se insere a contribuição e os objetivos deste trabalho, indicados no item 1.3.

1.1.3 Alternativas para aumento da reciclagem

Para que a reciclagem do entulho de construção realmente atinja uma proporção compatível à sua geração, é necessário que o processo de reciclagem não seja excessivamente complexo e/ou dispendioso. Para isto, é preciso fazer o uso de algumas técnicas capazes de melhorar a qualidade do resíduo gerado, nos próprios locais onde eles são gerados ou com um raio mínimo de deslocamento.

O entulho torna-se mais homogêneo, com menos impurezas e mais fácil de ser reciclado se o processo de construção e de demolição passarem por um planejamento prévio.

Para a fase de planejamento, BAGLIONI; BONECCHI (1997) descrevem alguns critérios para projeto de construções com política de reciclagem de resíduos, relacionados à escolha do produto a ser utilizado nas construções:

- possibilidade técnica de reciclar com um consumo mínimo de energia e baixo nível de poluição;
- o mercado do material reciclado;
- o desempenho do material em funcionamento;
- a reciclagem do material secundário.

Para o entulho de demolição, estão sendo desenvolvidas técnicas de “desmantelamento seletivo”, em que os materiais a serem reutilizados ou utilizados para reciclagem são retirados em etapas definidas de acordo com o tamanho, o processo construtivo e os materiais utilizados na edificação, sem que sejam misturados com os materiais a serem descartados. Desta forma, a qualidade do entulho é muito superior à daquele gerado pelo processo de demolição, sem técnicas racionais (RUCH et al., 1997a).

Em geral, a duração do desmantelamento seletivo é de 50% a 200% maior do que o tempo de demolição. Porém, este período pode ser significativamente reduzido com a utilização de ferramentas computacionais, bases de dados na qual encontra-se detalhadamente a composição da construção (materiais, local na construção, volume,

etc). Além disso, como em alguns casos estudados, o custo desse desmantelamento pode ser menor do que o da demolição devido à redução do custo da reciclagem e disposição dos materiais (RUCH et al., 1997a).

A Figura 1 mostra a melhoria da qualidade do material reciclado obtido quando é utilizada a técnica do desmantelamento ao invés da demolição, para o caso de uma casa térrea.

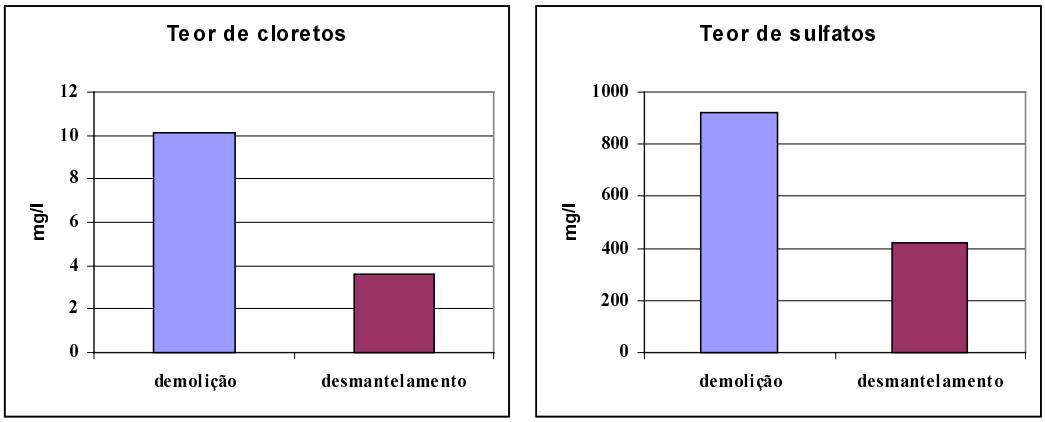


Figura 1: Comparação do teor de contaminantes presentes em amostras abaixo de 8 mm de diâmetro, nos casos de demolição e desmantelamento (RUCH et al., 1997b).

Assim, diretrizes para demolição podem ser uma ferramenta poderosa para melhorar a qualidade do resíduo e para aumentar a sua fração reciclável. Entretanto, só serão efetivas se puderem existir em sinergia com outras iniciativas (SIMONS; HENDERIECKX, 1994).

Para que a reciclagem do entulho de construção de construção possa evoluir, torna-se importante que as iniciativas não partam somente do setor privado, mas que também haja ações governamentais. Neste sentido, algumas regulamentações e modificações legislativas já ocorreram na França, em 1992 (BOILEAU et al., 1997), em particular:

- a lei de 13.07.92, permitindo a partir de 2002 a aterragem de somente resíduos últimos;
- a EBTO (European Building Technique Observatory) impôs sobre todos os locais de construção uma seleção mínima de inertes e resíduos tóxicos.

Também a criação de certificados de qualidade para produtos reciclados é uma alternativa para aumentar a sua aceitação no mercado, o que já tem sido discutido na Holanda (HENDRICKS, 1994).

SIMONS; HENDERIECKX (1994) apresentam algumas ferramentas a serem utilizadas para estimular a reciclagem:

- agregados reciclados devem ser utilizados com sólidas técnicas em obras públicas, pois além de aumentar o mercado, atrai a atenção de investidores privados;
- criação de uma marca oficial para produtos reciclados que seja uma garantia de boa qualidade do produto, com a intenção de tirar o medo do produto ser ruim;
- emissão de novas especificações para os trabalhos de demolição, de forma a obter maior quantidade e canalização de produtos recicláveis;
- criação de indústrias de reciclagem pelo setor privado, como forma de atividade econômica;
- necessidade de novas aplicações do material reciclado, onde devem ser dadas prioridades para atividades que utilizem grande quantidade deste material.

Neste sentido, cabe salientar que o consumo de entulho de construção em argamassa pode atingir elevadas proporções, da ordem de 1400 kg por m^3 de argamassa produzida, conforme estimado pelo autor deste trabalho.

Acredita-se então que a reciclagem do entulho de construção para fabricação de argamassas possa se tornar uma alternativa viável para vários tipos de edificações no Brasil, sendo possível obter um custo inferior para sua produção quando comparada às argamassas tradicionais, o que será evidenciado na seqüência deste trabalho.

1.2 A fissuração em revestimentos de argamassa e o entulho reciclado

Os revestimentos de argamassa, apesar de possuírem tradição de uso no Brasil, em muitos casos tem sua durabilidade diminuída pelo surgimento de fissuras por retração.

Mas, ainda que a fissuração de revestimentos de argamassa seja uma patologia largamente encontrada em revestimentos de diversas regiões do Brasil, até o momento é

precário o domínio técnico sobre o assunto, como será detalhado em capítulo específico, conforme item 1.4.

Quando se tratam de revestimentos feitos com entulho reciclado, o problema pode ser ainda mais grave. Isto porque este material pode sofrer grandes variações de composição e de distribuição granulométrica, produzindo assim revestimentos com ampla variação de desempenho.

Também, pelo fato deste material ser mais susceptível a apresentar contaminantes, em comparação aos agregados naturais, torna-se necessário que haja um controle maior para sua utilização, o que faz parte de outras pesquisas do PCC-USP.

Como evitar a fissuração é um requisito para que se tenha revestimentos com qualidade, é importante que, ao invés de simplesmente se rejeitar o entulho para o uso nesses elementos, na construção civil, que sejam realizadas pesquisas que procurem avançar nas técnicas de controle dessa patologia e a produção de agregados reciclados, de forma a incentivar a produção de argamassa com entulho reciclado, dado o seu amplo potencial de emprego nas habitações de interesse social.

1.3 Objetivo da dissertação

O objetivo principal desta pesquisa é contribuir para a proposição de parâmetros que possam prevenir a fissuração mapeada de revestimentos de argamassa com entulho reciclado, pelo estudo de fatores relativos ao tipo de entulho, ao seu proporcionamento nas argamassas e à técnica de execução desses revestimentos.

O estudo excluiu da investigação experimental outros fatores que também podem causar esse tipo de fissuração mapeada, tais como: natureza dos aglomerantes ou tipo da areia, grau de sucção capilar da base do revestimento, adoção de parâmetros inadequados de execução, como espessura excessiva, umedecimento impróprio da base ou reamassamento das argamassas.

Assim, este trabalho mostra-se de elevada importância para o meio técnico, já que contempla um estudo com ênfase no desempenho de revestimentos verticais de argamassas com entulho reciclado, quanto ao controle da fissuração, sendo esse um

requisito considerado fundamental para serem produzidas vedações com garantia de qualidade e durabilidade.

1.4 Conteúdo e estrutura da dissertação

A estrutura da dissertação é composta por 5 capítulos.

No **Capítulo I**, de Introdução, apresenta-se a importância técnica e social do tema, uma breve revisão bibliográfica sobre a reciclagem do entulho e o objetivo da pesquisa.

No **Capítulo II** são mostrados os aspectos gerais da utilização de argamassas no Brasil e dos tipos de fissuras em revestimentos, mecanismos básicos de formação e fatores que influem nesses processos.

O **Capítulo III** descreve o programa experimental executado, incluindo os estudos preliminares e os ensaios executados para a sua definição.

No **Capítulo IV** são apresentados os resultados obtidos no programa experimental e a sua análise.

Finalizando no **Capítulo V** estão as conclusões finais da pesquisa e algumas propostas para estudos futuros.

Nos **Anexos** são apresentadas as caracterizações dos materiais utilizados, a composição teórica de alvenarias demolidas e os resultados dos ensaios em geral, acompanhados da média, desvio-padrão e coeficiente de variação.

2 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA – ORIGENS, CAUSAS E FATORES QUE INFLUENCIAM A FISSURAÇÃO

2.1 Tradição de uso intenso e empírico de argamassas pela construção civil

No Brasil são freqüentes os processos construtivos de edifícios que empregam paredes de alvenaria revestidas com argamassa, tanto no sistema de vedação interno como externo.

Isto ocorre, principalmente, em habitações de média e baixa renda, onde os conglomerados à base de cimento e agregados minerais perfazem 20% do custo médio das obras (SANTIN, 1996). Também evidenciando o elevado consumo de argamassas, os dados de CAPOZZI (1996) indicam que 37% dos edifícios em obra[2], na cidade de São Paulo, usam revestimentos de argamassa com acabamento de pintura em fachadas.

Dados medidos por LICHTENSTEIN (1986) mostram que o consumo de argamassas nas obras brasileiras chega a 0,137 m^3 / m^2 construído, incluído o desperdício, que é bastante elevado para este tipo de material. Mais recentemente, SOUZA; FRANCO (1997) chegou ao valor de 0,13 m^3 de argamassa por m^2 de construção, sendo 0,035 m^3 para revestimento interno, 0,04 m^3 para contrapiso e 0,05 m^3 para revestimento externo.

Em pesquisa realizada em cinco canteiros de obras, em Porto Alegre/RS, observou-se que existe uma diferença média de 91% entre a quantidade de argamassa adquirida e a orçada em projetos (FORMOSO et al., 1996). Estes autores atribuíram tal diferença à variação da espessura dos revestimentos de argamassa que chega, aproximadamente, a 60% para revestimentos internos e 75% para externos, em relação às espessuras de projeto. Já em pesquisa de AGOPYAN et al. (1998), o desperdício de argamassa foi estimado igual a 67%, sendo 13% na forma de entulho e 54% como perdas incorporadas.

---

[2] Amostragem representativa e constituída por 30 construtoras, cada uma com no mínimo 3 obras em andamento.

Possivelmente, o volume de utilização de conglomerados minerais em obras e o desperdício inerente à forma de transporte e à técnica de aplicação de blocos de alvenaria e de argamassas, motivou as construtoras à utilização de entulho para a produção de argamassas. Isto por se tratar de material não estrutural e também por este procedimento gerar economia tanto no consumo de materiais (agregado), como nos gastos com "bota-fora", o que defende a ANVI, principal fabricante de moinhos de obra para este fim, opinião da qual também partilha LEVY (1997). Indica ainda esse autor que a diferença de custo por m^3 desta argamassa em relação a uma mista tradicional é da ordem de R$26,00, ou seja, 42% mais barata, para o traço utilizado em sua pesquisa em com o preço dos materiais vigente na época.

Porém, a prática do uso de entulho reciclado em argamassas é totalmente empírica, como pode ser deduzido pelas orientações técnicas descritas em ANVI (1997).

Durante a visita do autor a uma obra em São Paulo, que decidiu por reciclar o entulho gerado na própria obra, foi possível constatar um largo espectro de desempenho dos revestimentos feitos com entulho quanto à fissuração. Isto possivelmente decorreu da falta de controle de reciclagem do entulho, de dosagem das argamassas e devido a variabilidade da composição do entulho, pois é de se esperar que as variações do entulho reciclado quanto à composição mineralógica, composição granulométrica e seu proporcionamento, possam causar reflexos em propriedades importantes das argamassas e no desempenho de revestimentos.

Assim, para reduzir os riscos de fissuração em revestimentos de argamassa com entulho, recomenda-se que seja fixado um tempo de moagem, que seja utilizado uma metodologia racional de dosagem da argamassa e que o equipamento não seja utilizado como uma betoneira, mas apenas para a moagem do entulho, para que seja feita uma mistura prévia de todo o material reciclado ante de sua utilização, produzindo assim argamassas mais homogêneas.

Ainda que LEVY (1997) tenha exemplificado três edifícios com mais de dez anos e que fizeram uso destas argamassas, o autor deste trabalho, ao visitá-los, constatou que em dois os revestimentos externos são de pastilha cerâmica e que no terceiro há sinais de

fissuração no revestimento externo sob a pintura, embora esta seja de evidente qualidade.

Assim, há riscos previsíveis de patologias precoces em revestimentos e de prejuízo econômico aos usuários, pela posterior necessidade de manutenção freqüente da pintura, em caso de revestimentos pouco resistentes ou com fissuração intensa. Cabe salientar que isso não ocorre tão somente para argamassas com entulho reciclado, como será adiante comentado no item 2.2.

Por outro aspecto, CINCOTTO (1997), discutindo revestimentos de argamassas tradicionais, chama atenção para "a carência de textos normativos que orientem o fluxo de serviço na construção, e diz que a seleção do revestimento e a especificação dos materiais adequados ainda não fazem parte integrante da cultura do setor".

Embora na presente década os textos normativos sobre revestimentos de argamassa tenham passado por uma grande evolução, constata-se que a recente NBR 7200 (ABNT, 1997) suprimiu toda e qualquer indicação de traços ou consumos empíricos, para a produção de argamassas de revestimentos, inclusive, para aquelas compostas por materiais tradicionais.

Portanto, as perspectivas são de mudança quanto aos procedimentos para a dosagem de argamassas, mas a NBR 7200 (ABNT, 1997) não fornece nenhuma orientação para isto, e as publicações nacionais são ainda divergentes, como se constata pela análise dos trabalhos de SABBATINI et al. (1988), MARTINELLI (1989), SELMO (1989), CAMPITELLI et al. (1995), LARA et al. (1995) e COSTA et al. (1996), entre outros.

Disto pode-se concluir que o meio técnico está ainda distante de um consenso sobre procedimentos para dosagem de argamassas e que o uso empírico do material continua sendo um fato que só poderá ser superado por iniciativas de pesquisa como esta.

2.2 Frequência e origens da fissuração dos revestimentos de argamassas

Em qualquer parte do Brasil podem ser encontrados sinais claros de manifestações patológicas em revestimentos de argamassas simples ou mistas, na forma de fissuras, descolamentos e problemas de umidade que facilmente comprometem o desempenho dos edifícios (MEDEIROS; SABBATINI, 1994).

CINCOTTO (1997), inclusive, diz que entre os problemas observados em revestimentos de argamassa no país, a fissuração e o descolamento são os mais freqüentes.

Mas, ainda que a fissuração de revestimentos de argamassa seja, sem dúvida, uma das patologias que mais podem causar desconforto e prejuízo econômico aos usuários, até o momento é precário o domínio técnico sobre as causas que intervêm nessa patologia e suas conseqüências na durabilidade das vedações, não se tendo sequer critérios que estabeleçam limites de fissuração para a aceitação de revestimentos, em rotinas de controle deste serviço.

Na presente pesquisa, a análise conjunta da fissuração com outros requisitos de desempenho procurará consolidar propostas já existentes, tais como as de SABBATINI et al. (1988), de MEDEIROS; SABBATINI (1994), ou de LARA et al. (1995), mas que parecem não ser ainda de consenso técnico, pois não foram endossadas pela NBR 13749 (ABNT,1996). Mais recentemente, SELMO et al. (1999) também propuseram melhorar o método para se avaliar fissuras em revestimentos e que será, inclusive, adotado neste trabalho.

De fato, a fissuração de revestimentos é um fenômeno complexo, pois pode ter origem tanto nas características do projeto arquitetônico e detalhamento construtivo de fachadas, nos materiais ou traço das argamassas, como em outros fatores associados à técnica de execução do serviço ou ainda ao tipo de acabamento final e prazos de manutenção pelos usuários, sendo que há muito que se evoluir para o estabelecimento de parâmetros tecnológicos efetivos e de controle prioritário, intrínsecos ou não aos revestimentos.

Já as origens de fissuras por causas associadas aos substratos dos revestimentos, estas são as mais comuns e têm também origem em falhas de projeto, execução ou manutenção dos edifícios, conforme explicam diversos autores, por exemplo THOMAZ (1989), mas não cabe a sua abordagem no escopo deste trabalho, além de uma breve conceituação, conforme item 2.3 que segue.

2.3 Tipos de fissuras em revestimentos de argamassa e mecanismos básicos de formação

A NBR 13749 (ABNT, 1996) conceitua os seguintes tipos de fissuras em revestimentos:

fissuras mapeadas: “Podem se formar por retração da argamassa, por excesso de finos no traço, quer sejam de aglomerantes, quer sejam de finos no agregado, ou por excesso de desempenamento. Em geral, apresentam-se em forma de mapa”;

a) fissuras geométricas: “Quando acompanham o contorno do componente da base, podem ser devidas à retração da argamassa de assentamento. Fissuras na vertical podem ser devidas à retração higrotérmica do componente, interfaces de base constituída de materiais diferentes, locais onde deveriam ter sido previstas juntas de dilatação”.

As fissuras mapeadas são as de interesse e enfoque neste trabalho, podendo-se indicar, de forma complementar ao conceito apresentado, que podem ser causadas por um ou mais dos seguintes mecanismos de retração, no caso das argamassas simples ou mistas de cimento Portland: retração plástica, retração hidráulica ou por secagem, retração autógena e retração por carbonatação. Entre essas, as duas primeiras são as mais importantes para o estudo da fissuração em revestimentos. A retração autógena só é relevante em concretos de alta resistência (relação água / cimento menor que 0,26, PAILLÉRE et al., 1989) e sobre a retração por carbonatação pouco ainda se tem de informações para revestimentos.

Deve-se observar que alguns fatores, que podem ser favoráveis à diminuição de um determinado tipo de retração, podem causar o aumento de outra, o que torna mais difícil o controle da fissuração.

O primeiro fenômeno de retração a ser considerado é o da retração plástica, que se inicia tão logo a argamassa seja lançada sobre o substrato, pela movimentação de pasta e água de amassamento da argamassa para os poros da base e, também, pela perda da sua umidade para o ambiente, em função das condições de vento, temperatura e umidade do local (SELMO, 1996).

WITTMAN (1976) demonstrou experimentalmente que o requisito para a retração plástica de concretos é a formação de tensão capilar na água de mistura presente no material fresco após a superfície tornar-se seca.

Quando a superfície seca primeiro, um complexo sistema de meniscos se forma próximo à superfície do concreto. Uma pressão capilar de tração ("tensile cappilary pressure") dentro da fase líquida é desenvolvida e aumenta até alcançar um valor máximo, que WITTMAN (1976) chama de "pressão de fratura" ("break-through pressure"). A pressão capilar abaixa rapidamente e imediatamente após a pressão de fratura ser alcançada.

A retração plástica começa logo após a pressão capilar começar a se desenvolver e a exercer pressão negativa suficiente para causar retração tanto na direção da espessura quanto da superfície do revestimento. A deformação por retração aumenta com a pressão capilar, até atingir a fratura do material e, após este ponto, a deformação é cessada (WITTMAN, 1976).

Se a retração não é uniforme ou se existe resistência a ela, tensões de tração são desenvolvidas começando na superfície do material. Essas tensões, embora pequenas, podem facilmente exceder a baixa resistência à tração da argamassa fresca, segundo KRONLÖF et al. (1995). O máximo valor de pressão capilar para todas as misturas estudadas por KRONLÖF et al. (1995) variou de 5 a 30 kPa.

Ainda segundo KRONLÖF et al. (1995), uma grande pressão não necessariamente causa grande retração e, por outro lado, até mesmo uma pequena pressão pode conduzir à considerável retração. Dependerá da resistência mecânica e da aderência desenvolvidas pelo revestimento até a formação da pressão capilar, que servirão como restrição à retração.

As fissuras por retração plástica podem aparecer logo após o acabamento do revestimento ou até mesmo durante a fase de desempeno. Podem ou não ser do tipo mapeada, visíveis ou em microfissuras, atingindo ou não toda a espessura do revestimento. Sua largura é maior na superfície, diminuindo rapidamente com a profundidade (TECHNICAL DATA, 1994).

Mesmo na tecnologia do concreto, ainda não existe consenso sobre o limite onde termina a retração plástica e começa a retração por secagem. BERGSTROM (1982) indica, como regra prática, as primeiras 24 horas. Para AÏTCIN et. al. (1997), a retração plástica termina com o início da pega do cimento. Para COHEN et al. (1990), a duração da retração plástica é normalmente curta, aproximadamente de 1 a 2 horas, começando logo após o brilho da água na superfície do concreto desaparecer e terminando com o endurecimento do concreto. Ou seja, este parâmetro tem sido estabelecido de forma arbitrária e, ao que parece, prevalecem opiniões subjetivas dos pesquisadores.

Em analogia, pode-se dizer que na seqüência às primeiras horas de idade dos revestimentos inicia-se o fenômeno da retração por secagem, que é uma das principais propriedades a serem controladas para se evitar a sua microfissuração intensa, a médio e longo prazos. Nesta fase, a magnitude da retração hidráulica ou retração por secagem[3] da argamassa será controlada, principalmente, pela distribuição de tamanhos dos poros (e não pela porosidade capilar total) e pelo consumo de água. Considera-se que os macroporos (vazios capilares maiores que 50nm, com forma irregular) são prejudiciais à resistência e à impermeabilidade, enquanto os mesoporos são admitidos como mais importantes para a retração por secagem e fluência, pois a água contida nesses poros estão ligadas fisicamente e sua saída causa o surgimento de tensões de retração (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Mas, o grau de tensão desenvolvida durante a retração por secagem do revestimento dependerá da combinação dos fatores: magnitude da retração, grau de restrição, módulo de elasticidade e relaxação da argamassa, conforme bem sintetizou TANESI (1999), a partir da revisão dos conceitos clássicos envolvidos na teoria da retração de materiais a base de cimento Portland. Assim, além do tipo de substrato e nível de restrição imposto pelo mesmo, as propriedades do revestimento irão regular tal mecanismo.

As fissuras de retração por secagem dos revestimentos podem se acentuar com o tempo e se manifestarem de forma muito mais visível por uma configuração poliédrica ou

---

[3] Termos sinônimos na tecnologia dos produtos à base de cimentos Portland.

unidirecional regularmente espaçada[4], sendo função de fatores intrínsecos e extrínsecos às argamassas (SELMO, 1996).

Os principais fatores que influem na fissuração dos revestimentos estão brevemente discutidos no item 2.4 que segue.

2.4 Fatores que influenciam a fissuração mapeada dos revestimentos

2.4.1 Técnica de execução

A técnica de execução dos revestimentos pode ser resumida pelas seguintes etapas: preparo da base, mapeamento de espessuras críticas, taliscamento, mestramento, aplicação da argamassa, sarrafeamento e desempenamento (alisamento ou camurçamento).

A influência da técnica no surgimento de fissuras em revestimentos ainda foi pouco pesquisada. As fissuras dos revestimentos de argamassa podem surgir tanto na sua fase plástica quanto endurecida, sendo que as primeiras podem também ter origem na técnica de execução do serviço, além de causas intrínsecas às argamassas de revestimentos.

Quanto ao preparo da base, poucos autores têm pesquisado a sua influência na fissuração de revestimentos e os principais a serem destacados são COLLANTES CANDIA (1998) e MORAIS; SELMO (1999).

É necessário que seja aguardado um período de tempo entre a aplicação da argamassa e o sarrafeamento do revestimento em execução. Esse prazo, chamado “tempo ótimo de sarrafeamento”, varia com a dosagem da argamassa, os seus materiais constituintes, o tipo de substrato e condições ambientais e é determinado pelo operário que executa a operação, por observação visual ou toque dos dedos (para avaliar um nível de consistência adequado) na argamassa. Após essa etapa, executa-se o desempenamento, que deve ser feito obedecendo também um período de tempo em relação à etapa anterior para que se processe a evaporação da água de amassamento, a fim de se evitar o surgimento de fissuras de retração.

---

[4] Em áreas com dimensões desproporcionais entre comprimento e largura.

“A umidade residual no momento do desempenamento dos revestimentos tem grande influência na ocorrência de fissuração, quando os procedimentos recomendados não são seguidos” (MEDEIROS; SABBATINI, 1994).

Resultados de experimentos da orientadora deste trabalho, conduzidos no âmbito do curso CIARE[5], da ABCP, indicaram que a etapa de sarrafeamento pode ser mais crítica que a de desempenamento, mas considera-se que estudos adicionais precisam ser conduzidos para se confirmar em definitivo a maior influência do sarrafeamento.

Com este objetivo, SELMO et al. (1999) revestiram 9 painéis de 2,5 m² de alvenaria de bloco de concreto com argamassa de cimento, cal e areia no traço 1:2:9 em volume úmido, com tempos de sarrafeamento precoce e ótimo, mas não puderam afirmar qualquer influência dessa variável no surgimento de fissuras devido à presença de insolação no momento da aplicação, que pareceu ser fator preponderante em relação à técnica. Também MEDEIROS; SABBATINI (1994) não conseguiram concluir que o tempo de sarrafeamento é um fator importante no aparecimento de fissuras.

MACIEL et al. (1998) consideram que a compressão exercida no revestimento após aplicação da argamassa e durante o acabamento superficial, quando iniciado no momento correto, contribuem para o não aparecimento de fissuras. Porém, isto também não está comprovado.

O alisamento da superfície, que pode causar um maior fechamento dos poros na superfície do revestimento dificultando a perda de água para o ambiente, não impede o surgimento de fissuras. De acordo com KRONLÖF et al. (1995), as fissuras podem aparecer antes ou depois do alisamento, caso o material não tenha desenvolvido resistência suficiente para resistir às tensões de tração impostas.

Quanto à influência da espessura na fissuração dos revestimentos, MEDEIROS; SABBATINI (1994) observaram que a espessura dos revestimentos não interfere no surgimento de fissuras nas primeiras idades (até 30 dias após execução), considerando-se a execução do revestimento com mais de 30 mm em várias “cheias” ou demãos de 25

---

[5] Curso Intensivo de Argamassas de Assentamento e Revestimento.

mm e obediência aos intervalos necessários entre as mesmas, para que haja perda de umidade.

KOVLER; FROSTIG (1998), por análise teórica de tensões, chegaram à mesma conclusão de MEDEIROS; SABBATINI (1994) em relação à espessura do revestimento. Mas também demonstraram, experimentalmente, que o comprimento ou a área de revestimento sujeito à retração restringida não influencia no desenvolvimento de tensões e no tempo de fissuração, o que ainda não é de consenso na tecnologia de argamassas.

Também a intensidade de fissuras é proporcional ao tempo de utilização das argamassas (MEDEIROS; SABBATINI, 1994). Isto pode ser explicado pelo seguinte fato: enquanto a argamassa está sendo trabalhada, é impedida a formação de cristais de hidratação do cimento, que desenvolvam resistência à tração suficiente para impedir a sua fissuração. Mais recentemente, MORAIS; SELMO (1999) concluíram que a utilização de argamassas por prazos além de 2h, ainda que sem adição de mais água, pode ser mais crítica ao surgimento de fissuras, no caso de sarrafeamento em tempo ótimo e sobre base de alvenaria de bloco de concreto sem chapisco.

A cura pode ter uma influência positiva no desempenho do revestimento quanto ao controle de fissuração e aderência dos revestimentos.

No trabalho de KRONLÖF et al. (1995), quando a argamassa foi curada com água para atrasar a formação de pressão capilar até começar a desenvolver resistência, quase não ocorreu retração. O prazo para início da cura e seu tempo de duração, necessários para evitar o desenvolvimento de tensões, dependerão da velocidade de endurecimento da mistura. Quanto mais a mistura demorar a endurecer, maior a necessidade de atrasar as tensões, maior o tempo de cura. Isto significa dizer que argamassas com aceleradores de pega precisam de um menor tempo de cura, mas isto não é muito viável em serviços tradicionais de execução de revestimentos.

A forma de cura a ser executada depende das condições climáticas para secagem, do revestimento e da velocidade de desenvolvimento da sua resistência. No trabalho citado utilizou-se aspersão de água de 1 a 3 kg/m^2. Recomenda-se que a cura seja iniciada pelo menos logo após o acabamento.

COLLANTES CANDIA (1999) analisou a influência da cura na aderência. Após aspergir água durante os 22 dias seguintes da execução do revestimento sobre o substrato de concreto, os resultados de resistência de aderência à tração encontrados foram maiores para os revestimentos que receberam a cura.

2.4.2 Restrição do substrato à retração e propriedades do revestimento

O grau de restrição é, possivelmente, um dos primeiros e principais fatores que influem no desenvolvimento de tensões internas em um revestimento. Se este não está totalmente restringido, ou seja, se está parcialmente livre para se movimentar, as tensões geradas em seu interior serão menores do que no caso de uma restrição total. Assim, as fissuras por retração ocorrem, de modo geral, pela presença de alguma restrição ao movimento produzido por esse fenômeno, como a aderência ao substrato ou a retração diferencial entre a superfície e o interior do revestimento, por diferença de umidade, entre outros. Essa restrição ao movimento causa o aparecimento de tensões de tração que, quando ultrapassam a resistência à tração da argamassa, provocam as fissuras.

O módulo de elasticidade tem sido considerado uma importante propriedade da argamassa no estado endurecido para prevenir a fissuração, mas ainda não se tem conhecimento a partir de que fase da secagem ou idade do revestimento ele passa a atuar. KOVLER; FROSTIG (1998), analisando modelos de fissuração e de cálculo da tensão normal em revestimentos, concluíram que a melhor forma de reduzir os riscos de fissuração é pela diminuição do módulo de elasticidade e da sua deformação por retração.

BORTOLUZZO; LIBÓRIO (1999) discordam dessa posição, afirmando que, apesar das argamassas mais ricas em aglomerantes apresentarem aumento da retração livre e do módulo de elasticidade, sua resistência à tração cresce em maior proporção, sendo estas argamassas mais resistentes às tensões impostas.

Quanto à relaxação da tensão das argamassas, sabe-se que esta ocorre devido ao seu comportamento viscoelástico e que causa a diminuição da magnitude das tensões geradas pela retração ao longo do tempo. Espera-se que a relaxação seja maior em idades mais baixas e com o módulo de elasticidade menor (BORTOLUZZO; LIBÓRIO, 1999).

Se forem negligenciáveis os efeitos de compactação dos revestimentos, pela técnica tradicional e manual de execução desse serviço, pode-se admitir que as propriedades da argamassa, definidas pela natureza e proporção dos seus componentes, é que irão regular a capacidade de deformação do revestimento. Por isto, torna-se importante que seja definido um procedimento de dosagem de argamassa, como o descrito no item 2.4.3, que garanta que suas propriedades atenderão, de forma satisfatória, às solicitações impostas.

2.4.3 Dosagem das argamassas

A dosagem de argamassas para aplicação como revestimentos verticais deve ser feita objetivando a produção de argamassas trabalháveis enquanto frescas e que, após aplicadas, produzam revestimentos com bom desempenho, principalmente, quanto à aderência ao substrato e resistência à fissuração. No caso de revestimentos externos, é importante considerar também a permeabilidade do revestimento e a sua resistência a variações cíclicas de temperatura e umidade.

Considerando esse largo espectro de propriedades a serem consideradas, SELMO (1989) propôs uma metodologia experimental de dosagem de argamassas baseada em dois parâmetros, um para controle de propriedades associadas ao estado fresco e retração das argamassas (item 2.4.3.1) e o outro para definição das demais propriedades importantes para o desempenho das argamassas e dos revestimentos, no estado endurecido, como aderência, permeabilidade e resistência superficial (item 2.4.3.2), devendo-se eleger os critérios críticos de desempenho a serem atendidos em função do tipo de revestimento.

2.4.3.1 Trabalhabilidade e retração

O parâmetro inicialmente proposto para controle da trabalhabilidade de argamassas e retração de revestimentos foi a relação “areia / finos total < 75 μm”, em massa para materiais secos, que havia sido definido no estudo de SABBATINI; SELMO (1989). Porém, SELMO (1989) também discutiu a possibilidade de se adotar um parâmetro alternativo, para controle dessas propriedades e que seria *a porcentagem ou teor total de finos < 75 μm das argamassas*, sejam eles os finos dos aglomerantes, dos agregados

miúdos ou das adições, no total de materiais secos em massa, recomendando que tal parâmetro fosse investigado em trabalhos subseqüentes à sua dissertação.

A proposta deste parâmetro alternativo foi decorrente:

a) da sugestão de LAHUERTA; MONTERDE (1984), para classificação da plasticidade das argamassas, com base no *teor total de finos < 75 μm,* no total de materiais secos em massa, pelos seguintes critérios[6]: abaixo de 15%, as argamassas são consideradas magras; na faixa de 15% a 25%, médias e acima de 25%, gordas;

b) de experimentos práticos com pedreiros, conduzidos pela orientadora deste trabalho, estando os primeiros registrados em SABBATINI; SELMO (1989) e em SELMO (1989), pelos quais constatou que o teor de finos < 75 μm, procedente da cal ou de adições plastificantes minerais (saibros ou solos finos beneficiados), pode ser expresso de forma aproximadamente proporcional ao teor total de agregado miúdo, estando ambos expressos em relação à massa de cimento da argamassa.

SELMO; BUCHER (1990), investigando a validade desse parâmetro e também baseados no trabalho de UNIKOWSKI (1982), comprovaram que a trabalhabilidade e a retração das argamassas com saibro podem ser correlacionadas de forma satisfatória com o *teor total de finos < 75 μm,* uma vez que esteja também fixada a natureza dos finos, como mostrado na Figura 2.

Posteriormente, seguiram-se propostas de dosagem de argamassas baseadas nesse critério como a de LARA *et al.* (1995), mas estabelecendo algumas regras empíricas que limitam os aspectos práticos que devem nortear os trabalhos nacionais de dosagem.

Por outro lado, ARAÚJO (1995), sob co-orientação da orientadora deste trabalho, evidenciou que a determinação prática do teor mínimo de adição plastificante, necessário à obtenção de trabalhabilidade de argamassas, apresenta boa repetitividade, para um mesmo oficial pedreiro e as diretrizes operacionais de tal método também foram usadas em SELMO (1996).

---

[6] Para argamassas que contêm aditivos estes valores podem ser reduzidos de 5%.

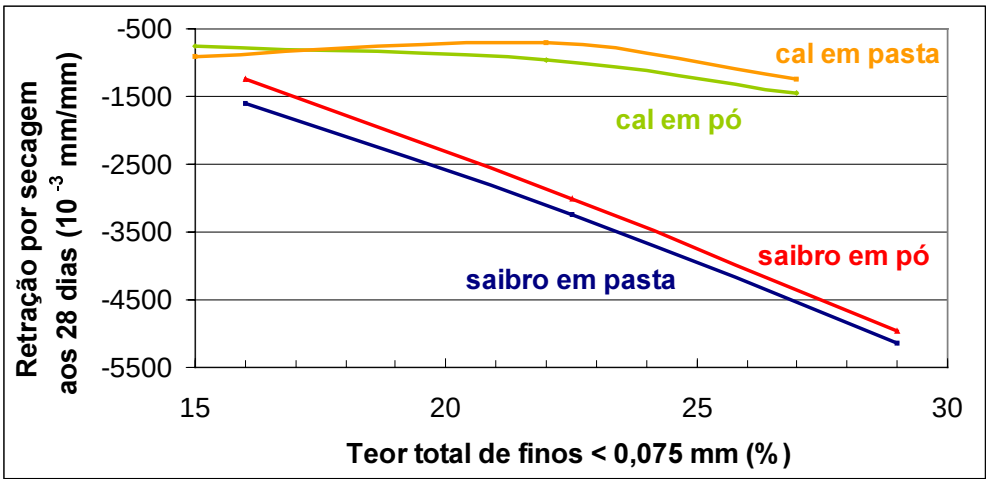


Figura 2: Retração por secagem aos 28 dias das barras de argamassas preparadas com os plastificantes em pó, em função da porcentagem de finos totais menores que 75 μm, sendo a cura em câmara seca a 50% ± 4% U.R e o consumo médio de cimento igual a 144 kg/m³. (SELMO; BUCHER, 1990).

Aliás, como não se dispõe comercialmente de areia com granulometria controlada pelos fornecedores, nem nos grandes mercados, o controle da natureza e do teor de finos menores que 75 μm talvez seja o parâmetro mais adequado à realidade do mercado nacional e nisto se inclui a dosagem racional de cales de boa qualidade[7] ou de materiais plastificantes alternativos, como é o caso de saibros ou do entulho reciclado.

2.4.3.2 Demais propriedades de desempenho

Para controlar as propriedades mecânicas das argamassas e o desempenho dos revestimentos quanto à sua aderência ao substrato, SELMO (1989) propôs o parâmetro "*(agregado + cal) / cimento*", em massa, considerando-se que a cal em argamassas mistas com cimento Portland possui a função principal de plastificante e não de aglomerante. A rigor, foi demonstrado por essa autora que a "relação água / cimento" das argamassas mistas seria a principal responsável pelas propriedades de aderência e permeabilidade dos revestimentos, mas que pode ser muito bem correlacionada de forma direta com a relação "agregado + cal / cimento".

---

[7] A grande vantagem de utilização da cal é obviamente a sua constância de composição química e granulométrica, se for de boa qualidade. A utilização de plastificantes alternativos apenas se justifica

Hoje, outros autores parecem concordar com o efeito nocivo da água em diversas propriedades dos revestimentos. BAUER et al. (1997) recomendam reduzir a demanda de água dos traços com o intuito de solucionar ou amenizar sua fissuração. SELMO; BUCHER (1990) apontaram a relação água/cimento, em massa, como o parâmetro fundamental na retração potencial das argamassas mistas, uma vez fixado o teor e o tipo do cimento e dos agregados. Isto já é um consenso na tecnologia do concreto, mas não na das argamassas mistas de revestimento ou plastificadas com materiais alternativos.

Cabe lembrar que esta metodologia de dosagem experimental só é factível para canteiros de obras onde exista controle tecnológico de materiais e dos serviços de revestimento, pois os resultados devem ser utilizados para confirmar ou alterar a dosagem inicialmente especificada.

O item 2.4.4 resume alguns aspectos que se julga oportuno explicar sobre a influência da natureza dos materiais constituintes das argamassas, nas suas propriedades e nos revestimentos.

2.4.4 Natureza dos materiais constituintes

Os itens 2.4.4.1 e 2.4.4.2 descrevem, de forma sucinta, a influência da natureza dos agregados e dos aglomerantes nas propriedades das argamassas.

2.4.4.1 Natureza dos agregados

A granulometria dos agregados para argamassas deve ser preferencialmente contínua, o que conduz a uma melhor trabalhabilidade e a uma redução do volume de pasta e dos efeitos da retração por secagem dos revestimentos, como conseqüência do menor consumo de água nas argamassas (SELMO, 1986).

CARNEIRO (1999) também comprovou que as argamassas dosadas a partir de distribuições granulométricas contínuas possuem melhores características no estado fresco e endurecido. Essa distribuição contínua, que resulta em maior compacidade das argamassas, pode ser conseguida através do termo geral do somatório de uma

---

por questões regionais específicas ou por projetos de reciclagem aportados de respaldo tecnológico adequado.

progressão geométrica. Ele afirma também que areias com elevada densidade de massa aparente resultam em argamassas com maiores densidades de massa fresca, e que a distribuição granulométrica da fração de finos passantes na peneira de 0,15 mm ABNT é importante para a redução do consumo de água.

Quanto ao entulho de construção, sabe-se que eles podem sofrer grande variação de seus materiais constituintes de acordo com a etapa em que a obra se encontra e, após reciclados, podem ser constituídos por um largo espectro de dimensões de grãos, obedecendo ou não aos limites dos agregados miúdos, definidos pela tecnologia de concreto como sendo as partículas compreendidas entre 4,8 mm e 75 μm. Assim, dependendo do *teor total de finos menores que 75 μm* em sua composição, ele pode ser considerado como uma mistura de agregado miúdo com adição plastificante[8].

LEVY (1997) observou que se obtêm diferentes propriedades das argamassas quando é alterado o tipo de material utilizado como agregado reciclado: areia, argamassa, bloco cerâmico, bloco de concreto. Isto se deve às características físicas e químicas de cada material. Além disso, o entulho de construção normalmente possui impurezas como argila, gesso, madeira, vidros, etc., que podem modificar as propriedades mecânicas das argamassas geradas em relação às argamassas feitas com agregados naturais. A Tabela 1 abaixo mostra algumas propriedades das argamassas com entulho reciclado.

Tabela 1: Resultados de LEVY (1997), resumindo as propriedades de argamassas com entulho reciclado, para traços em volume e agregado úmido.

Propriedades	**Argamassa com entulho reciclado 1 : 3 : 8**	**Argamassa convencional 1 : 2 : 9**
Relação a/c	3,1	2,6
Consistência (mm)	311	300
Retenção de água (%)	48	60
Densidade de massa (kg/m^3)	1880	2000
Resistência à compressão (MPa)	3,1	5,8
Resistência de aderência à tração (MPa)	0,21*	0,14 *
Módulo de elasticidade secante (MPa)	1,1	1,0

* Em substrato de bloco cerâmico sem chapisco.

[8] São consideradas adições plastificantes todos os materiais que tenham como função principal contribuir para a coesão e plasticidade das argamassas.

2.4.4.2 Natureza dos aglomerantes

Conforme resume SELMO (1996), os aglomerantes devem ser de finura adequada, por questões de trabalhabilidade e retenção de água e, ainda, de resistência mecânica baixa a média, pois revestimentos comuns com elevada resistência à tração possuem maior módulo de elasticidade e baixa capacidade de deformação.

O tipo e a composição do cimento podem influenciar na retração. Cimentos de rápida hidratação (ou seja, cimentos com elevado teor de C_3A ou de alta resistência inicial) causam menor retração plástica, já que criam um esqueleto de cimento hidratado mais precoce, dificultando a exsudação (NEVILLE, 1997).

Porém, BOLORINO; CINCOTTO (1997) ainda que obtendo valores de retração livre de argamassas mistas maiores para os cimentos CP III e CP V ARI RS do que para os cimentos CP II E, CP II F e CP V ARI, observaram que painéis revestidos com as argamassas de cimento CP III não fissuraram, enquanto que os painéis revestidos com argamassas de cimento CP V ARI RS apresentaram fissuras, fenômeno justificado pela velocidade de hidratação acelerada e maior retração inicial, o que é contraditório à opinião de NEVILLE (1997).

BOLORINO; CINCOTTO (1997) obtiveram ainda dados indicativos de que a cal CH I consome maior teor de água em argamassas do que a cal CH III, mas não conseguiram evidenciar a influência do tipo de cal sobre a retração potencial das argamassas que estudaram (1 : 1 : 6, traço em massa, com materiais secos). Mas, como a cal CH I possui maior finura que a CH III, é possível utilizá-la em menor quantidade e isto pode compensar o maior consumo de água, bem como propiciar um menor custo.

Mas, SIQUEIRA; SELMO (1995) mostraram que, para revestimentos de argamassas mistas 1 : 2 : 9 (volume, agregado úmido), com ambos os tipos de cales, podem se configurar fissuras mapeadas, por exposição cíclica a variações de umidade e temperatura.

Logo, os trabalhos aqui resumidos indicam que as fissuras por retração de revestimentos são pouco afetadas pela natureza dos aglomerantes, desde que estes apresentem propriedades físicas e mecânicas dentro dos padrões normativos hoje estabelecidos.

2.4.5 Detalhamento construtivo e condições de exposição dos revestimentos

Grande parte das manifestações patológicas nas edificações ocorrem devido a falhas na etapa de projeto, principalmente no que se refere a detalhamento construtivo, especificação de materiais e procedimentos de execução frente às condições de exposição dos edifícios.

No tocante a revestimentos verticais externos, um dos aspectos mais importantes a ser definido pelo projeto é o detalhamento arquitetônico de fachadas e a especificação de sistemas de pintura eficientes, para aumentar a durabilidade dos revestimentos quanto às variações cíclicas de umidade e temperatura.

PETRUCCI et al. (1997) evidenciaram isso, indicando que, em um dado conjunto habitacional, 62% da incidência de mapeamento nos revestimentos externos ocorreram nos planos de fachada com grau de exposição severo após execução da obra.

3 ESTUDO EXPERIMENTAL DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS DOSADAS COM DIFERENTES ENTULHOS E PELO CRITÉRIO DO *TEOR TOTAL DE FINOS* < 75 μm

3.1 Objetivo e hipóteses do trabalho

O objetivo principal desta pesquisa é contribuir para a proposição de parâmetros, que possam prevenir a fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado, pelo estudo de fatores relativos ao tipo de entulho, ao seu proporcionamento nas argamassas e à técnica de execução desses revestimentos.

A parte experimental foi planejada com base nas hipóteses de que os fatores que influem na fissuração mapeada dos revestimentos de argamassa com entulho reciclado podem ser decorrentes:

a) da natureza ou do *teor* excessivo *de finos menores que 75* μm na argamassa, neste caso procedentes do entulho reciclado;

b) da execução inadequada do revestimento, no que diz respeito à não observância de um tempo ótimo de sarrafeamento;

b) da ciclagem termohigroscópica que os revestimentos externos, em particular, podem ficar sujeitos, após execução e antes de receberem o acabamento final, pois os testes não contemplaram os efeitos de pinturas, por exemplo.

3.2 Resumo do planejamento experimental

A Figura 3 abaixo apresenta um resumo do planejamento experimental. Na Figura 4 e na Figura 5 detalham-se as fases do estudo.

Figura 3: Objetivos do trabalho e fatores investigados.

Figura 4: Fases do estudo experimental.

Figura 5: Fases do estudo experimental.

3.3 Critério de dosagem dos entulhos nas argamassas

O critério de dosagem dos entulhos nas argamassas aqui estudadas seguiu a proposta de SELMO; BUCHER (1990), pela qual o *teor total de finos < 75 μm*, em argamassas anidras, pode ser considerado como parâmetro de controle da sua trabalhabilidade no estado fresco e da retração por secagem livre, sendo que tal parâmetro teve origem nos estudos e trabalhos de UNIKOWSKI (1982), SABBATINI; SELMO (1989), SELMO (1989) e ARAÚJO (1995), descritos resumidamente no item 2.4.3.1.

Definido isso, foi utilizado um critério experimental para escolha do traço das argamassas, que encontra-se detalhadamente descrito no item 3.7.2.

Todas as argamassas utilizadas como revestimento foram compostas de cimento : entulho : areia fina de rio. O entulho participa como parte do agregado total no traço e, com isso, há um aumento na relação entulho/areia à medida em que se aumenta o *teor total de finos < 75 μm.*

3.4 Definição e caracterização dos materiais empregados nas argamassas

3.4.1 Cimento

O cimento escolhido para a pesquisa foi de único tipo, corrente no mercado de São Paulo, a saber: CP II E-32, adquirido no comércio varejista.

No trabalho, foram usadas duas partidas, tendo a primeira sido usada nas etapas descritas no item 3.7 e a segunda partida para a execução dos revestimentos e caracterização complementar das argamassas estudadas (itens 0 a 3.11.5).

Com exceção do ensaio de massa unitária da primeira partida de cimento, que foi realizado no CPqDCC – PCC/USP, os demais ensaios relativos ao cimento Portland composto foram realizados pela ABCP, estando os resultados da caracterização das duas partidas no **ANEXO A.** Ambas as partidas atenderam à NBR 11578 (ABNT, 1994).

Apesar do cimento da segunda partida possuir um teor de material passante na peneira de 75 μm um pouco inferior ao da primeira partida (92,5% contra 96,4%), as

argamassas aplicadas como revestimentos foram dosadas considerando que este cimento possuía o mesmo teor do cimento da primeira partida, o que causou a diminuição de 0,4% no *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ de cada argamassa, em relação aos valores fixados, o que não é considerado significativo.

3.4.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo definido para a pesquisa foi de único tipo e procedência, a saber, areia fina de rio, adquirida no comércio varejista de São Paulo e atendeu à especificação brasileira correspondente, NBR 7211 (ABNT, 1983). Os ensaios relativos a este material foram realizados pelo autor no CPqDCC - PCC/USP, com exceção da granulometria a laser que foi feita pela ABCP[9], estando os resultados no **ANEXO C**, no **ANEXO E** e na Figura 8.

3.4.3 Entulhos reciclados

3.4.3.1 Composições iniciais preestabelecidas

Considerando que a composição granulométrica e mineralógica dos entulhos podem variar dentro de amplos limites e para que fosse possível analisar a influência do teor de cada tipo de entulho neste trabalho, o entulho reciclado teve origem na moagem separada de blocos cerâmicos, blocos de concreto e argamassa de cimento, cal e areia fina no traço 1 : 2 : 9 (em volume, areia úmida). A esses três materiais moídos separadamente denominou-se de entulhos básicos.

Para a seleção de três composições de entulho a serem usadas na execução dos revestimentos, foram inicialmente estudadas sete composições preestabelecidas, descritas na Tabela 2.

As composições T1, T2, T6 e T7 se basearam nas porcentagens teóricas, em massa, dos materiais que podem compor alvenarias de bloco cerâmico e de concreto (**ANEXO D).**

Tarcísio (1986) obteve 64% de argamassa e 30% de cerâmica, em média, em entulhos de construção da cidade de São Carlos/SP, o que na Tabela 2 é próximo ao tipo T3.

O Tipo T4 foi inicialmente escolhido considerando-se que, quando a obra se encontra na fase de revestimento de paredes e tetos com argamassa e de contrapiso, o entulho gerado é, praticamente, composto somente de resto de argamassa.

O Tipo T5 foi incluído no estudo para se ter uma composição semelhante à T3, facilitando a comparação de resultados.

Tabela 2: Composições de entulho reciclado, preestabelecidas para uma seleção inicial de três tipos, a partir das proporções teóricas calculadas conforme o **ANEXO D.**

Entulho reciclado			
Tipo e nº de identif.	**Materiais constituintes** [(1)]		
	Bloco cerâmico (%)	**Argamassa (%)**	**Bloco de concreto (%)**
T1	75	25	0
T2	55	45	0
T3	35	65	0
T4	0	100	0
T5	0	65	35
T6	0	45	55
T7	0	25	75

Obs.: [1] Porcentagens de bloco cerâmico e argamassa baseadas no proporcionamento teórico, em massa, entre esses materiais para alvenarias com e sem revestimento (1 a 2 cm).

3.4.3.2 Preparo de amostras e partidas de moagem dos entulhos básicos

Os materiais que deram origem às composições de entulhos estudadas foram moídos no moinho argamasseira ANVI 500, durante 20 min e com corte em peneira ABNT 4,8 mm. A Figura 6 ilustra esse equipamento.

Foram realizadas duas moagens dos entulhos básicos, sendo que na primeira foram colocados no moinho 50 kg de material por vez e, na segunda moagem, 90 kg.

Os entulhos básicos gerados na primeira moagem foram usados no estudo de trabalhabilidade apresentado no item 3.7.1 e na escolha do traço e das composições de entulho a serem aplicadas como revestimentos, discutido no item 3.7.2.

---

[9] Associação Brasileira de Cimento Portland.

Figura 6: Equipamento de moagem com bloco cerâmico moído.

Os entulhos básicos gerados na segunda moagem foram utilizados na caracterização do item 3.8, relativo às nove argamassas selecionadas para a execução dos revestimentos e na execução dos revestimentos.

A Figura 7 mostra as curvas granulométricas obtidas pelo ensaio de granulometria a laser[10, 11], dos entulhos gerados na primeira moagem (bloco cerâmico 1, argamassa 1 e bloco de concreto 1) e na segunda moagem (bloco cerâmico 2, argamassa 2 e bloco de concreto 2).

Na Figura 8 estão as curvas granulométricas dos entulhos moídos apenas na segunda moagem e da areia fina.

O **ANEXO C** e o **ANEXO E** mostram a caracterização dos entulhos gerados apenas na segunda moagem e que foram usados na produção da parte experimental principal do trabalho. Dentre os resultados chama-se a atenção para ausência de atividade pozolânica, realizada pelo método químico de Chapelle e conforme a NBR 5752 (ABNT, 1992), ausência de sais solúveis em todos os três tipos de entulho e também para a alta absorção de água do entulho básico de bloco cerâmico.

---

[10] Realizados pelo LCTM, da PMI – EPUSP.

[11] O ensaio de granulometria a laser foi o escolhido para a caracterização da granulometria dos entulhos, conforme análise no item 3.4.3.3.

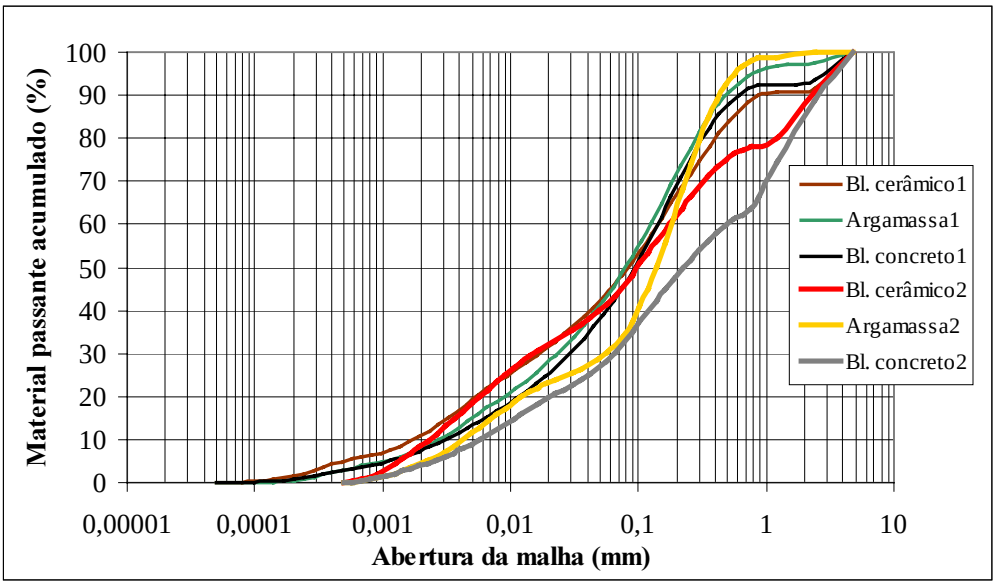


Figura 7: Curvas granulométricas dos entulhos básicos resultantes nas duas partidas de moagem realizadas, identificadas na legenda por “1” e “2”.

Os blocos cerâmicos e os blocos de concreto utilizados na primeira moagem e na segunda moagem possuíam mesma procedência. As argamassas moídas nas duas moagens foram de mesmo traço, 1 : 2 : 9, volume úmido, porém para a primeira moagem foi utilizada areia média e para a segunda a própria areia fina usada como agregado miúdo neste trabalho.

A Figura 7 mostra que todos os três tipos de entulhos básicos em estudo apresentaram uma granulometria mais grossa na segunda moagem do que na primeira, principalmente no caso do bloco de concreto. Porém, não se pode afirmar que este fato foi somente devido à moagem de uma maior quantidade de material de uma só vez, pois na segunda moagem os materiais também encontravam-se mais úmidos do que na primeira. Este fato, apesar de diminuir a resistência do entulho à força[12] aplicada pelos rolos, diminui também o atrito entre as partículas e entre o entulho e o equipamento. Além disso, não é conhecida a repetitividade de moagem do equipamento.

[12] Causada não só pela massa dos rolos, como também pelo giro no sentido horário que estes aplicam no entulho.

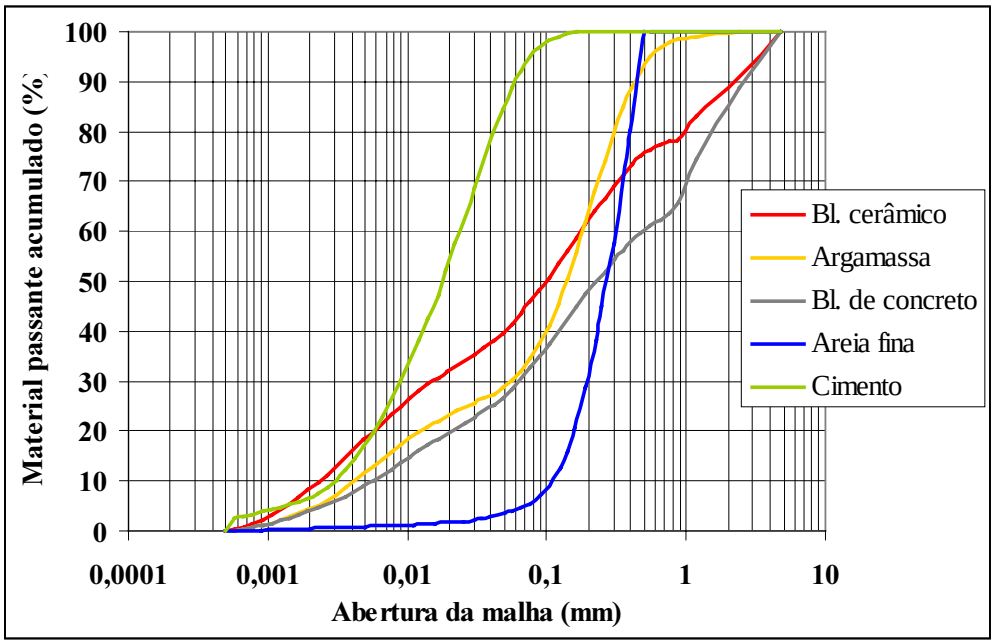


Figura 8: Curvas granulométricas dos entulhos básicos moídos na 2ª partida, da areia de rio usada como agregado miúdo e do cimento da 1ª partida.

3.4.3.3 Análise do método de ensaio mais indicado para a determinação do teor de finos < 75 μm dos entulhos básicos

Existem vários métodos de ensaio que podem ser utilizados na determinação da porcentagem de partículas inferiores a 75 μm, em materiais inorgânicos granulares ou em pó, sendo cada método mais apropriado para um determinado tipo de material, como resumido abaixo:

a) método da NBR 7219 (ABNT, 1987), para agregados de concretos de cimento Portland, realizado pela lavagem de duas amostras de 500 g (no caso de agregado miúdo), na peneira ABNT 75μm, até que a água de lavagem se torne límpida;

b) método da NBR 12826 (ABNT, 1993), para cimentos Portland e outros materiais em pó, que faz a determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico. A amostra é colocada na peneira ABNT 75 μm e esta, por sua vez, é acoplada ao equipamento. O material de diâmetro inferior à abertura da malha é succionado da amostra, devido à pressão negativa exercida pelo peneirador. O valor da pressão, o tempo de duração do ensaio e a massa das amostras (entre 10 e 15g)

são definidos pela norma de acordo com o tipo de material a ser ensaiado (cimento, argila ou escória);

c) determinação da curva granulométrica por granulômetro de difração a laser, que não é normalizado para materiais de construção, ainda que cada vez mais usado em diversas indústrias, por exemplo, a de cimento. O método consiste em verter no porta-amostra do equipamento alguns gramas de amostra (aproximadamente 10 g) suficientes para atingir o intervalo de concentração recomendado pelo fabricante. A seguir, utilizando-se álcool anidro e ultrassom durante 60 segundos, é efetuada a dispersão da amostra. Uma bomba peristáltica garante a suspensão da amostra no álcool. Um fotodiodo a laser emite um feixe de luz que é captado por um sistema óptico que ativa o líquido com o pó a ser analisado. Através de medidas de distribuição de energia dos anéis de difração, é possível a conversão dos sinais em diâmetro de partículas. São executadas cerca de 20.000 determinações, sendo que o equipamento já fornece a média entre elas;

d) método da NBR 7181 (ABNT, 1984) de análise granulométrica de solos, pelo qual primeiro é necessário determinar o teor de umidade da amostra e a sua densidade de massa. Após ficar imersa por, no mínimo, 12 horas em solução de hexametafosfato de sódio, a amostra é colocada em dispersor de agitação mecânica por 10 minutos. Depois, a amostra é vertida em uma proveta, para serem executadas as medidas de sedimentação, que fornece a distribuição granulométrica da fração inferior a 75 μm. São realizadas leituras durante 24 horas. Depois, o material é lavado na peneira ABNT 75 μm, seco em estufa e colocado no peneirador mecânico para determinação da distribuição granulométrica da fração de material retida entre as peneiras ABNT 4,8 mm e 75 μm.

Como se vê, o método mais apropriado para os entulhos reciclados, em princípio, poderia ser o de solos, da NBR 7181 (ABNT, 1984). Mas, como este trabalho está fundamentado em hipóteses de dosagem dos entulhos por finos passantes na peneira ABNT 75 μm, considerou-se de extrema importância analisar qual ou quais dos métodos de ensaios seriam os mais indicados, para serem aplicados nesses materiais, visto que possuem uma composição mista e heterogênea.

Assim, foi determinado o teor de finos < 75 μm dos entulhos pelos quatro métodos descritos, estando os resultados na Tabela 3. Cálculos comparativos da interferência dos dados de granulometria no *teor total de finos < 75 μm* de uma dada argamassa constam no **ANEXO J.**

Tabela 3: Resultados médios dos métodos testados para a determinação da quantidade de finos menores que 75 μm nos entulhos reciclados.

Método	**Teor de finos < 75 μm – Entulho (1ª moagem)**		
	Bl. Cerâmico	**Argamassa**	**Bl. concreto**
a) NBR 7219/87	24%	27%	25%
b) NBR 12826/93	24%	17%	23%
c) Granulometria a laser	37%	38%	34%
d) NBR 7181/84	27%	-	22%

Pelos resultados da Tabela 3 pode-se notar que, com exceção dos resultados da granulometria a laser, que foram bem superiores aos demais, os valores encontrados para os outros métodos foram próximos. Porém, existem alguns inconvenientes em cada um destes métodos e possivelmente erros.

Pelo método da NBR 7219 (ABNT, 1987), pelo fato do entulho possuir um elevado teor de finos (em relação a areias usuais) e a massa de material estipulada pela norma ser elevada, a lavagem da amostra é muito demorada e difícil de ser realizada com garantia de qualidade. Após 3 horas de ensaio, a água de lavagem ainda não se apresentava límpida, o que certamente causou imprecisão dos resultados obtidos. Também, todo esse tempo de lavagem pode ter causado a desagregação das partículas da amostra. Além disso, correu-se o risco de tornar as peneiras descalibradas ou entupidas, aumentando a imprecisão dos resultados.

Pelo método da NBR 12826 (ABNT, 1993), somente é possível ensaiar a fração da amostra passante na peneira ABNT 1,2 mm, para não correr o risco de danificar a peneira ABNT 75 μm. Assim, uma quantidade considerável de material fino foi desprezada por ficar retida na superfície dos grãos maiores que esta peneira, causando erro no resultado. Pela natureza das partículas envolvidas, essa fração poderia ser lavada na peneira ABNT 75 μm, mas se teria um resultado fornecido por dois métodos

simultâneos (lavagem e peneiramento à vácuo). Além disso, pela pouca massa de material utilizada para o ensaio, sempre corre-se o risco de não se ter uma amostra representativa.

Para o método da NBR 7181 (ABNT, 1984), também ocorreram algumas interferências imprevistas, como no caso do entulho de argamassa moída, que endureceu dentro da cápsula de alumínio, chegando até mesmo a furá-la. Isto pode ter acontecido por reação do cimento ou da cal presentes no entulho com o hexametafosfato de sódio, utilizado como defloculante durante o ensaio. Os gráficos de granulometria obtidos por este ensaio, para este entulho mostraram valores negativos para as frações menores que 9μm, comprovando a inadequação deste método para este tipo de material.

Na granulometria a laser, também existe o inconveniente de se usar pouca quantidade de amostra. Porém, este é o ensaio que fornece a mais ampla distribuição granulométrica do material, desde a fração de areia até a dimensão de 0,5μm, sendo realizado em prazo muito rápido e com um custo não muito elevado. Além disso, não existe a possibilidade de erro do operador durante o ensaio, pelas medidas serem automatizadas, e a quantidade de leituras executadas pelo laser reduzirem as chances de imprecisão ao mínimo possível.

Mas, diante do que foi discutido, tornou-se ainda necessário fazer uns testes práticos visuais de trabalhabilidade das argamassas de entulho dosadas pelos resultados dos ensaios a laser e pela NBR 7181 (ABNT, 1984), comparativos a argamassas simples de cimento e mista de cimento e cal, usadas como referência, todas com o *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ conhecido. Por fim, confrontou-se a estimativa de área específica teórica dessas misturas anidras. Observou-se que os traços dosados pelo ensaio de granulometria a laser geraram as argamassas com plasticidade e área específica teórica mais próximas às usadas como referência e assim seus resultados foram adotados para este trabalho.

3.4.4 Cal hidratada

O estudo fez uso ainda de cal hidratada CH I, para fabricação da argamassa de assentamento dos painéis indicados no item 3.5 e para a produção de um traço de

argamassa mista 1 : 1 : 8, em massa, usada como revestimento de referência e cujo traço em volume com areia úmida resultou muito próximo a 1 : 2 : 9. Os resultados de caracterização da cal CH I encontra-se no **ANEXO B.**

3.5 Substrato dos revestimentos e teste orientativo para uso de chapisco

Foram construídos no laboratório do PCC-USP[13], 15 pórticos[14], de alvenaria de blocos de concreto com 2,35 m x 1,3 m, em área interna e abrigada de chuva. Os suportes para a execução das alvenarias foram de concreto armado em forma de "L" e foram assim definidos por já estarem disponíveis no PCC-USP.

Os resultados da caracterização dos blocos de concreto são mostrados no **ANEXO G.**

A argamassa de assentamento foi composta de cimento, cal e areia no traço 1 : 2 : 9 em volume úmido. Esperou-se até dois meses para aplicar o chapisco e iniciar o revestimento dos pórticos, com o objetivo de evitar qualquer influência de retração por secagem da alvenaria. As justificativas para utilização do uso de chapisco estão a seguir descritas.

Figura 9: Vista de uma parte do conjunto de 15 pórticos de blocos de concreto, ainda sem o chapisco, utilizados na execução dos revestimentos.

---

[13] Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

[14] Estão previstos dois pórticos "L" para cada argamassa (dezoito no total) e outros dois, para a execução de traços de revestimento com argamassa mista.

Inicialmente, previu-se executar os revestimentos de argamassas sem a utilização de chapisco. Porém, a partir dos resultados de MORAIS; SELMO (1999), observou-se que quando a argamassa era aplicada sobre bloco de concreto com chapisco, o revestimento produzido apresentava menos fissuras do que quando aplicado sobre o substrato sem chapisco. Assim, também nesta pesquisa foi realizado um teste para avaliar a necessidade ou não do uso de chapisco nos pórticos em questão.

Para isto, duas outras paredes com 2,5 m² cada e construídas com os mesmos blocos foram revestidas com argamassa de cimento, cal e areia no traço 1 : 1 : 8 em massa seca, sendo que uma possuía chapisco no traço 1 : 3 em massa e a outra não. A argamassa utilizada foi produzida de uma só vez, sendo que sua aplicação no pórtico foi dividida em tempo ótimo de sarrafeamento (metade inferior) e tempo precoce (metade superior), sendo o tempo ótimo definido pelo pedreiro e o precoce logo após sua aplicação. Na Tabela 4 estão os resultados obtidos. A Figura 10 mostra o revestimento de argamassa mista de 2,5 m^2, sem chapisco, produzido para este estudo e com várias fissuras.

Tabela 4: Resultados do teste de avaliação da necessidade de chapisco, feito para 2 alvenarias com 2,5 m^2 cada.

Revestimento	**Alvenaria sem chapisco**		**Alvenaria com chapisco**	
	Tempo ótimo	**Tempo precoce**	**Tempo ótimo**	**Tempo precoce**
Nº fissuras	39	3	0	1

Pelos resultados obtidos pode-se observar que o chapisco assegurou um melhor desempenho do revestimento, diminuindo o número de fissuras, possivelmente por propiciar uma maior área de contato e uma melhor distribuição das tensões internas atuantes no revestimento, desde a sua aplicação.

Em relação ao tempo de sarrafeamento, para o substrato sem chapisco, o revestimento sarrafeado no tempo precoce apresentou um resultado muito melhor do que o sarrafeado em tempo ótimo, confirmando estudos de MORAIS; SELMO (1999). Mas, para substrato com chapisco, a diferença entre eles foi irrelevante. Assim, optou-se por aplicar as argamassas no mínimo 4 dias após a aplicação do chapisco no traço 1 : 3 em volume para minimizar a influência do substrato no desempenho dos revestimentos.

Figura 10: Fissuras no revestimento de argamassa Mista de cimento, cal e areia (1 : 1 : 8, massa seca), com espessura de 15 mm, sobre o substrato de bloco de concreto sem chapisco, o que não ocorreu quando a base foi chapiscada, conforme a Tabela 4.

3.6 Exemplo de cálculo dos traços das argamassas pelo critério de dosagem do *teor total de finos < 75 μm*

Para uma dada relação agregado/cimento e *teor total de finos < 75 μm*, pré-definidos, as composições de entulho a serem utilizadas em uma dada argamassa a ser misturada com M_{cim} kg de cimento, M_{ar} kg de areia, M_{ent} kg de entulho podem ser calculadas através da **Equação 1:**

$$\%f_{<75\mu m} = \frac{(M_{cim} \times \%f_{cim}) + (M_{areia} \times \%f_{areia}) + (M_{cer} \times \%f_{cer}) + (M_{arg} \times \%f_{arg}) + (M_{bloco} \times \%f_{bloco})}{M_{cim} + M_{areia} + M_{cer} + M_{arg} + M_{bloco}}$$

Equação 1

Onde:

$\%f_{<75\mu m}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, na argamassa anidra;

$\%f_{cim}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, no cimento;

$\%f_{areia}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, na areia;

$\%f_{cer}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, no entulho de bloco cerâmico moído;

$\%f_{arg}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, no entulho de argamassa moída;

$\%f_{bloco}$ = % total de finos de dimensão inferior à peneira ABNT 75 μm, no entulho de bloco de concreto moído;

M_{cim} = massa de cimento (ou 1 no traço em massa, com materiais secos);

M_{areia} = massa da areia (ou proporção no traço em massa, com materiais secos);

M_{cer} = massa de bloco cerâmico moído (ou proporção no traço em massa, com materiais secos);

M_{arg} = massa de argamassa moída (ou proporção no traço em massa, com materiais secos);

M_{bloco} = massa de bloco de concreto moído (ou proporção no traço em massa, com materiais secos).

O exemplo numérico a seguir completa a explicação de como obteve-se as argamassas descritas na Tabela 6.

Exemplo: Achar a proporção "X" de areia no traço de uma argamassa com 25% de finos menores que 75μm, de traço 1:9, plastificada com entulho Tipo 2 e dadas as características de finura dos materiais constituintes indicadas nas Tabelas A.2 **(ANEXO A)** e C.1 **(ANEXO C).**

$M_{cim} = 1$;
$M_{areia} = X$ (a determinar);
$M_{cer} = (9-X) \cdot 0,55$ ➔ Tipo 2 tem 55% de bloco cerâmico;
$M_{arg} = (9-X) \cdot 0,45$ ➔ Tipo 2 tem 45% de argamassa moída;
Como o entulho é parte do total de agregados:

$$0,25 = \frac{(1 \cdot 0,964 + X \cdot 0,05 + (9-X) \cdot 0,46 \cdot 0,55 + (9-X) \cdot 0,34 \cdot 0,45)}{1 + 9}$$

Proporção da areia no traço em massa = X = 5,95 Proporção do bloco cerâmico no traço em massa = 0,55 . (9-X) = 1,68 Proporção da argamassa moída no traço em massa = 0,45 . (9-X) = 1,37 **Traço final resultante: 1 : 1,68 : 1,37 : 5,95, em massa, materiais secos (cimento : entulho bloco cerâmico : entulho argamassa : areia).**

Figura 11: Exemplo de aplicação da Equação 1, utilizada para dosagem das argamassas.

3.7 Estudos preliminares para seleção dos tipos de entulhos, traço e *teor total de finos < 75 μm* das argamassas utilizadas na execução dos revestimentos

3.7.1 Estudo inicial de trabalhabilidade para confirmar a adequação do critério preestabelecido de dosagem dos entulhos

Os objetivos deste estudo preliminar foram avaliar o critério de dosagem das argamassas explicado no item 3.3, obter subsídios para definir o traço a ser utilizado nos revestimentos com os vários entulhos, bem como para a dosagem de água, nas argamassas, em função da trabalhabilidade ótima para essa aplicação.

O estudo prático inicial de trabalhabilidade foi similar à metodologia de SELMO (1996). Foi realizado para os traços “1 : 6”, “1 : 7”, “1 : 9” e “1 : 10” (cimento : agregado total, em massa), com 19% de finos e para as sete composições de entulho mostradas na Tabela 2, com o critério de dosagem dos entulhos exemplificado no item 3.6 e com as amostras originadas pela primeira partida de moagem. Não foi possível realizar este estudo com o traço 1 : 8 por não haver disponibilidade de mão-de-obra de pedreiros.

Também foram analisadas, mas de forma esporádica, a trabalhabilidade das argamassas com *teor total de finos < 75 μm* iguais a 21% e 23% de finos e de outras dosadas apenas com os entulhos puros, ou seja, “cimento : bloco cerâmico moído”, “cimento : argamassa moída” e “cimento : bloco de concreto moído”, essas apenas no traço 1 : 8.

O estudo de trabalhabilidade foi realizado com dois pedreiros experientes, funcionários do SENAI[15], em diferentes dias, com o seguinte procedimento padronizado, para todas as argamassas: adição de água às misturas anidras (previamente dosadas) e homogeneização mecânica simultânea, até atingirem a consistência adequada; análise visual da retenção de água e plasticidade, seguida de aplicação em alvenaria de blocos de concreto, em áreas de 30 cm x 30 cm e espessura de 1 a 3 cm, para avaliação da facilidade de lançamento, adesão ao substrato e de desempenamento dos revestimentos, em tempo ótimo definido pela experiência de cada pedreiro.

Deve-se salientar que o estudo de ARAÚJO (1995) mostrou que os procedimentos do estudo prático de trabalhabilidade fornecem excelente repetitividade, na dosagem de água e de adição plastificante para um mesmo oficial pedreiro e, assim, não considerou-se necessário repeti-lo para cada pedreiro.

A Figura 12, a Figura 13 e a Figura 14 ilustram os resultados desse estudo de trabalhabilidade. Pela Figura 13 observa-se a variação da relação água/materiais secos (H) em massa e expressa a média dos valores individuais de cada pedreiro.

(a) **(b)**

Figura 12: Estudo inicial de trabalhabilidade: **(a)** Aplicação e desempenamento das argamassas em substrato de alvenaria de blocos de concreto; **(b)** Haste e cuba utilizadas para a mistura das argamassas.

[15] Escola Orlando Laviero Ferraiuolo, localizada no Bairro Tatuapé, em São Paulo / SP, que cedeu graciosamente os pedreiros para este trabalho.

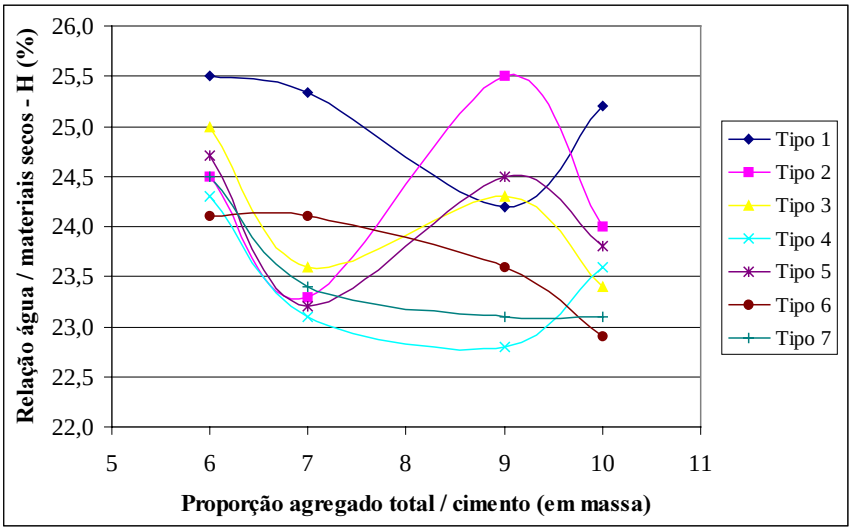


Figura 13: Resultados médios de "H", obtidos no estudo prático de trabalhabilidade, conduzido com dois pedreiros funcionários do SENAI e com os tipos de entulho descritos na Tabela 2. Traços com *teor total de finos* < *75* μm constante e igual a 19%.

A Figura 14 mostra a excelente correlação da relação água/cimento média (*a/c*) com a proporção de agregado total (*m*), nos traços em massa seca, já tendo isto sido observado por SELMO (1989). Através da reta de regressão, obteve-se um valor teórico calculado de *água / cimento*, para cada traço em massa. Pela fórmula clássica de "*H = a/c / (1+m)*", encontrou-se valores teóricos muito próximos a 24%, para todas as composições de entulho estudadas, sendo uma análise mais fácil de ser feita do que interpretar a variabilidade dos resultados pela Figura 13.

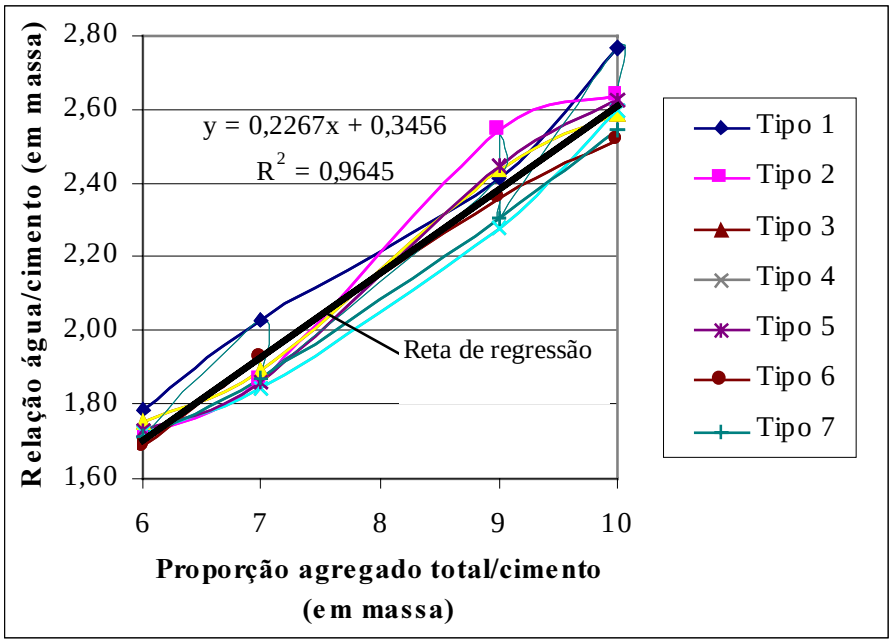


Figura 14: Variações da relação água/cimento (a/c), pelo estudo prático de trabalhabilidade, conduzido com dois pedreiros do SENAI e com os tipos de entulho identificados na Tabela 2. Traços com *teor total de finos < 75 μm* constante e igual a 19%.

Em geral, a maioria das argamassas com entulho consumiram uma quantidade de água total bem superior à normalmente consumida por argamassas mistas, principalmente aquelas com elevado teor de bloco cerâmico. Este elevado consumo de água foi atribuído à areia fina utilizada como agregado miúdo e à alta absorção de água do entulho de bloco cerâmico, pois no caso das argamassas apenas de "cimento : bloco de concreto" e "cimento : argamassa moída", no traço 1 : 8, foi necessário apenas 18% de água para que atingissem a trabalhabilidade desejada.

Com exceção da argamassa dosada apenas com cimento e bloco cerâmico moído, todas foram aprovadas pelos pedreiros quanto à plasticidade e facilidade de aplicação, sendo as argamassas com o teor total de finos igual a 23% as preferidas por eles.

As argamassas com a composição do Tipo 4 da Tabela 2 foram consideradas as mais plásticas e aquelas com a composição Tipo 1 as mais ásperas, provavelmente devido à forma mais lamelar das partículas cerâmicas e à presença de quantidade razoável de grãos entre 4,8 e 2,4 mm de diâmetro.

Visualmente, todas aderiram bem ao substrato até a espessura de 2,5 cm. O tempo de desempenamento variou entre 25 e 35 minutos, para as argamassas dos tipos T3 a T7 e, para as demais, entre 15 e 20 min. Todos estes tempos são baixos quando comparados aos tempos usuais de argamassas industrializadas, que são aditivadas com retentores de água. A causa provável para isso é que nesta fase se trabalhou com os agregados secos e sem esperar o tempo necessário para que o entulho cerâmico absorvesse a água antes de começar a aplicação, sendo a sua concentração maior nos tipos T1 e T2.

Nenhuma argamassa aplicada neste estudo apresentou problema de descolamento, pulverulência excessiva ou fissuração até a idade de 7 dias.

Como o teor total de finos igual a 19% forneceu uma trabalhabilidade considerada de média a boa pelos pedreiros, optou-se adotar como valor mínimo o teor de 18%, para que se tivesse no trabalho uma argamassa bem "magra". Argamassas com teor total de finos menor que este valor tornam o uso do entulho insignificante, para os resultados de finos passantes na peneira ABNT 75 μm obtidos pelo granulômetro a laser, não sendo interessante portanto adotá-los, do ponto de vista da reciclagem do entulho.

Os outros dois teores de finos escolhidos para se produzir argamassas de revestimento foram 25% e 32%. O valor de 25% justifica-se pelo fato de ser próximo ao *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ da argamassa de referência. Quanto à escolha do valor de 32% de finos, este foi para que se incluíssem argamassas consideradas "gordas" e potencialmente mais críticas quanto à fissuração e, por outro lado, de maior interesse para a reciclagem, por incorporar maior volume de entulho.

3.7.2 Escolha do traço e das composições de entulho das argamassas de revestimentos a serem aplicadas em grandes painéis

Para a escolha do traço e das composições de entulho nas argamassas de revestimento, julgou-se necessário conhecer algumas das suas características no estado fresco, principalmente o consumo de entulho por m^3 de argamassa. Para isto, foram utilizados os traços extremos adotados no estudo de trabalhabilidade, 1 : 7 e 1 : 10, com relação água/materiais secos igual a 24% e com 19% de finos totais menores que 75 μm. As argamassas foram caracterizadas quanto à consistência, retenção de água e ao consumo

de materiais / m^3, através da densidade de massa no estado fresco, com os dados publicados em MIRANDA; SELMO (1999). Os resultados encontram-se na Figura 15, na Figura 16 e na Tabela 5.

O traço 1 : 10 apresentou um consumo de cimento muito baixo (Tabela 5). O traço 1 : 7, por ter pouca quantidade de entulho na mistura, não mostrou-se útil para se verificar a influência de cada tipo de composição de entulho nas propriedades das argamassas no estado fresco (Figura 15 e Figura 16), nem tampouco seria um traço vantajoso quanto à incorporação do entulho**.** Assim, escolheu-se para execução dos revestimentos o traço 1 : 9 em massa, por não apresentar pulverulência excessiva e por ser o que mais aproximou-se do traço de referência (cimento, cal e areia, 1 : 2 : 9 em volume úmido) quanto ao consumo de cimento por m^3 de argamassa.

Tabela 5: Consumo de materiais de argamassas com entulho.

Traço	**Tipo de composição**	**Cimento (kg/m³)**	**Água (kg/m³)**	**Areia (m³/m³)**	**Entulho (kg/m³)**
1 : 7	**T1**	192	368	1,2	102
	T2	192	368	1,2	102
	T3	191	367	1,2	101
	T4	190	364	1,2	99
	T5	192	369	1,2	105
	T6	192	369	1,2	107
	T7	193	371	1,2	110
1 : 10	**T1**	135	357	1,2	250
	T2	135	356	1,1	248
	T3	135	356	1,1	247
	T4	135	355	1,1	244
	T5	136	359	1,1	257
	T6	137	361	1,1	265
	T7	137	362	1,1	272

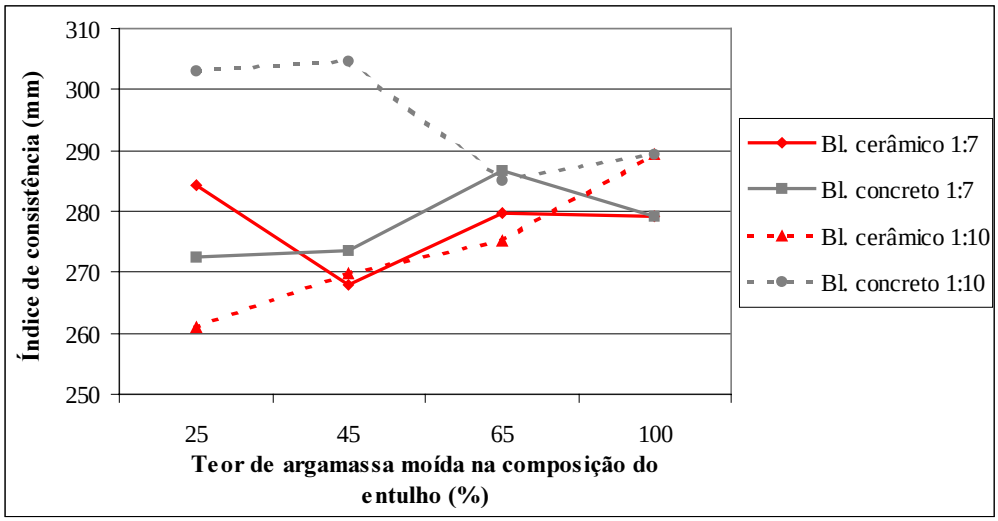


Figura 15: Índice de consistência das argamassas pela NBR 13276 (ABNT, 1995), com relação água/materiais secos constante e igual a 24%, em massa e utilizando-se os entulhos da primeira partida de moagem.

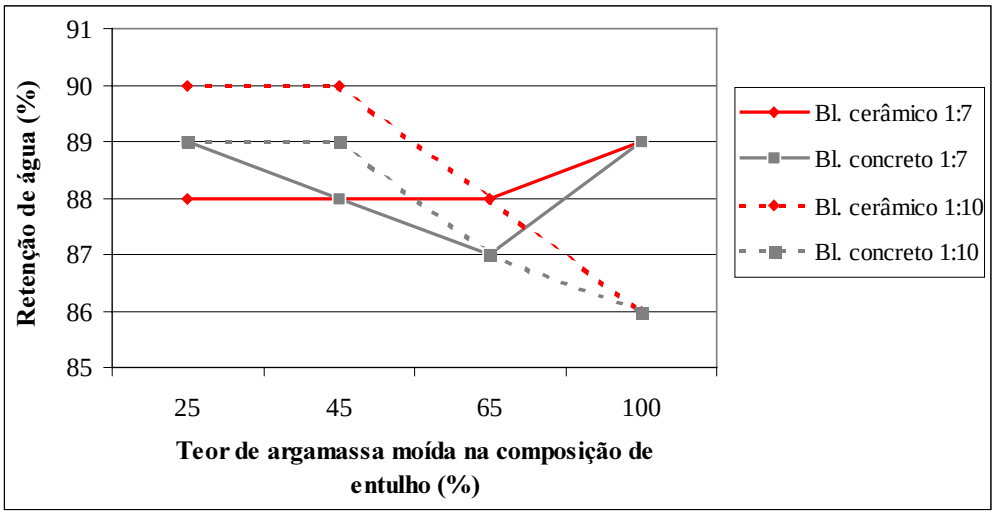


Figura 16: Retenção de água das argamassas pela NBR 13277 (ABNT, 1995) e com relação água/materiais secos constante e igual a 24%, em massa e utilizando-se os entulhos da primeira partida de moagem.

Quanto à escolha das composições de entulhos utilizadas nos revestimentos, entre as sete da Tabela 2, o critério de seleção teve origem nas composições que mais poderiam se aproximar daquelas geradas por alvenarias demolidas (com diversas dimensões de blocos, com ou sem revestimento de argamassa), de acordo com os cálculos apresentados no **ANEXO D.**

Por este critério, as composições selecionadas foram T2 e T6. Como a composição do entulho em canteiros varia com a etapa em que a obra se encontra, entende-se que em determinada fase, por exemplo nos serviços de revestimento, tem-se o predomínio do entulho de argamassa, por isso foi escolhida também a composição T4.

Entende-se que não há razão de estudar composições de entulho que dificilmente serão encontradas em situações reais, sendo que a sua inclusão nesta parte inicial no trabalho teve por objetivo verificar se poderiam ou não causar mudanças expressivas no consumo de água, o que não se verificou, pelo apresentado no item 3.7.1.

Dessa forma, o trabalho prosseguiu nos itens 3.8 a 3.11.5, com três das argamassas com composições de entulho diferentes entre si mas praticamente com o mesmo traço e mesmo *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ da argamassa de referência, tornando a análise dos resultados mais interessante do ponto de vista da reciclagem, a saber:

- traço 1 : 9, cimento : agregado total;
- composições de entulho tipo T2, T4 e T6, na Tabela 2;
- teor total de finos igual a 25%;
- comparação com a argamassa de referência Mista de traço 1 : 1 : 8 em massa e *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ igual a 24%.

3.8 Caracterização das argamassas selecionadas

Como explicado e justificado no item anterior, as argamassas usadas na execução dos revestimentos tiveram o traço fixo em 1 : 9, cimento : agregado total, variando-se o *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ em 18%, 25% e 32% e fazendo-se uso dos entulhos produzidos pela segunda partida de moagem e das composições de entulho Tipo 2 (T2), Tipo 4 (T4) e Tipo 6 (T6), como resumido na Tabela 6.

Mas, apenas para a caracterização das argamassas nos estados fresco e endurecido, foram também incluídas outras 3 composições de argamassas definidas como E2, E4 e E6, de traço 1 : 9, em massa, somente dosadas com cimento e os entulhos escolhidos (dos tipos T2, T4 e T6), ou seja, sem areia, resultando com *teores totais de finos* $< 75\ \mu m$ iguais a 46%, 40% e 40%, respectivamente.

A forma de cálculo da curva granulométrica teórica das composições anidras das argamassas está descrita no item 3.8.1. O método de mistura das argamassas, para realização dos ensaios de caracterização no estado fresco e no estado endurecido, está descrito no item 3.8.2. Os métodos de caracterização para as treze argamassas da Tabela 6 estão descritos nos itens 3.8.3 e 3.8.4.

Tabela 6: Argamassas utilizadas na pesquisa e submetidas à caracterização indicada na última coluna.

***Teor total de finos < 75 μm* (%)**	**Tipo de Composição**	**Traço (massa seca) cim. : ent. : areia**	**Caracterização**
18	**T2**	1 : 1,1 : 7,9	Propriedades intrínsecas das argamassas e de desempenho dos revestimentos
	T4	1 : 1,3 : 7,7	
	T6	1 : 1,4 : 7,6	
25	**T2**	1 : 3,1 : 5,9	
	T4	1 : 3,7 : 5,3	
	T6	1 : 3,8 : 5,2	
32	**T2**	1 : 5,0 : 4,0	
	T4	1 : 6,2 : 2,8	
	T6	1 : 6,3 : 2,7	
24	**Mista**	1 : 1,0 : 7,7	
46	**E2**	1 : 9,0 : 0,0	Propriedades intrínsecas das argamassas
40	**E4**	1 : 9,0 : 0,0	
40	**E6**	1 : 9,0 : 0,0	

3.8.1 Curva granulométrica teórica das composições anidras

Com base nos resultados do ensaio de granulometria a laser e na porcentagem de cada material em uma dada composição de argamassa, foi possível montar a distribuição granulométrica teórica das misturas anidras, que estão apresentadas no item 4.1. A fórmula geral utilizada no cálculo da porcentagem de material retida em um determinado intervalo de abertura de peneira, para qualquer uma das treze argamassas estudadas, é dada pela Equação 2:

$$\%Ret = \frac{(\%_{cim} \times M_{cim} + \%_{cer} \times M_{cer} + \%_{arg} \times M_{arg} + \%_{bloco} \times M_{bloco} + \%_{areia} \times M_{areia} + \%_{cal} \times M_{cal})}{M_{total}} \times 100$$

Equação 2

Onde:

%Ret = % de massa de material retida em uma determinada abertura de peneira considerada;

M_{cim} = proporção de cimento no traço da argamassa, em massa com materiais secos;

$\%_{cim}$ = % da massa de cimento total que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

$\%_{cer}$ = % da massa de entulho cerâmico que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

M_{cer} = proporção total de entulho cerâmico no traço da argamassa, em massa com materiais secos;

$\%_{arg}$ = % da massa de entulho de argamassa moída que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

M_{arg} = proporção total de entulho de argamassa moída no traço da argamassa, em massa com materiais secos;

$\%_{bloco}$ = % da massa de entulho de bloco de concreto que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

M_{bloco} = proporção total de entulho de bloco de concreto no traço da argamassa, em massa com materiais secos;

$\%_{areia}$ = % da massa de areia que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

M_{areia} = proporção total de areia no traço da argamassa, em massa com materiais secos;

$\%_{cal}$ = % da massa de cal que fica retida no intervalo de peneiras considerado;

M_{cal} = proporção de cal no traço da argamassa, no caso da argamassa Mista de referência.

3.8.2 Método de mistura das argamassas

O seguinte procedimento foi utilizado para a mistura das argamassas, nos ensaios nos estados fresco e endurecido, explicados nos itens 3.8.3 e 3.8.4:

- colocar água na argamassadeira de eixo planetário;
- adicionar o material seco (4 kg) em 30 segundos;
- bater em velocidade lenta por 90 segundos;
- deixar a argamassa descansar por 10 minutos, colocando-se um pano úmido na superfície para diminuir a perda de água;
- bater por mais 2 minutos em velocidade lenta.

O descanso por 10 minutos foi para permitir a absorção de água pelos entulhos. Realizou-se o ensaio de absorção inicial de água nos intervalos de 5, 10 e 30 minutos de contato do entulho com a água. Após 10 minutos o entulho cerâmico, de absorção mais crítica, já havia absorvido cerca de 96% da sua capacidade total de absorção de água, constando esses resultados no **ANEXO C.**

3.8.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

3.8.3.1 Índice de consistência

O índice de consistência das argamassas foi fixado em 285 mm ± 15 mm, determinado pela norma NBR 13276 (ABNT, 1995), utilizando-se a mesa de consistência mostrada na Figura 17.

O limite de variação do índice de consistência dessa norma é ± 10 mm, mas aqui foi ampliado pela grande variação da plasticidade das argamassas estudadas afetar diretamente esta propriedade.

3.8.3.2 Manutenção da consistência em função do tempo

Este ensaio foi realizado determinando-se o índice de consistência das argamassas descritas na Tabela 6, pela NBR 13276 (ABNT, 1995), nos tempos: 0, 30, 60 e 90 minutos de idade das misturas. Também fez-se uso da mesa de consistência mostrada na Figura 17.

Após a medida em cada tempo descrito acima, as argamassas permaneciam em repouso dentro da argamassadeira com sua parte superior coberta com um pano úmido. Antes de efetuar a próxima medida, as argamassas eram remisturadas por 30 segundos.

Considerou-se importante caracterizar esta propriedade para avaliar durante quanto tempo as argamassas escolhidas para execução dos revestimentos mantinham-se trabalháveis sem necessidade de reamassamento com água, o que conforme MORAIS; SELMO (1999) é desaconselhável, e também como forma de analisar uma possível influência da taxa de perda de umidade das argamassas na fissuração dos revestimentos. Os resultados estão descritos no item 4.2.2.

Figura 17: Mesa de consistência utilizada na determinação da consistência das argamassas e no ensaio de manutenção de consistência.

3.8.3.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Os ensaios de densidade de massa e de teor de ar incorporado foram realizados conforme a NBR 13278 (ABNT, 1995).

Os resultados estão descritos no item 4.2.3 e representam a média de duas determinações por tipo de argamassa.

3.8.3.4 Retenção de água

O ensaio de retenção de água foi realizado conforme a NBR 13277 (ABNT, 1995).

Os resultados estão descritos no item 4.2.4 e representam a média de duas determinações por tipo de argamassa.

3.8.3.5 Consumo de materiais e custo por m³ de argamassa

O consumo de cimento por m³ de argamassa foi calculado utilizando-se a densidade de massa das argamassas, medida conforme o item 3.8.3.3, na Equação que segue:

$$C_{cim} = \frac{\delta_{\text{arg}}}{(1 + p + q + a / c_{corr.})}$$

Equação 3

Onde:

C_{cim} = consumo de cimento por m³ de argamassa, em kg / m³;

δ_{arg} = densidade de massa da argamassa no estado fresco, determinada conforme o item 3.8.3.3;

p = adição plastificante da argamassa, podendo ser a cal ou o entulho, no traço em massa seca;

q = agregado miúdo principal da argamassa, no caso a areia fina de rio, no traço em massa seca;

a / c_{cor} = relação água/cimento corrigida das argamassas, descontando-se a absorção de água dos entulhos.

O consumo de entulho em cada argamassa foi determinado multiplicando-se o consumo de cimento pelo seu valor no traço (Tabela 6) e expresso em kg / m³.

O consumo de areia úmida foi expresso em m³ / m³ de argamassa, determinado utilizando-se seu valor no traço de cada argamassa (Tabela 6) e os resultados de densidade de massa aparente e de coeficiente de inchamento da areia (Tabela C.1).

O custo do m³ das argamassas foi determinado através da Equação 4.

$$Custo / m^3 = C_{cim} \times \$_{cim} + C_{cal} \times \$_{cal} + C_{areia} \times \$_{areia} + C_{ent} \times \$_{ent}$$

Equação 4

Onde:

Custo / m³ = custo por m³ de argamassa, em R$ / m³;

C_{cim} = consumo de cimento por m³ de argamassa, em kg/m³;

C_{cal} = consumo de cal por m³ de argamassa, em kg/m³;

C_{areia} = consumo de areia por m³ de argamassa, em m³/m³;

C_{ent} = consumo de entulho por m³ de argamassa, em kg/m³;

$\$_{cim}$ = preço do kg de cimento, sendo que para o cálculo usou-se R$ 0,20 / kg;

$\$_{cal}$ = preço do kg de cal, sendo que para o cálculo usou-se R$ 0,15 / kg;

$\$_{areia}$ = preço do m³ da areia, sendo que para o cálculo usou-se R$ 27,00 / m³;

$\$_{ent}$ = preço do kg de entulho, sendo que para o cálculo usou-se R$ 0,0035 / kg.

É mostrado também o custo do m³ das argamassas com entulho em relação ao da argamassa Mista de referência, expresso em porcentagem.

O custo do m³ de entulho reciclado é variável de acordo com o processo de reciclagem utilizado. Em usinas de reciclagem o preço de venda está em torno de R$ 4,50 / m³ (PINTO, 1999) ou US$ 2,50 / m³, bem inferior ao m³ de agregado natural. Como neste trabalho estão sendo usadas composições de entulho e são desconhecidas suas densidades de massa aparente, determinou-se o custo do kg do entulho dividindo-se o valor de R$ 4,50 / m³ pela densidade de massa aparente do bloco cerâmico, que é a menor dos três entulhos básicos deste trabalho. Os resultados obtidos encontram-se no item 4.2.5.

3.8.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

As seguintes propriedades foram determinadas para os traços da Tabela 2: resistência à tração na flexão, resistência à compressão, módulo de elasticidade à compressão e retração por secagem conforme métodos explicados no itens 3.8.4.2 a 3.8.4.5.

3.8.4.1 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova para todos os ensaios mecânicos de uma mesma argamassa foram moldados de uma mesma porção de mistura, com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm, sendo vibrados mecanicamente no equipamento mostrado na Figura 18, conforme a EN 1015 – Part 11.

A retração por secagem das argamassas foi medida e calculada em analogia à NBR 8490 (ABNT, 1984), para 4 corpos-de-prova de 25 mm x 25 mm x 285 mm, de cada argamassa moldados manualmente.

Da moldagem até 3 dias de idade os corpos-de-prova foram mantidos em uma caixa plástica com água e bem vedada, por não estar disponível na ocasião a câmara úmida, mas conseguindo-se dessa forma uma umidade relativa do ar muito próxima a 100%.

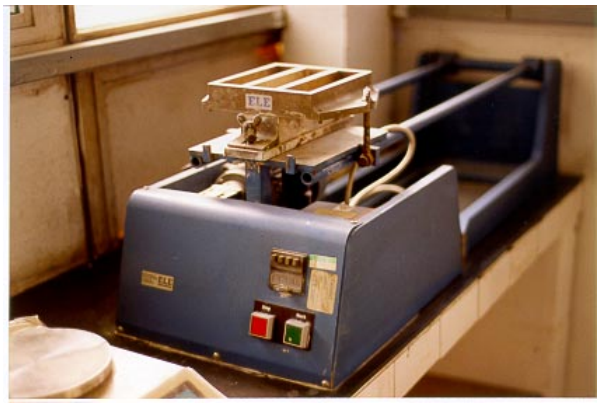


Figura 18: Equipamento utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova de dimensões 40 mm x 40 mm x 160 mm, utilizados nos ensaios mecânicos de tração na flexão, compressão e módulo de elasticidade.

A desmoldagem dos corpos-de-prova foi realizada no terceiro dia para que se evitasse danificá-los. Daí até 7 dias de idade, os corpos-de-prova ficaram submersos em água saturada com cal com o intuito de se evitar a saída, do interior dos corpos-de-prova, da cal formada pela hidratação do cimento, como é recomendado pela NBR 8490/84.

De 7 dias em diante, os corpos-de-prova foram armazenados em câmara seca com umidade relativa de 55% ± 10% e temperatura de 24 ºC ± 5 ºC, sendo que os do ensaio mecânico permaneceram neste local até a idade de 28 dias e os do ensaio de retração por secagem até a idade de 63 dias.

3.8.4.2 Resistência à tração na flexão

A resistência à tração na flexão foi medida com quatro corpos-de-prova de dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada argamassa, aos 28 dias de idade, moldados e ensaiados de acordo com a norma EN 1015 – Part 11, com velocidade de carregamento de 13 N/s, em uma prensa Emic DL10000. A cura adotada consta no item 3.8.4.1. Os resultados constam no item 4.3.1 e a Figura 19 ilustra este ensaio.

Os resultados individuais dos corpos de prova desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.1.**

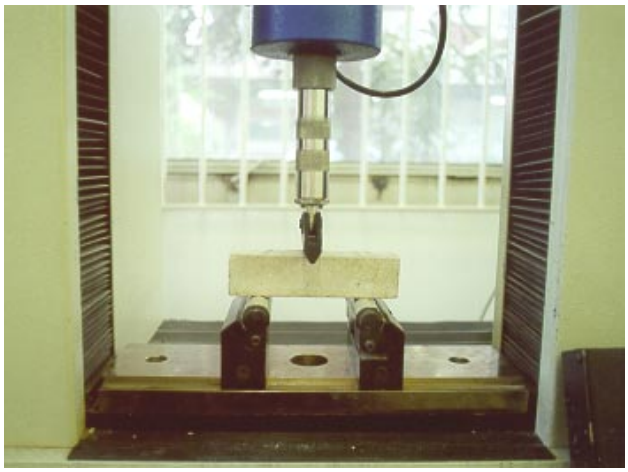


Figura 19: Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos-de-prova de 40 mm x 40 mm x 160 mm, com vão livre de 100 mm, conforme a EN 1015 – Part 11.

3.8.4.3 Resistência à compressão simples

A resistência à compressão foi medida com quatro corpos-de-prova de dimensões próximas a 40 mm x 40 mm x 80 mm para cada argamassa, aos 28 dias de idade, utilizando-se uma das metades de cada corpo-de-prova ensaiado à flexão, segundo o dispositivo ilustrado na Figura 19 e sendo a velocidade de carregamento igual a 100 N/s. A cura adotada consta no item 3.8.4.1.

Os resultados individuais dos corpos de prova desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.2**. Os resultados constam no item 4.3.2.

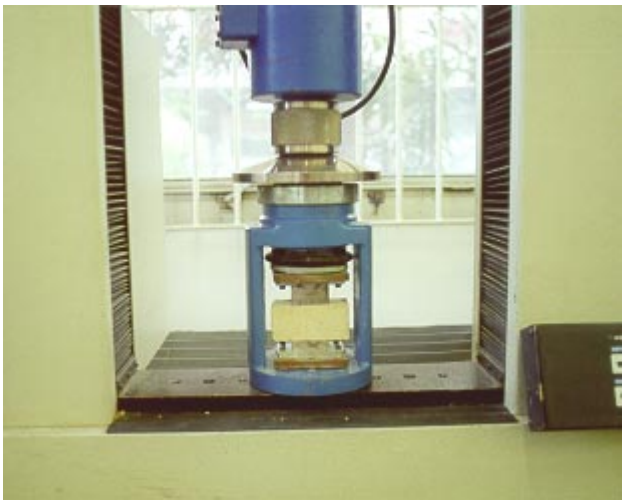


Figura 20: Ensaio de resistência à compressão em metades dos corpos-de-prova de flexão e com dimensões aproximadas de 40 mm x 40 mm x 80 mm, conforme a EN 1015 – Part 11.

3.8.4.4 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade secante à compressão das argamassas foi medido também aos 28 dias de idade utilizando-se as 4 metades restantes dos corpos-de-prova originais do ensaio de tração na flexão, conforme o item 3.8.4.2.

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade à compressão foi realizado em analogia à NBR 7190 (ABNT, 1996) efetuando-se inicialmente dois ciclos de carga e descarga a 10% e 50% do limite de resistência à compressão estimado para cada argamassa. O módulo secante foi calculado para as deformações medidas nesses dois limites, no 3º ciclo de carregamento, através de dois extensômetros elétricos acoplados em duas laterais opostas de cada corpo-de-prova. A velocidade de carga e descarga adotada foi de 100 N/s. Após atingir 50% da carga de ruptura no terceiro ciclo, os dois extensômetros eram retirados e o corpo-de-prova levado à ruptura. Os resultados constam no item 4.3.3.

Os resultados individuais dos corpos de prova desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.3.**

Figura 21: Ensaio de módulo de elasticidade secante à compressão em corpos-de-prova de 40 mm x 40 mm x 80 mm, feito por 3 ciclos de carregamentos, em analogia à NBR 7190 (ABNT, 1996).

3.8.4.5 Retração por secagem

Pelo tipo de cura inicial aplicado, como consta no item 3.8.4.1, as medidas de retração iniciaram-se aos 7 dias e foram até 63 dias. Na data da 1ª leitura de comprimento das barras, a 7 dias de idade, os 4 corpos-de-prova de cada argamassa estavam totalmente saturados, pois foram mantidos em atmosfera saturada de vapor de água desde a moldagem e submersos entre 4 e 7 dias. Os resultados estão descritos no item 4.3.4.

Figura 22: Aparelho comparativo da NBR 8490 (ABNT, 1984) de medida de retração linear por secagem em corpos-de-prova de 25 mm x 25 mm x 285 mm.

3.9 Análise complementar de algumas propriedades de argamassas no estado fresco para avaliação da influência da natureza do entulho

Além das argamassas selecionadas para caracterização descritas na Tabela 6, também foi realizada uma caracterização no estado fresco de algumas argamassas com a granulometria e a relação água/materiais secos diferentes e pré-fixadas, com o objetivo de melhor se avaliar a influência da natureza do entulho nas propriedades das argamassas.

Para isto, quatro argamassas com mesma porcentagem de material retido nas peneiras de abertura de malha iguais a 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm e mesma porcentagem passante nesta última abertura de peneira, todas com relação água / materiais secos igual a 17%, foram caracterizadas quanto à consistência, densidade de massa e teor de ar aprisionado, sendo o método de mistura o descrito no item 3.8.2.

As porcentagens retidas em cada uma destas peneiras seguiu a distribuição granulométrica definida pelo DTU 26.1 / 78. A opção por esta distribuição em relação às definidas pela NBR 7200 (ABNT, 1982), IPT ES-5 / 1981 e BSI 5262 / 76, descritas na Tabela 7, foi por essa apresentar boa continuidade e o maior *teor total de finos* < 75 μm, igual a 15%, o que propiciou melhor trabalhabilidade para argamassas de revestimento sem o uso de cal, entre as distribuições granulométricas pesquisadas.

Tabela 7: Distribuições granulométricas de agregados definidas pela DTU 26.1/78, NBR 7200/82, BSI 5262/76 e IPT ES-5/1981 para utilização em argamassas.

Abertura da malha (mm)	**Porcentagem passante acumulada do agregado em cada peneira**			
	DTU 26.1/78	**NBR 7200/82**	**BSI 5262/76**	**IPT ES-5/1981**
4,8	100	100	100	85
2,4	94	100	100	67
1,2	76	100	100	49
0,6	59	83	80	32
0,3	42	56	40	15
0,15	25	46	10	0
0,075	15	5	5	0
Teor total de finos < 75 μm em argamassa 1 : 9 em massa	23,2%	14,2%	14,2%	9,7%

Todas as quatro argamassas tinham traço 1 : 9 em massa, porém com a fração inerte de naturezas diferentes, sendo uma de bloco cerâmico, uma de argamassa moída, uma de bloco de concreto e a última de areia. Os resultados deste teste complementar estão descritos no item 4.4.

3.10 Execução dos revestimentos de argamassa

O seguinte procedimento de mistura foi utilizado na preparação das argamassas em betoneira de eixo inclinado e com capacidade nominal de 500 L:

- colocar água na betoneira;
- adicionar os agregados e misturar por 1 minuto;
- deixar o material descansar por 10 minutos;
- adicionar o cimento e misturar por mais 3 minutos.

Por face revestida de 3 m², foi utilizado de 9,5 a 11,5 kg de cimento e uma massa total de argamassa variando entre 112 kg e 150 kg.

Cada um dos traços das argamassas descritas na Tabela 6 foram aplicadas sobre 3 faces dos pórticos mostrados na Figura 9, no mesmo dia e sempre com o mesmo pedreiro, para minimizar efeitos da mão-de-obra.

No que diz respeito ao consumo de água, estas argamassas preparadas na betoneira e aplicadas como revestimentos diferiram um pouco daquelas que foram caracterizadas conforme os itens 3.8.3 e 3.8.4. Por isso foram novamente avaliadas quanto à consistência e propriedades mecânicas, conforme os resultados que serão discutidos no item 4.5.1.

As dez argamassas escolhidas foram produzidas em três betonadas, sendo uma betonada para cada uma das três faces de pórticos revestidas com a mesma argamassa, conforme a Figura 23, com o objetivo de padronizar o tempo entre mistura e início da aplicação nas três faces.

A espessura nominal dos revestimentos foi estabelecida para ser de 15 mm e foi controlada por taliscamento de todos os pórticos.

A aplicação da argamassa foi feita de baixo para cima e o sarrafeamento do revestimento iniciado pela metade superior do pórtico em direção ao seu topo, tão logo a área de cada face estivesse preenchida pelo lançamento manual da argamassa. Assim, teve-se a parte superior de cada revestimento com o sarrafeamento executado em tempo precoce, iniciado logo que a etapa de aplicação foi finalizada, e a parte inferior de cada um acabado com tempo ótimo de sarrafeamento, definido pelo pedreiro, por critério visual e de resistência ao tato.

O desempenamento das duas regiões do revestimento foi realizado em seqüência ao sarrafeamento, tanto para o tempo ótimo quanto para o tempo precoce.

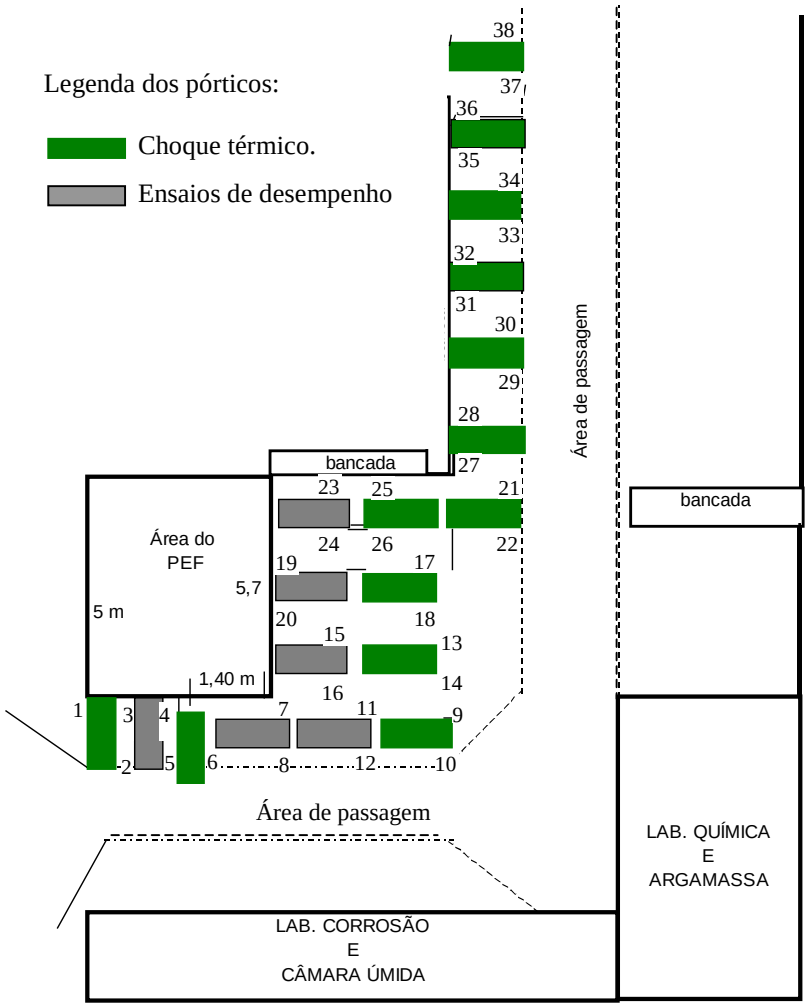


Figura 23: Leiaute em planta da disposição dos pórticos no laboratório do PCC-USP. Os pórticos destinados ao ensaio de choque térmico possuem o mesmo traço de argamassa em ambas as faces. Cada face de pórtico numerada de 1 até 38 corresponde a área de revestimento com cerca de 3 m².

No **ANEXO H** constam as tabelas com os tempos de sarrafeamento e desempenamento, precoce e ótimo, resultantes nas trinta faces revestidas nesta etapa final do trabalho.

Durante a aplicação ou no acabamento final dos revestimentos por desempenadeira de madeira (Figura 24), não houve aspersão ou acréscimo de água em relação àquela utilizada na mistura em betoneira.

Figura 24: Execução do desempenamento no revestimento de argamassa 18% T4, na região definida como precoce (metade superior).

Uma vista geral da maior parte dos revestimentos executados é mostrada na Figura 25.

Figura 25: Vista geral dos revestimentos de argamassas executados no laboratório do PCC-USP para análise de desempenho conforme os ensaios descritos no item 3.11 a seguir.

3.11 Avaliação do desempenho dos revestimentos

3.11.1 Caracterização complementar das argamassas aplicadas como revestimento

Apesar da caracterização realizada em argamassadeira conforme o item 3.8.2, onde se fez a determinação do consumo de água necessário para que as argamassas atingissem a consistência de 285 mm ± 15 mm, durante a mistura das argamassas na betoneira de eixo inclinado observou-se que a maioria delas mostravam-se secas para aplicação como revestimento, tendo sido efetuado então um acréscimo de água em relação à quantidade prevista, para que uma consistência trabalhável fosse atingida.

Assim, repetiu-se a determinação da consistência e a moldagem de novos corpos-de-prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm, de acordo com a norma EN 1015 – Part 11, porém com a cura realizada de duas formas: a) permanente em câmara úmida; b) permanente em câmara seca a 50% U.R. Os ensaios realizados foram de resistência à tração e à compressão e seus resultados estão analisados nos itens 4.5.1.2 e 4.5.1.3.

Os resultados individuais dos corpos de prova desses ensaios, bem como os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, encontram-se nos **ANEXOS F.4** a **F.7.**

A modificação introduzida no processo de cura desses últimos corpos-de-prova em relação à inicial descrita no item 3.8.4 decorreu da necessidade de melhor se interpretar os resultados obtidos nas propriedades mecânicas em função do tipo de entulho (possível efeito fíler, por exemplo, no aumento de resistência mecânica a ser adiante discutido).

3.11.2 Controle da fissuração pela secagem natural dos revestimentos

O controle de fissuração dos revestimentos foi realizado em termos de quantidade e comprimento linear para as fissuras visíveis, por m^2 de parede revestida para todas as argamassas, nas 3 faces revestidas de cada argamassa.

A época que compreendeu o controle da fissuração foi do mês de novembro de 1999 ao mês de julho de 2000, estimando-se um total de 220 dias, desde o início da execução dos revestimento até o término do ensaio de choque térmico descrito no item 3.11.5. Os resultados estão descritos no item 4.5.4.

3.11.3 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração dos revestimentos foi caracterizada, inicialmente, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995) e em uma das faces revestidas com cada tipo de argamassa, na idade de 28 dias, estando os resultados descritos no item 4.5.2. Tomou-se o cuidado de não realizar ensaios sobre as juntas de assentamento das alvenarias, como recomendado por CARASEK et al. (1999).

Os resultados individuais desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e de coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.8.**

Figura 26: Pastilhas de alumínio coladas no revestimento 25% T2 para ensaio de aderência à tração, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), sendo realizado nas áreas sarrafeadas em tempo ótimo e precoce.

3.11.4 Absorção de água capilar pelo método do cachimbo

O método do cachimbo tem origem francesa e foi utilizado em revestimentos de argamassa sem pintura por SELMO (1989), a partir dos estudos de POLISSENI (1985), constando na Figura 27 a ilustração do equipamento básico empregado.

O teste foi realizado com 2 a 3 cachimbos, em uma única face de cada revestimento com idade de 28 dias.

Os cachimbos foram fixados nos revestimentos com o auxílio de massa para calafetar e as medidas realizadas a cada minuto, até 15 minutos, conforme SELMO (1989), simplificando a amostragem de POLISSENI (1985). Os resultados estão descritos no item 4.5.3.

Os resultados individuais desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.9.**

Figura 27: Ensaio de absorção pelo método do cachimbo, de origem francesa e estudado inicialmente para revestimentos de argamassa no Brasil por POLISSENI (1985) e SELMO (1989).

3.11.5 Resistência ao choque térmico, por método IPT

Os dez pórticos revestidos pelo mesmo tipo de argamassa nas duas faces foram submetidos ao ensaio de choque térmico, conforme IPT (1998).

O equipamento de choque térmico (Figura 28 a) foi construído no âmbito deste projeto e tem as dimensões de 1,30 m x 2,30 m, composto por 98 lâmpadas incandescentes de 150 W.

O ensaio foi realizado da seguinte forma:

a) o aparelho era colocado em frente ao pórtico a ser testado com as lâmpadas voltadas para a face a ser aquecida (Figura 28 b);

b) após a superfície do revestimento alcançar a temperatura de 80 ºC ± 5 ºC, medida em cinco pontos através de um termômetro a laser (Figura 28 c), a temperatura era mantida nesse intervalo por uma hora;

c) após uma hora na temperatura indicada, o equipamento de aquecimento dos revestimentos era desligado, retirado do local e então colocava-se um cano de PVC, usado para molhagem do revestimento, na parte superior do pórtico e uma calha inferior, para captação da água escorrida pela parede. O cano de aspersão possuía

comprimento igual à largura do revestimento e vários furos distanciados entre si de 2,5 cm em toda sua extensão (Figura 29 b). A calha ficava apoiada sobre dois blocos de concreto, encaixada no revestimento através de um pequeno corte feito em toda sua largura com o uso de uma serra circular tipo Makita (Figura 29 a). Abaixo da calha era colocado um balde plástico com capacidade de 10 litros que recolhia a água captada pela calha;

d) ligava-se então uma mangueira da torneira ao cano de PVC e molhava-se os revestimentos por 5 minutos. Então era novamente medida a temperatura superficial do revestimento para avaliar sua queda de temperatura;

e) após 15 a 30 horas era iniciado um novo ciclo de aquecimento e molhagem da mesma face, até completar 10 ciclos.

O número de dez ciclos é o preconizado pelo IPT (1998), mas tem-se hoje notícias que o CSTB – Centre Scientifique et Technique du Batiment adota um número de 140 ciclos de 6 horas, com variação de temperatura entre 70 ºC e 20 ºC, mas através de câmara automatizada.

a)

b)

c)

Figura 28: Equipamento e acessórios para o ensaio resistência ao choque térmico, com base no método IPT (1998): **a)** Perfil do equipamento de aquecimento desligado; **b)** Equipamento em funcionamento; **c)** Termômetro a laser, marca MiniTemp, usado para controle da temperatura superficial do revestimento (80 ºC ± 5 ºC, neste trabalho).

a) **b)**

Figura 29: Etapa de molhagem dos revestimentos no ciclo de choque térmico. **a)** Balde e calha utilizados para captação da água; **b)** tubo de PVC perfurado encaixado na parte superior do pórtico molhando toda a superfície do revestimento. Dessa forma, resfriou-se os revestimentos de 80 ºC para cerca de 36 ºC em 5 minutos.

A análise da influência do choque térmico sobre o desempenho dos revestimentos foi realizada verificando-se os seus efeitos sobre o surgimento de fissuras e sobre sua aderência ao substrato, como detalhado nos itens 3.11.5.1 e 3.11.5.2 abaixo.

3.11.5.1 Influência do choque térmico na aderência dos revestimentos

Para avaliar a influência do choque térmico na aderência dos revestimentos, foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995) em cada uma das faces que receberam choque térmico, nas regiões de tempo ótimo de sarrafeamento e de tempo precoce e na idade de 8 meses. Os resultados estão descritos no item 4.5.5.1.

Os resultados individuais desse ensaio, bem como os valores de desvio-padrão e de coeficiente de variação, encontram-se no **ANEXO F.8.** A análise de variância dos resultados encontra-se no **ANEXO I.**

3.11.5.2 Influência do choque térmico na fissuração dos revestimentos

A influência do choque térmico na fissuração dos revestimentos foi realizada considerando-se o surgimento de fissuras visíveis e de microfissuras.

Para as fissuras visíveis, realizou-se o controle da fissuração através da comprimento total de fissuras (em cm) por m² de revestimento.

Para as microfissuras, que não podiam ser medidas ou contabilizadas devido à sua reduzida abertura e que se tornavam visíveis somente quando os revestimentos eram molhados, utilizou-se de uma análise qualitativa de sua ocorrência classificando-a visualmente em nenhuma, baixa, média ou alta de acordo com sua incidência. Os resultados dessa análise encontram-se no item 4.5.5.2.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS ARGAMASSAS E DOS REVESTIMENTOS

A apresentação e análise dos resultados obtidos na caracterização das argamassas e no desempenho dos revestimentos estão descritos entre os itens 4.1 e 4.5. Os resultados individuais de cada ensaio, junto com seu desvio padrão e coeficiente de variação, estão no **ANEXO F.**

4.1 Curva granulométrica teórica das composições anidras

A curva granulométrica teórica das treze composições de argamassas estudadas, conforme a Tabela 6, consta na Figura 30. Na Figura 30 – d é mostrada também, para fins comparativos, uma distribuição granulométrica contínua com *teor total de finos* < *75 μm* igual a 40%, calculada pela metodologia desenvolvida por CARNEIRO (1999).

Analisando a Figura 30 – a, é possível observar que a distribuição granulométrica das argamassas com 18% de finos é exatamente a mesma, o que se deve ao baixo teor de entulho na composição.

A diferença na distribuição granulométrica das argamassas aqui estudadas, com mesmo *teor total de finos* < *75 μm*, está, principalmente, nas dimensões de partículas superiores a 0,36 mm.

As argamassas com maiores teores de material retido acima desta dimensão, como as dos tipos 32% T2, 32% T6, E2 e E6, apresentaram uma tendência de melhor continuidade da curva granulométrica quando comparada à curva criada conforme CARNEIRO (1999), aproximando-se dessa. Mas esta tendência não se verificou para a argamassa E4.

Como esperado, a curva granulométrica da argamassa Mista de referência apenas se aproxima das argamassas com *teor total de finos* < *75 μm* igual a 25%, conforme a Figura 30 - c.

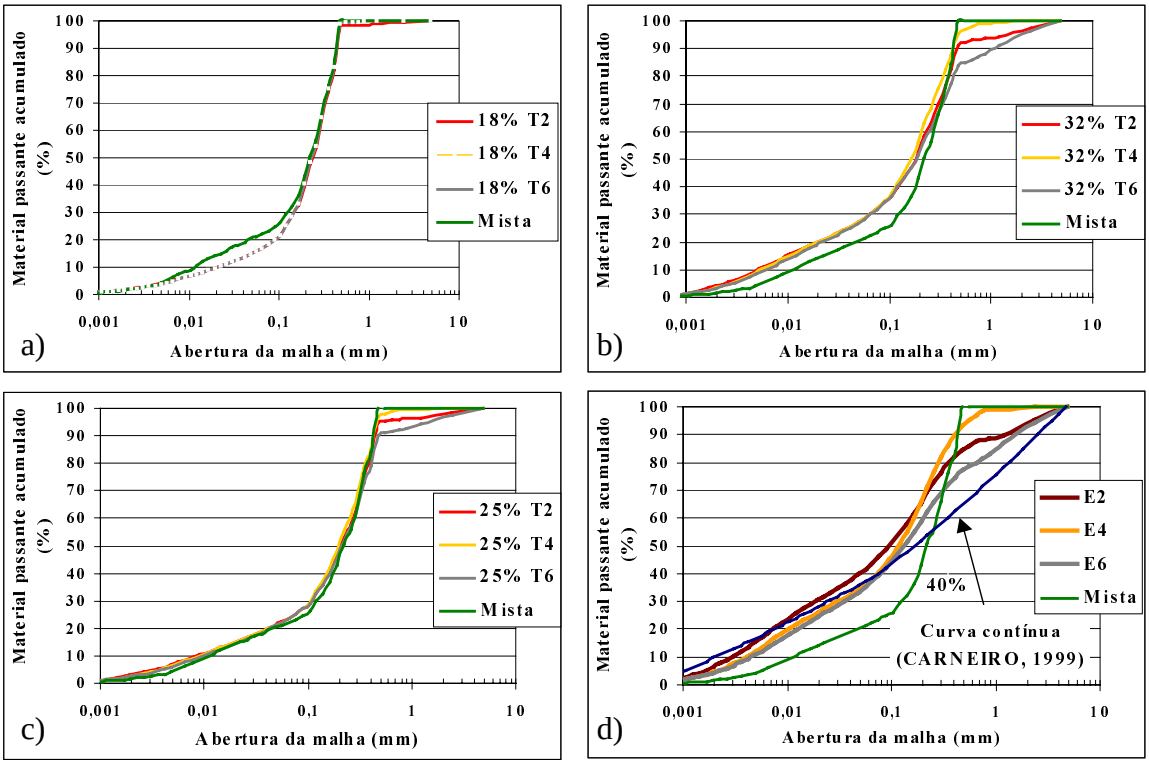


Figura 30: Curva granulométrica teórica das treze argamassas estudadas, conforme a Tabela 6.

4.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

A Tabela 8 apresenta de forma resumida os resultados dos ensaios realizados nas argamassas com a composição detalhada na Tabela 6 e pelos métodos descritos nos itens 3.8.3.1 a 3.8.3.5. Os resultados estão analisados nos itens 4.2.1 a 4.2.4.

Tabela 8: Resumo das características das argamassas no estado fresco, misturadas conforme o item 3.8.2, com os traços e composições da Tabela 6, sendo as propriedades medidas como descrito nos itens 3.8.3.1 a 3.8.3.5.

Argamassa	Valores médios					
	Relação água/mat. Secos total (%)	**Relação a/c total (kg/kg)**	**Relação a/c corrigida (kg/kg)**	**Retenção de água (%)**	**Densidade de massa (kg/m^3)**	**Teor de ar aprisionado (%)**
18% T2	25	2,5	2,39	89,1	1879	5,18
18% T4	25	2,5	2,45	87,8	1908	3,61
18% T6	24	2,4	2,34	88,4	1880	5,92
25% T2	23	2,3	2,06	87,9	1890	6,46
25% T4	23	2,3	2,24	90,7	1896	5,87
25% T6	21	2,1	2,02	90,2	1910	7,13
32% T2	23	2,3	1,94	92,8	1898	6,32
32% T4	23	2,3	2,22	89,6	1927	5,24
32% T6	20	2,0	1,89	88,6	1932	7,22
E2*	25	2,5	1,89	92,4	1861	7,23
E4*	25	2,5	2,41	92,2	1922	4,09
E6*	19	1,9	1,77	92,8	1960	7,13
Mista	25	2,5	2,46	92,6	1934	2,27

* *Teor total de finos* $< 75\ \mu m$ compreendido entre 40% e 46%.

4.2.1 Relação água/cimento (a/c) e água/materiais secos (H)

As relações “a/c” e “H” totais das argamassas foram definidas de modo a proporcionar-lhes um índice consistência de 285 mm ± 15 mm, pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Como ambos os gráficos são semelhantes, por se tratar do traço 1 : 9 (basta apenas multiplicar os valores da relação água / cimento por 10 para encontrar os respectivos valores de H, em %), está apresentado aqui somente o gráfico da relação água / cimento, sendo que os valores de H para cada argamassa estão na Tabela 8. Devido à absorção de água dos entulhos**,** indica-se também os valores corrigidos de água teóricos e que serão usados para a análise dos resultados dos ensaios mecânicos.

As relações “água / cimento total” e “água/materiais secos” das argamassas dos tipos T2, T4 e Mista podem ser consideradas elevadas (entre 2,3 e 2,5 ou entre 23% e 25%, respectivamente) em comparação com outros valores encontrados na literatura, como

19% e 21% em MORAIS; SELMO (1999) para as argamassas do mesmo traço. Como mostra a Figura 31, apenas as argamassas do tipo T6, com teores de finos maiores ou iguais a 25%, apresentaram baixos valores de relação água/cimento.

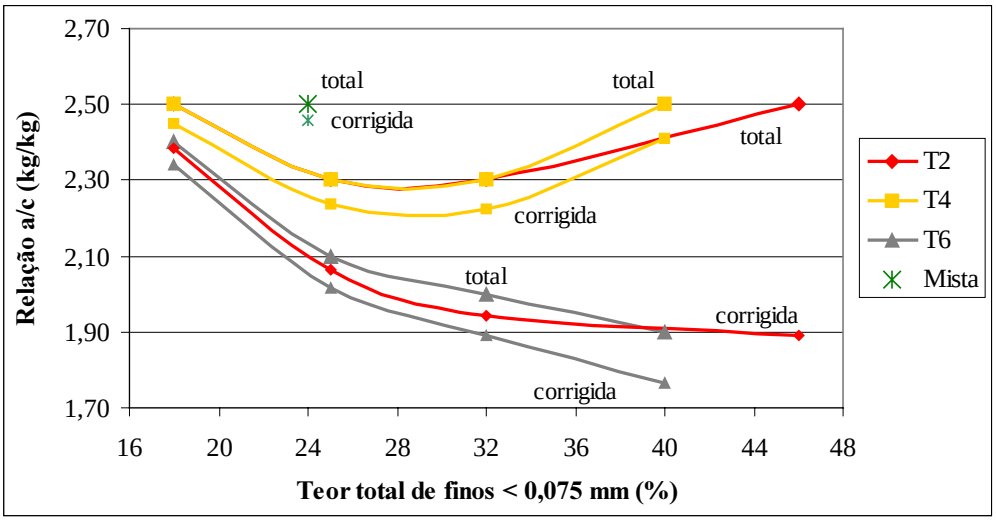


Figura 31: Relação água/cimento total e corrigida em função da absorção dos entulhos, para obtenção do índice de consistência das argamassas igual a 285 mm ± 15 mm pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

Mas quando se analisa os resultados em função da relação água/cimento corrigida, observa-se que para as argamassas do Tipo T2 existe uma grande diferença de valor quando compara-se com a relação água/cimento total, o que é devido à alta absorção de água do entulho cerâmico. Como neste trabalho foi respeitado o tempo que este material demora para atingir seu limite de absorção antes de misturá-lo com o aglomerante, a água absorvida é considerada não influenciar na microestrutura da argamassa, faz-se necessário analisar os resultados utilizando-se a relação água/cimento corrigida para que se evitem conclusões equivocadas.

A Figura 32 destaca a relação água/cimento corrigida, em função do *teor total de finos* $< 75\ \mu m$, indicando-se a composição dos entulhos, para possibilitar uma melhor visualização do que foi dito e que melhor se discute a seguir.

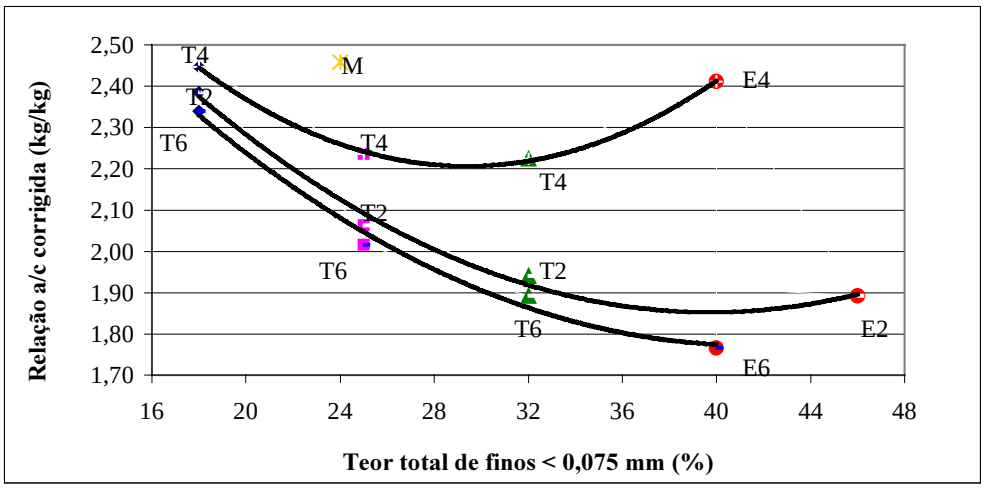


Figura 32: Relação água / cimento corrigida das argamassas, em função *teor total de finos < 75 μm* na mistura seca, com variação contrária à esperada em função das características muito finas da areia de rio. Traço das argamassas na Tabela 6.

Embora aparentemente contraditório, a relação água/cimento das argamassas do tipo T2 e T6 diminuiu para maiores teores de finos dos entulhos na mistura seca, o que se pode explicar pela substituição crescente da areia de rio fina, usada como agregado miúdo, por frações mais grossas contidas nesses entulhos. Tal fenômeno ocorreu com intensidade bem menor para o entulho T4, por ser ele de granulometria bem mais próxima à areia fina de rio usada como agregado miúdo principal, o que se pode constatar pela Figura 8.

Cabe observar, conforme a Figura 31, que isto não poderia ser observado para a argamassa com o entulho tipo T2 se fossem comparados os valores de relação água/cimento total, pois a diminuição da relação água/cimento devida ao aumento do teor de finos é compensada por um aumento desta relação devido à maior parcela de absorção de água pelo entulho, que também aumenta na composição.

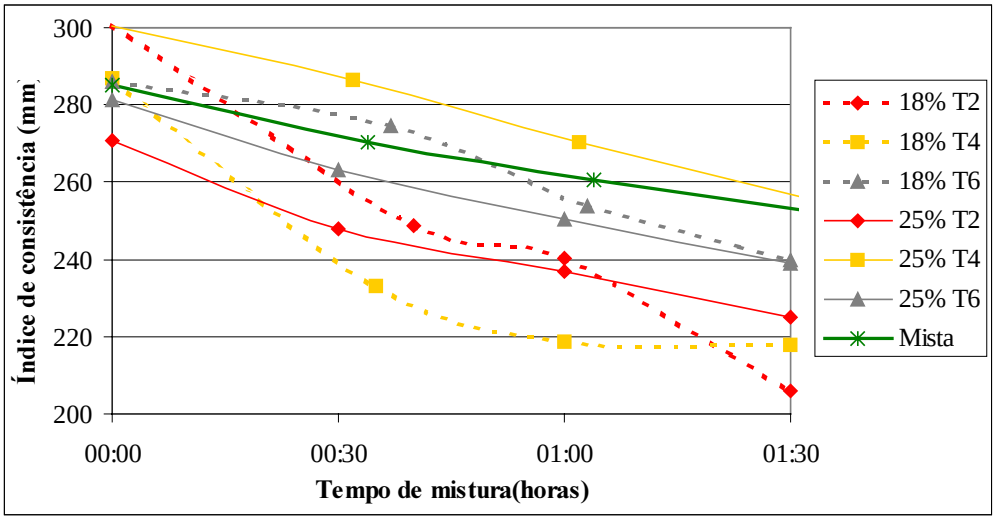
Comparando-se as relações água/cimento corrigidas das argamassas com as curvas das misturas anidras, observa-se que elas são menores à medida que as curvas apresentam melhor continuidade, o que aconteceu para as argamassas dos tipos T2 e T6 com teores de finos mais elevados. Uma possível causa disso está no índice de vazios das argamassas, que é menor naquelas com distribuição granulométrica mais contínua (CARNEIRO, 1999), já apontado por SELMO (1986) como fator influenciador no

consumo de água para determinada consistência. Porém, não se considera, neste trabalho, a melhor continuidade da granulometria como a única razão do menor consumo de água, pois o teor de ar aprisionado também parece ter influenciado, como é mostrado no item 4.2.3 e, além disso, a natureza das partículas mais finas presentes naqueles entulhos (T2 e T6), pois como será mostrado no item 4.4, apenas os finos do entulho T4 aumentaram o consumo de água das argamassas.

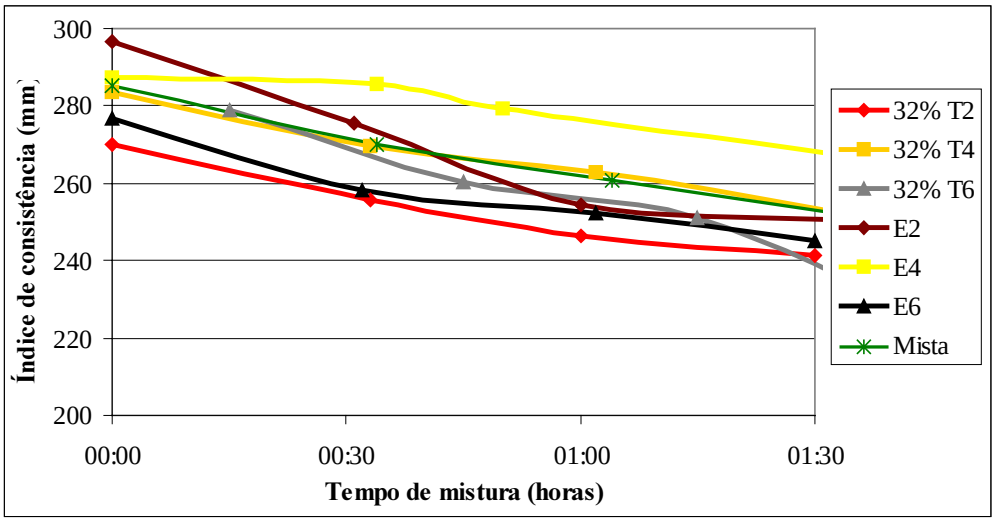
4.2.2 Manutenção de consistência

A Figura 33 mostra os resultados do ensaio de consistência das argamassas em função do tempo de mistura. As condições de umidade e temperatura de realização desse ensaio variaram em torno de 21 ºC ± 1 ºC e umidade relativa de 63% ± 3%.

Devido ao ensaio iniciar com a consistência das argamassas num intervalo relativamente amplo, variando de 285 mm ± 15 mm, a análise dos resultados deve ser feita através da razão de perda de consistência (em mm) em função do tempo, que é dada pela inclinação da reta referente a cada argamassa, apresentada na Figura 34.



(a)



(b)

Figura 33 (a) e (b): Variação de consistência das argamassas em função do tempo, com o índice medido de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

Como se observa pela Figura 34, a taxa de perda de consistência em função do tempo apresentou tendência de diminuir ou permanecer constante à medida em que se aumentou o teor de finos. Isto deve ter ocorrido principalmente porque os finos dos entulhos atuaram como retentores de água, dificultando a sua saída, o que não ocorreu nas argamassas magras com 18% de finos e que, visualmente, apresentaram elevada exsudação.

Apenas as argamassas 18% T2, 18% T4 e 25% T2 ficaram com a consistência muito abaixo de 240 mm no final de 1,5 hora. Considerando-se que abaixo deste valor a aplicação da argamassa como revestimento ficaria muito dificultada, seria necessário reamassá-las com água, o que no caso da execução de revestimentos, não é operacionalmente adequado e mesmo pode prejudicar o desempenho dos revestimentos segundo estudos de MORAIS; SELMO (1999).

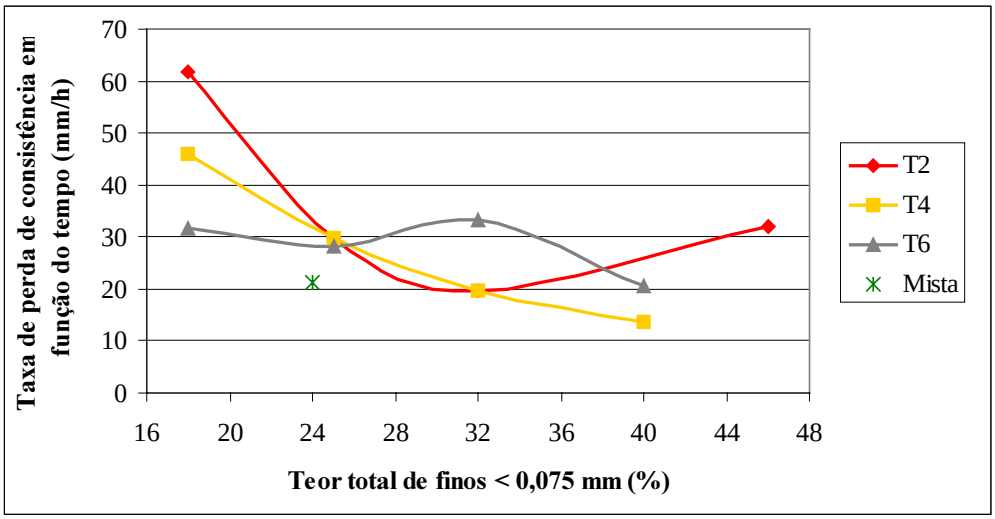


Figura 34: Taxa de perda de consistência das argamassas testadas, em relação ao *teor total de finos < 75 μm*, para o intervalo de tempo de 0 a 1,5 horas. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

4.2.3 Densidade de massa e teor de ar aprisionado

A Figura 35 mostra que a densidade de massa das argamassas do tipo T6 aumentou com o aumento do teor de entulho nas argamassas (consequentemente com o aumento do teor de finos), mesmo com o pequeno aumento do teor de ar aprisionado, como ilustrado na Figura 36. Isto pode ter acontecido devido à: diminuição do teor de água das argamassas, pela substituição da areia por entulho (que possui maior densidade de massa específica) e também pelo aumento do *teor total de finos < 75 μm*, que pode ter proporcionado à argamassa maior compacidade.

Para as argamassas do tipo T2, o aumento de densidade com o aumento do teor de finos não foi muito expressivo. Apesar do bloco cerâmico ter uma massa específica maior que a da areia utilizada, seus grãos são muito porosos e a diminuição do consumo de água total não foi tão grande. Assim, quando a areia foi totalmente substituída por entulho (argamassa E2), o consumo de água aumentou novamente e a densidade de massa caiu bastante.

As argamassas do tipo T4 também não tiveram uma variação expressiva nos resultados de densidade de massa, pois quando aumentou-se o teor de finos na mistura, substituiu-se a areia pelo entulho de argamassa moída, que foi composto principalmente pela

mesma areia usada como agregado miúdo nas argamassa em estudo e mais uma pequena parcela de cimento e cal.

Em geral, comparando-se as argamassas com mesmos teores de finos, obteve-se maiores densidades de massa para aquelas com elevadas proporções de entulho de bloco de concreto (T6) e as menores densidades para aquelas com elevadas proporções de entulho cerâmico (T2).

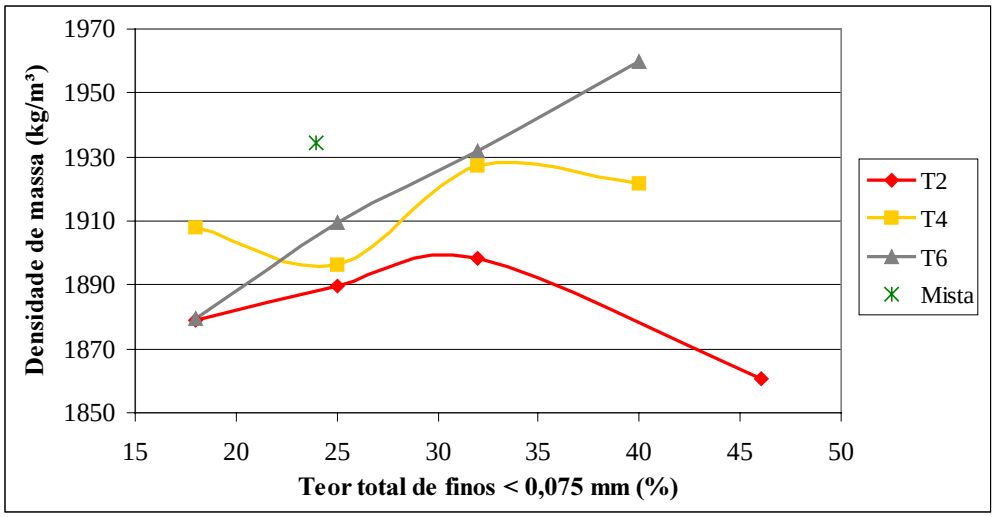


Figura 35: Densidade de massa das argamassas, pela NBR 13278 (ABNT, 1995), com os maiores resultados encontrados para as argamassas do tipo T6. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

O teor de ar aprisionado nas argamassas foi calculado de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 1995) e é mostrado na Figura 36.

As argamassas do tipo T2 e T6 são as que apresentaram os maiores teores de ar aprisionado, bem próximos entre elas. As argamassas do tipo T4 aprisionaram menos ar que as demais, para um mesmo *teor total de finos* $< 75\ \mu m$, mas ainda assim bem superior ao da argamassa Mista de referência.

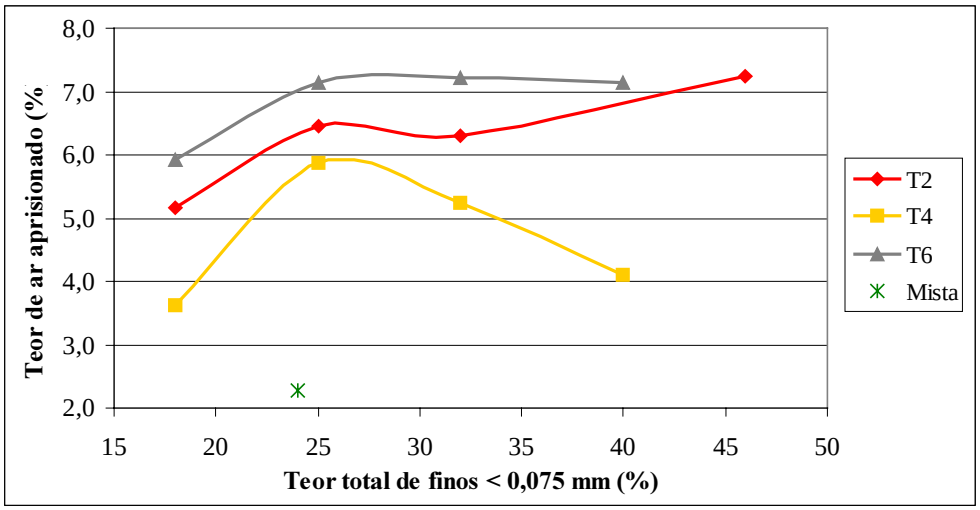


Figura 36: Teor de ar aprisionado teórico das argamassas, calculado pela NBR 13278 (ABNT, 1995). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

A Figura 37 mostra a boa correlação entre o teor de ar aprisionado e a relação água/cimento corrigida das argamassas, sendo que à medida que decresceu o teor de água, o teor de ar aprisionado aumentou, sendo isto coerente mas apontando de certa forma que o preenchimento de vazios por finos não pode ocorrer se não for acompanhado de uma demanda constante ou crescente de água.

Assim, nas misturas T2 e T6, em que a alteração de curva granulométrica pelo teor e natureza dos finos conduziu a um menor consumo de água, o teor de ar aprisionado aumentou. No caso das argamassas T4, por não ter ocorrido redução expressiva do consumo de água, o teor de ar dessas argamassas foi o único que experimentou redução e aqui sim é possível que isto tenha ocorrido pelo preenchimento de vazios da fração fina desse entulho.

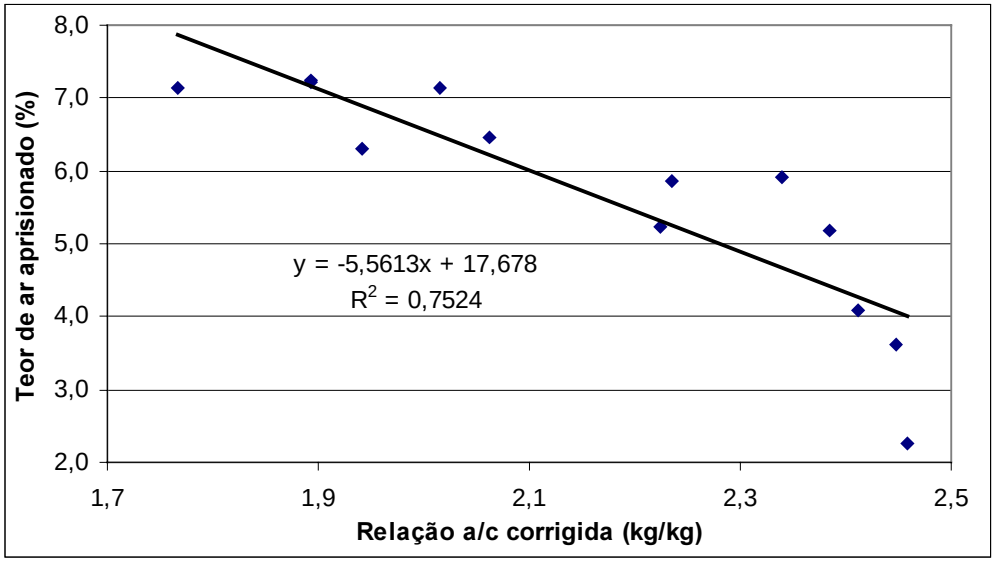


Figura 37: Teor de ar aprisionado calculado em função da relação água/cimento corrigida das argamassas conforme a NBR 13278 (ABNT, 1995), mostrando a boa correlação entre as duas propriedades.

4.2.4 Retenção de água

O ensaio de retenção de água pela NBR 13277 (ABNT, 1995), tem os seus resultados apresentados na Figura 38 e não mostrou uma tendência de comportamento bem definida, nem com a natureza do entulho, nem com o aumento do teor de finos (apenas abaixo de 18% e 40% de finos parecem ter sido as de comportamento mais uniforme). Os resultados obtidos estão dentro do intervalo de valores encontrados na literatura para as argamassas mistas convencionais.

Hoje já se questiona a eficiência deste método para poder informar sobre o comportamento das argamassas quanto à retenção de água.

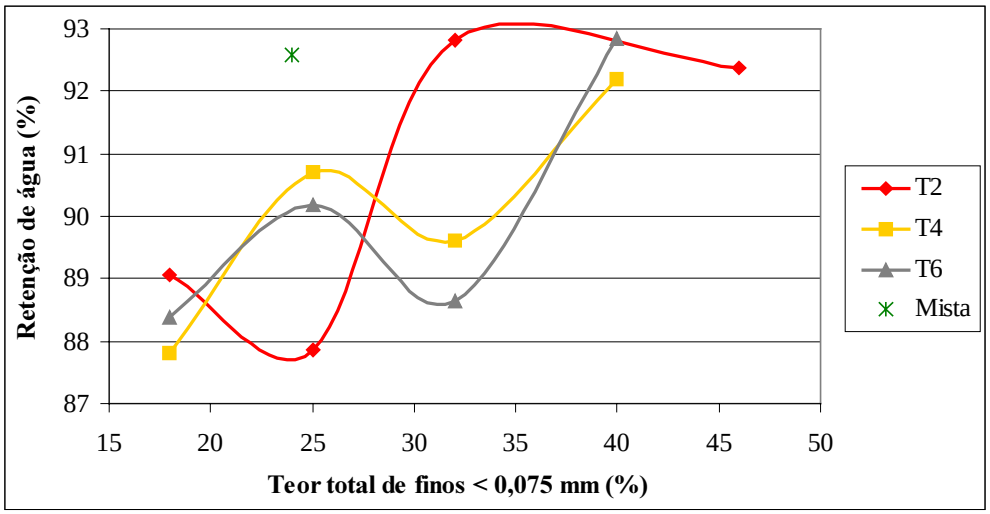


Figura 38: Retenção de água das argamassas, pela NBR 13277 (ABNT, 1995), com os valores dentro do intervalo normalmente encontrado para argamassas mistas convencionais. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

4.2.5 Consumo de materiais e custo por m³ de argamassa

A Tabela 9 apresenta os resultados do consumo de materiais e do custo das argamassas por m³.

O consumo de cimento por m³ não sofreu variação significativa, devido aos traços das argamassas serem iguais, com exceção das argamassas do tipo E2 e E6. As pequenas variações existente decorrem das diferenças de densidades de massa dos materiais e das relações água/cimento corrigidas.

O consumo de cimento por m³ da argamassa do tipo E6 se destaca das demais por ela possuir a maior densidade de massa no estado fresco e a menor relação água / cimento corrigida.

Tabela 9: Consumo de materiais e custo do m³ das argamassas analisadas, calculados conforme descrito no item 3.8.3.5, sendo que o custo relativo refere-se ao valor do m³ das argamassas com entulho em relação à Mista usada como referência.

Argamassa	Cimento (kg/m^3)	Água corrigida (kg/m^3)	Areia úmida (m^3/m^3)	Entulho (kg/m^3)	Custo ($R\$/m^3$)	Custo Relativo (%)
18% T2	152	362	1,3	164	65,2	72,5
18% T4	153	375	1,2	204	64,9	72,2
18% T6	152	356	1,2	207	64,4	71,7
25% T2	157	323	1,0	478	59,6	66,3
25% T4	155	346	0,9	580	56,3	62,6
25% T6	159	320	0,9	607	57,4	63,9
32% T2	159	309	0,7	798	52,7	58,6
32% T4	158	351	0,5	971	47,8	53,1
32% T6	162	307	0,5	1020	48,7	54,2
E2	156	296	-	1408	36,3	40,4
E4	155	373	-	1394	35,9	39,9
E6	167	294	-	1499	38,6	43,0
Mista	155	382	1,3	-	89,9	100,0

Quanto ao custo relativo das argamassas com entulho, observa-se que ele diminuiu à medida que o teor de entulho aumentou, chegando a custar apenas 40% do preço do m³ da argamassa Mista, de traço 1 : 1 : 8 em massa, no caso da argamassa do tipo E4 e considerando-se como massa unitária do entulho aquela obtida para o entulho reciclado de bloco cerâmico, cujo valor é de 1270 kg/m³. Como a argamassa E4 não possui areia na composição, este valor refere-se apenas ao gasto com o cimento e com o entulho, cujo valor adotado foi de R$ 4,50 /m³ (ou R$ 0,0035 / kg).

Como exemplo, aplicando-se o consumo de 0,13 m³ de argamassa por m² construído, obtido por SOUZA; FRANCO (1997), e caso decida-se por revestir toda a obra com a argamassa 18% T2 (mínima economia) ou E4 (máxima economia), ao invés de se utilizar a Mista, seriam economizados R$ 3,21 e R$ 7,02, respectivamente, por m² construído de obra, o que, para uma obra de 3000 m² (15 andares de 200 m² cada), resultaria numa economia de R$ 9.633,00 e R$ 21.060,00, respectivamente.

4.3 Caracterização das argamassas no estado endurecido

A Tabela 10 apresenta de forma resumida os valores médios dos ensaios executados conforme o item 3.8.4, sendo que os valores em vermelho referem-se aos menores resultados obtidos, e os resultados em azul aos maiores obtidos para cada propriedade.

Tabela 10: Resumo dos resultados obtidos na caracterização das argamassas no estado endurecido. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

Argamassa	Valores médios			
	Resistência à tração na* flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)*	Módulo de elasticidade (GPa)*	Retração por secagem total (%)
18% T2	0,87	2,43	2,8	-0,090
18% T4	0,92	2,46	2,8	-0,073
18% T6	0,89	2,57	3,4	-0,090
25% T2	0,94	2,94	3,4	-0,105
25% T4	0,85	2,56	2,8	-0,141
25% T6	1,04	3,29	3,9	-0,118
32% T2	1,29	4,71	5,1	-0,133
32% T4	0,97	3,20	3,1	-0,148
32% T6	1,32	4,33	4,9	-0,175
E2	1,75	7,39	8,0	-0,171
E4	1,11	3,71	3,5	-0,208
E6	1,74	7,44	7,0	-0,184
Mista	0,74	1,55	3,2	-0,083

* Cura em câmara seca com 50% de umidade relativa.

Os itens 4.3.1 a 4.3.4 analisam os resultados da Tabela 10 apenas em função da relação água/cimento e da correlação dessas propriedades entre si.

4.3.1 Resistência à tração na flexão

A Figura 39 ilustra que a resistência à tração na flexão das argamassas em função da relação água / cimento corrigida variou de forma muito semelhante ao que estabelece a Lei de Abrams na tecnologia dos concretos.

Comparando-se os entulhos reciclados T2 e T6, para um mesmo teor de finos na argamassa, observa-se que as resistências ficaram muito próximas, chegando a uma diferença máxima de 10% entre a 25% T2 (bloco cerâmico) e 25% T6 (bloco de concreto).

Porém, a diferença de resistência entre a argamassa T4 e as outras duas aumentou à medida em que cresceu o teor de finos, isto é, de entulho. Isto porque com maiores teores de finos, as argamassas T2 e T6 consumiram menos água, resultando em menor relação água/cimento corrigida, daí atingindo maiores valores de resistência à tração. Isto não poderia ser observado se fossem comparados somente os valores de relação água/cimento total de cada argamassa, o que poderia conduzir a uma conclusão errônea de que o entulho cerâmico proporciona uma maior resistência que os demais materiais.

A argamassa Mista foi a que resultou um menor valor de resistência à tração na flexão e chama a atenção a elevada resistência medida nas argamassas com entulho puro.

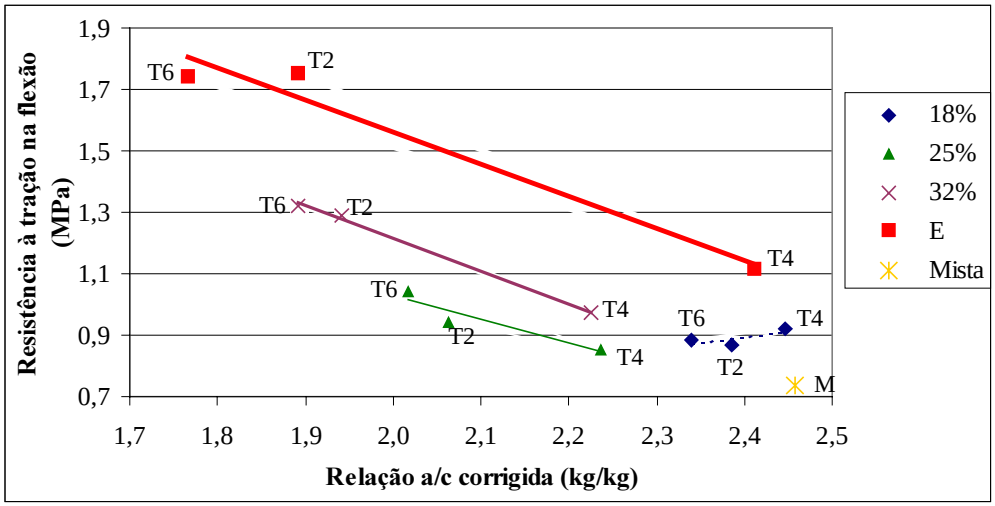


Figura 39: Resistência à tração na flexão das argamassas, aos 28 dias de idade, em função da relação água / cimento corrigida, sendo o ensaio conforme a norma EN 1015 – Part 11. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias.

Cabe salientar que o ensaio de resistência à tração na flexão pela EN 1015 – Part 11 é feito com vão livre inferior a um terço da altura do corpo-de-prova e isto pode explicar os valores de resistência à flexão relativamente elevados, de 24% até 48% da resistência

à compressão, e bem acima do obtido em outras configurações desse ensaio, para concretos normais e como será evidenciado no item 4.3.2.

4.3.2 Resistência à compressão

A Figura 40 mostra os resultados do ensaio de resistência à compressão. Esta propriedade comportou-se de forma semelhante à resistência à tração na flexão, sendo que para um mesmo teor de finos, uma variação de ± 0,12 na relação água/cimento (cerca de ± 1% na relação água/materiais secos) não causou variação significativa na resistência à compressão, independente do tipo de entulho.

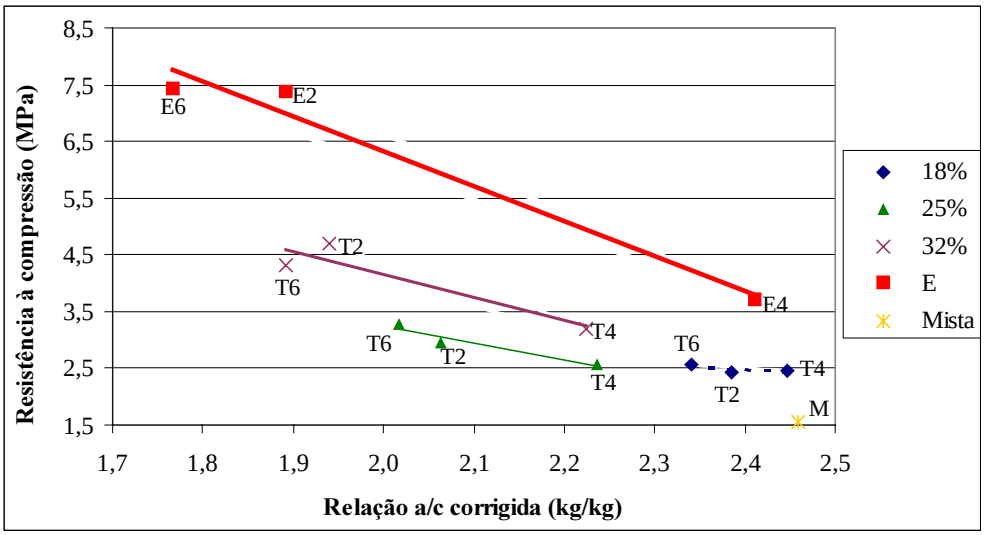


Figura 40: Resistência à compressão das argamassas, a 28 dias de idade, em função da relação água/cimento corrigida, sendo o ensaio conforme a EN 1015 - Part 11. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias.

A Figura 41 representa a relação entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão, com um valor próximo a 28%, bem superior ao normalmente encontrado para concretos (cerca de 15%), como já discutido no item 4.3.1.

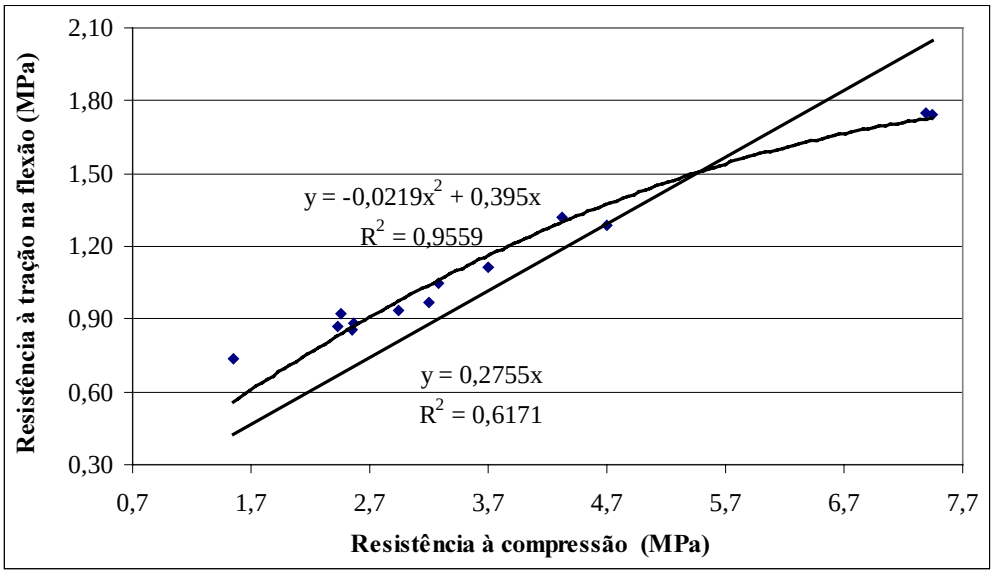


Figura 41: Resistência à tração na flexão em função da resistência à compressão, para as treze argamassas caracterizadas (Tabela 6 e Tabela 8), em ensaio segundo a EN 1015 – Part 11.

4.3.3 Módulo de elasticidade

Os resultados do módulo de elasticidade estão ilustrados na Figura 42 e na Figura 43.

Na Figura 42 verifica-se que a variação do módulo de elasticidade das argamassas em função da relação água / cimento corrigida ocorreu de forma muito semelhante às propriedades de tração na flexão e resistência à compressão simples.

Como ocorreu nas outras duas propriedades já analisadas, o módulo de elasticidade sofreu influência direta da relação água/cimento necessária para se atingir a consistência desejada na argamassa fresca, sendo a demanda de água por sua vez afetada pela granulometria combinada do entulho e da areia de rio usada como agregado miúdo principal.

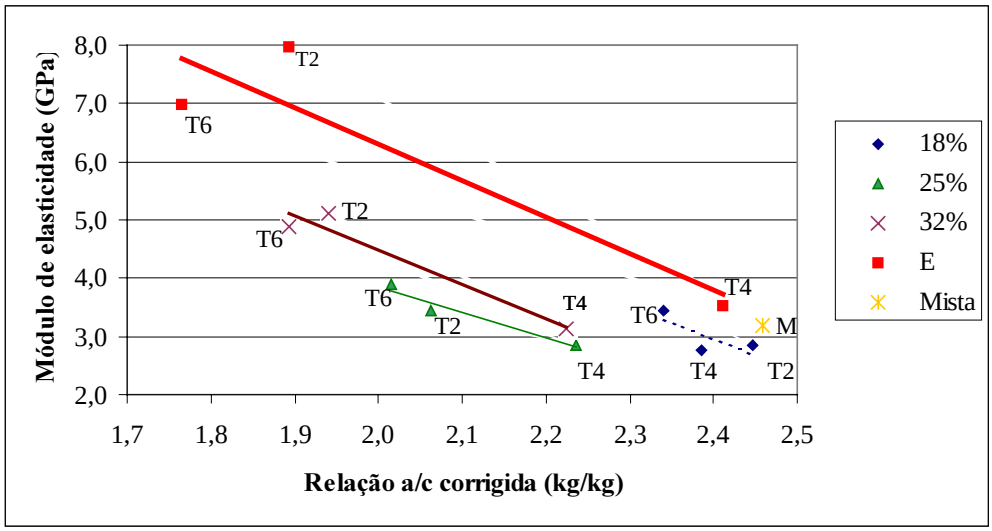


Figura 42: Módulo de elasticidade secante das argamassas aos 28 dias em função da relação água / cimento corrigida, determinado em analogia à NBR 7190 (ABNT, 1996). Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias.

Assim, na Figura 43, pode-se constatar a tendência de variação linear do módulo com a resistência à compressão, estando isto de acordo com HILSDORF (1973), segundo o qual o módulo de elasticidade de argamassas mistas feitas com os materiais encontrados na Alemanha Ocidental pode ser estimado por $E_a = 1000 \cdot f_{aj}$, onde f_{aj} é a resistência à compressão da argamassa a j dias de idade. Notar que, na Figura 43, a unidade de módulo está em GPa.

Cabe observar que no método de ensaio adotado para medida do módulo de elasticidade, obteve-se coeficientes de variação entre 2% e 27%, com média de 10%, o que pode ser considerado aceitável e até bom para a medida desta propriedade.

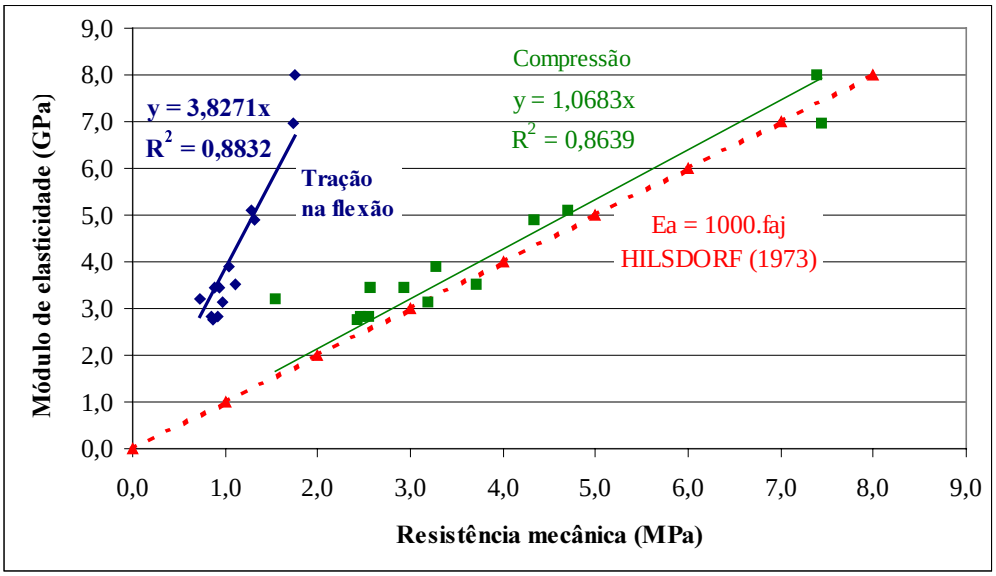


Figura 43: Módulo de elasticidade secante das argamassas a 28 dias de idade, em função da resistência mecânica, com o método de ensaio e cálculo explicados no item 3.8.4.4. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8. Cura submersa até 7 dias e em câmara seca de 7 até 28 dias.

4.3.4 Retração por secagem

A variação de umidade em função da idade dos corpos-de-prova utilizados no ensaio de retração por secagem está apresentada na Figura 44. A Figura 45 mostra os resultados de retração linear por secagem das argamassas em função da idade.

Em geral, as argamassas com entulho demoraram de 19 a 28 dias após retiradas da caixa saturada de umidade para atingir a estabilização de massa. Esta idade correspondeu à idade na qual cessou a retração, conforme a Figura 45. Este tempo foi bem superior ao da argamassa Mista de referência, que estabilizou com apenas 2 dias após retirada da caixa saturada, com umidade próxima a 100%. A provável causa desta rápida secagem está na formação de um elevado volume de macroporos, o que pode ser feito pela cal hidratada contida nessa argamassa.

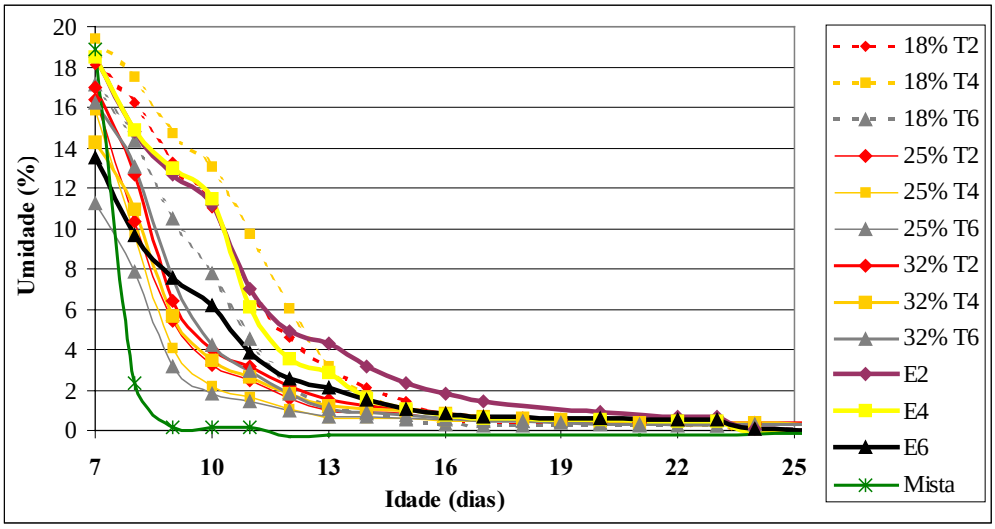


Figura 44: Perda de umidade das argamassas em função da idade, a partir da retirada dos corpos-de-prova da câmara saturada de umidade.

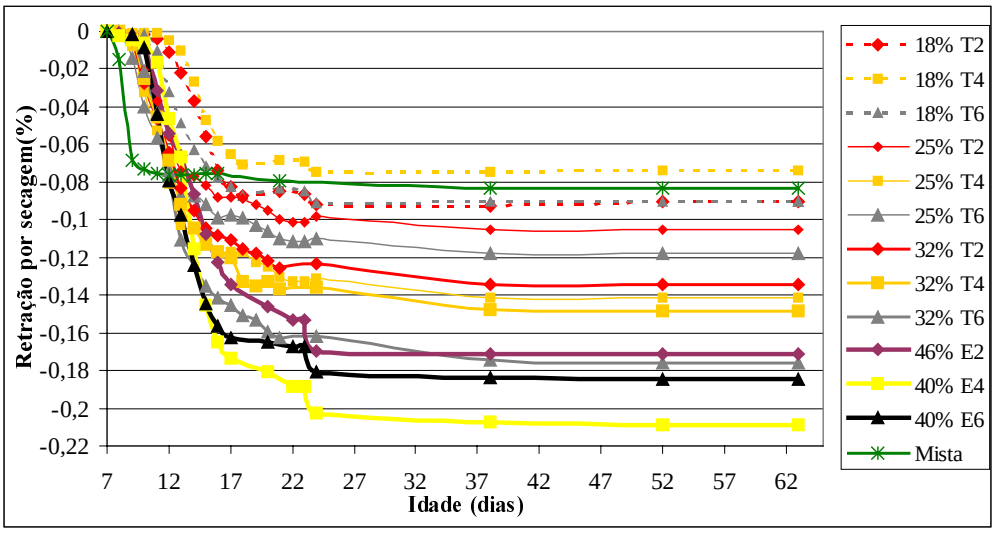


Figura 45: Retração por secagem das argamassas segundo a NBR 8490 (ABNT, 1984) em função da idade, sendo que após 35 dias não se observaram mais variações expressivas na retração das barras. Barras mantidas em câmara saturada de umidade até 7 dias e após em câmara seca (U.R.= 55% ± 10% e T = 24 ºC ± 5 ºC).

Como pode ser visto na Figura 46, os maiores valores de retração foram para as argamassas com maiores *teores totais de finos* < *75 µm*, sem nenhuma correlação evidente com a relação água / cimento corrigida ou total das argamassas, já que elas possuíam menor relação água / cimento. Isto pode indicar que a distribuição do tamanho

de poros pelo efeito dos finos nas misturas, teve uma influência maior na retração por secagem do que a porosidade introduzida pela relação água/cimento, somente.

Apenas as argamassas com teor total de finos igual a 18% apresentaram retração próximas à da argamassa Mista, usada como referência, enquanto que as 3 argamassas de entulho com 25% de finos apresentaram retração bem superior à mista.

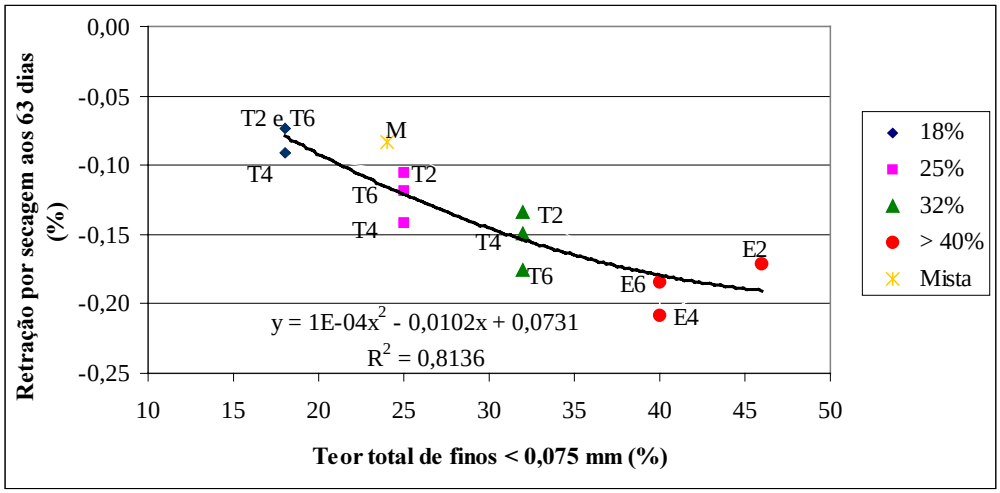


Figura 46: Retração por secagem das argamassas estudadas até 63 dias, em corpos-de-prova da NBR 8490 (ABNT, 1984), em função do *teor total de finos < 75 μm*. Barras mantidas em câmara saturada de umidade até 7 dias e após em câmara seca (U.R.= 55% ± 10% e T = 24 ºC ± 5 ºC).

Em relação à composição dos entulhos, para o *teor total de finos < 75 μm* igual a 18% os valores de retração são praticamente constantes para as três composições. Mas, com teores maiores de finos, que torna mais expressiva a influência do entulho por aumentar a sua proporção na mistura, observa-se que as argamassas com maiores teores de bloco cerâmico (tipo T2) retraíram ligeiramente menos que as demais, sendo que esta tendência se manteve para idades mais avançadas das argamassas, até 63 dias, quando se encerraram as medidas.

A retração inicial das argamassas em função da umidade, apresentada na Figura 47, mostra que, inicialmente, uma grande perda de umidade praticamente não causou retração, enquanto que, após determinada porcentagem, variável para cada argamassa, uma pequena perda de umidade causou significativa retração. Isto mostra que a retração dependerá da perda de água que está sob pressão em poros menores das argamassas e

que, por sua vez, dependerá da distribuição do tamanho desses poros, concordando com a análise dos resultados feita para a Figura 45.

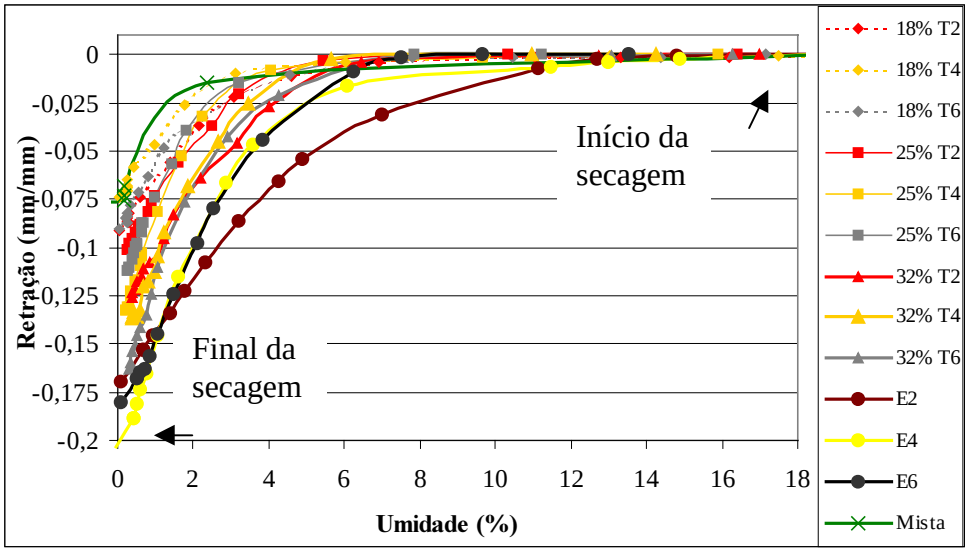


Figura 47: Retração por secagem inicial das argamassas em função do teor de umidade dos corpos-de-prova. Traço das argamassas na Tabela 6 e água de amassamento na Tabela 8.

4.4 Análise complementar da influência da natureza do entulho nas propriedades das argamassas no estado fresco

Este item apresenta a influência da natureza do entulho na densidade de massa no estado fresco, no teor de ar aprisionado e na consistência das argamassas, fixadas a relação água / materiais secos em 17% (relação água / cimento corrigida igual a 1,7) e a distribuição granulométrica dos materiais, conforme descrito no item 3.9. O resumo dos resultados encontra-se descrito na Tabela 11.

Uma observação feita após a separação dos materiais em diferentes granulometrias é que todas as frações na qual os três tipos de entulho foram separados ainda apresentaram um pequeno teor de material pulverulento, que provavelmente ficou aderido à superfície dos grãos maiores durante o peneiramento. Isto foi constatado visualmente pela poeira formada quando deixava-se cair os materiais de uma altura de 25 cm, sendo que os entulhos de bloco cerâmico e de bloco de concreto apresentaram

menor quantidade desta poeira que o entulho de argamassa moída. A areia não mostrou presença de material pulverulento nas frações maiores que 0,15 mm após peneirada.

Tabela 11: Resumo dos resultados encontrados de consistência, densidade de massa e teor de ar aprisionado para as argamassas no traço 1 : 9 em massa, com relação água / materiais secos fixada em 17% e distribuição granulométrica contínua, normalizada pelo DTU 26.1/78, conforme descrito em 3.9.

Argamassa (1 : 9 em massa)	**Consistência (mm) NBR 13276/96**	**Densidade de massa (kg/m³) NBR 13278/96**	**Teor de ar aprisionado (%) NBR 13278/96**
Cimento : ent. cerâmico	308	1930	11,19
Cimento : ent. de argamassa	247	2030	4,78
Cimento : ent. bl. concreto	311	2020	6,83
Cimento : areia	277	2046	3,50

Para a densidade de massa, apenas a argamassa produzida com bloco cerâmico apresentou um resultado bem inferior ao das demais argamassas, o que pode ter ocorrido devido ao maior teor de ar aprisionado por ela. Como este material é o que apresentou a maior densidade de massa específica e os demais parâmetros influentes (água e granulometria) foram fixados, então pode-se pensar que o teor de ar está afetado pela porosidade intrínseca ao entulho cerâmico e pela água utilizada para satisfazer a sua absorção.

Mas o principal resultado desta análise está no índice de consistência, onde o valor encontrado para a argamassa produzida com entulho de argamassa tipo T4 (composta de cimento, cal e areia no traço 1 : 2 : 9 em volume), foi bem inferior aos valores encontrados para as demais argamassas. Isto porque a distribuição granulométrica do material passante na peneira de abertura 0,15 mm, para a argamassa constituída de cimento e resto de argamassa, é bem mais fina que das outras três, por ela possuir cal na composição do entulho.

Para as argamassas de bloco cerâmico e de bloco de concreto, observa-se que o comportamento delas quanto a consistência é o mesmo desde que seja feita a correção de água devido a absorção do agregado de bloco cerâmico.

Em relação a argamassa de cimento e areia, esta resultou em uma consistência intermediária das outras, o que pode ser devido a não possuir o material menor que 0,15 mm tão fino quanto ao do entulho de argamassa ao ponto de elevar a consistência e por apresentar baixo teor de ar aprisionado.

Resolveu-se então produzir novas argamassas, com a mesma distribuição granulométrica e relação água / materiais secos das anteriores, porém sem apresentar material menor que 0,15 mm. As consistências encontradas para as argamassas estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12: Consistência das argamassas com a distribuição granulométrica das misturas que constam na Tabela 11, porém sem material menor que 0,15 mm e com a relação água / cimento corrigida fixada em 1,7 (H = 17%).

Argamassa	**Cimento : ent. cerâmico**	**Cimento : ent. de argamassa**	**Cimento : ent. bloco de concreto**	**Cimento : areia**
Consistência (mm)	290	330	295	270

Pelos resultados da Tabela 12 observa-se que houve uma mudança de comportamento das argamassas em relação ao anterior. As argamassas de entulho de bloco de concreto e de bloco cerâmico ficaram menos fluidas, a de areia ficou praticamente constante e a de entulho de argamassa moída tornou-se muito fluida.

Sem a fração de material menor que 0,15 mm, as argamassas de entulhos de bloco cerâmico e de bloco de concreto ficaram menos trabalháveis e com menor retenção de água, o que pode ser visto quando compactava-se a argamassa dentro do cone.

Em compensação, quando se retirou o material menor que 0,15 mm da argamassa feita com entulho de argamassa moída, acabou-se com a principal causa de sua maior consistência na mistura da Tabela 11 e que era a natureza dos materiais pulverulentos existentes naquela fração, enquanto que a parcela remanescente aderida às partículas maiores auxiliou no aumento da trabalhabilidade e da retenção de água, avaliada de forma visual.

Para a argamassa de cimento e areia, não houve variação significativa de consistência porque seu material menor que 0,15 mm não afetou esta propriedade e nem se mostrou útil para melhorar a retenção de água e a trabalhabilidade, como ocorreu com os finos do entulho de argamassa moída.

4.5 Avaliação do desempenho dos revestimentos

A Tabela 13 apresenta de forma resumida os resultados dos ensaios realizados conforme o item 3.11 e que serão discutidos nos itens 4.5.1 a 4.5.3. A avaliação da fissuração dos revestimentos consta no item 4.5.4.

Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos na avaliação de desempenho dos revestimentos. Traço das argamassas na Tabela 6 com a dosagem de água modificada para a que consta abaixo.

Argamassa	Valores médios						
	Consistência (mm)	Relação a/c total (kg/kg)	Rel. a/c corrigida (kg/kg)	Resist. à tração na flexão* (MPa)	Resist. à compressão * (MPa)	Resist. de aderência à tração (MPa)**	Abs. de água capilar-mét. do cachimbo (ml em 15min)
18% T2	267	2,66	2,54	0,48	1,48	0,29	1,87
18% T4	260	2,63	2,58	0,57	1,43	0,34	2,05
18% T6	260	2,57	2,51	0,63	1,60	0,37	1,73
25% T2	270	2,46	2,23	0,70	1,84	0,50	2,00
25% T4	278	2,50	2,43	0,48	1,85	0,42	2,08
25% T6	273	2,28	2,20	0,88	2,12	0,35	1,85
32% T2	280	2,46	2,10	0,95	2,57	0,41	2,13
32% T4	287	2,30	2,22	0,68	1,88	0,47	1,87
32% T6	-	2,03	1,92	-	-	0,42	1,88
Mista	290	2,50	2,46	0,45	1,37	0,39	1,00

* Resultados para a cura em câmara seca, 20 ºC e 50% de umidade relativa.

** Resultados obtidos na idade de 28 dias.

4.5.1 Caracterização complementar das argamassas aplicadas como revestimento

4.5.1.1 Relação água/cimento e consumo de cimento

A Figura 48 representa a relação água / cimento corrigida das argamassas aplicadas como revestimento e das argamassas utilizadas na caracterização inicial, discutidas no

item 4.2.1. Um acréscimo máximo de 0,2 na relação água / cimento foi observado na argamassa 25% T4, o que corresponde a um aumento de 2% na relação água/materiais secos.

O maior consumo de água para atingir a consistência desejada na fase de produção dos revestimentos pode estar relacionado à mudança do equipamento utilizado na mistura das argamassas, influenciando por exemplo no teor de aprisionado, sendo que para a caracterização inicial foram utilizadas argamassadeiras pequenas (capacidade aproximada de 3 litros) e na produção dos revestimentos uma betoneira de 500 litros.

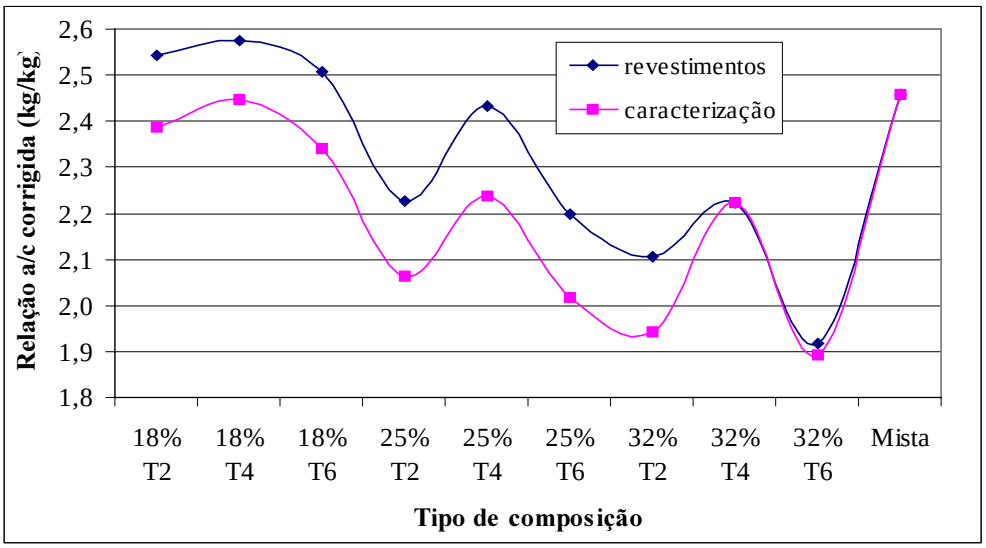


Figura 48: Relação água/cimento corrigida das argamassas obtidas em argamasseiras na caracterização inicial, conforme o item 4.2.1, e depois quando preparadas em betoneiras de 500 L para execução dos revestimentos.

Em relação ao consumo de cimento por m³, pode-se dizer que a variação sofrida pelas argamassas devido ao aumento do consumo de água foi insignificante, sendo praticamente nulo para as argamassas 32% T4, 32% T6 e Mista e com uma média de 2 kg/m³ para as demais, valendo assim os resultados apresentados na Tabela 9.

4.5.1.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, na Figura 49, mostram a grande influência da cura nesta propriedade e como fator preponderante aos efeitos da

relação água / cimento, nessa faixa em estudo. A razão entre os resultados de cura seca e cura úmida para a mesma argamassa variou de 42% a 75%, com média de 58%.

Os resultados de resistência à tração na flexão obtidos durante a caracterização inicial, mostrados na Figura 38, item 4.3.1, são maiores que os encontrados aqui com a cura seca e menores ou iguais aos encontrados para a cura úmida permanente, mesmo possuindo menores relações água / cimento corrigidas. Isto evidencia ainda mais a grande importância da cura nas propriedades mecânicas avaliadas.

Para a análise de desempenho dos revestimentos devem ser considerados os resultados obtidos com a cura seca, pois também não se efetuou qualquer tipo de cura úmida nas áreas revestidas.

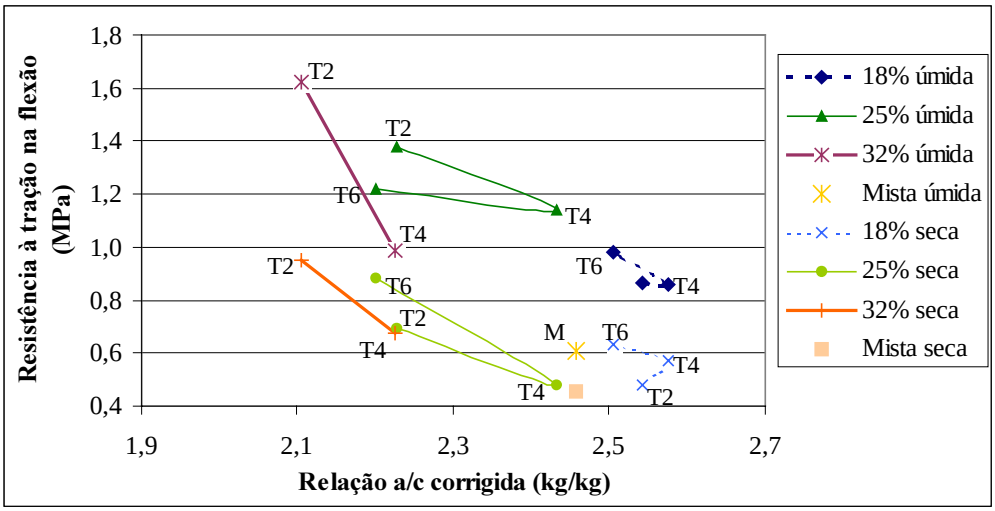


Figura 49: Resistência à tração na flexão das argamassas conforme a EN 1015 - Part 11, mas preparadas em betoneiras de 500 L para a execução dos revestimentos. Os cps receberam dois tipos de cura, permanente em câmara úmida (U.R. > 95%) e permanente em câmara seca (U.R. = 50%), até 28 dias, idade do ensaio.

4.5.1.3 Resistência à compressão

Como esperado, o tipo de cura também influenciou significativamente a resistência à compressão. Como pode ser visto pela Figura 50, a razão entre os resultados de cura seca e cura úmida para a mesma argamassa variou de 38% a 65%, com média de 51%.

A análise comparativa dos resultados obtidos aqui com os mostrados no item 4.3.2 leva à mesma conclusão descrita no item anterior.

Para a análise de desempenho dos revestimentos devem ser considerados os resultados obtidos com a cura seca.

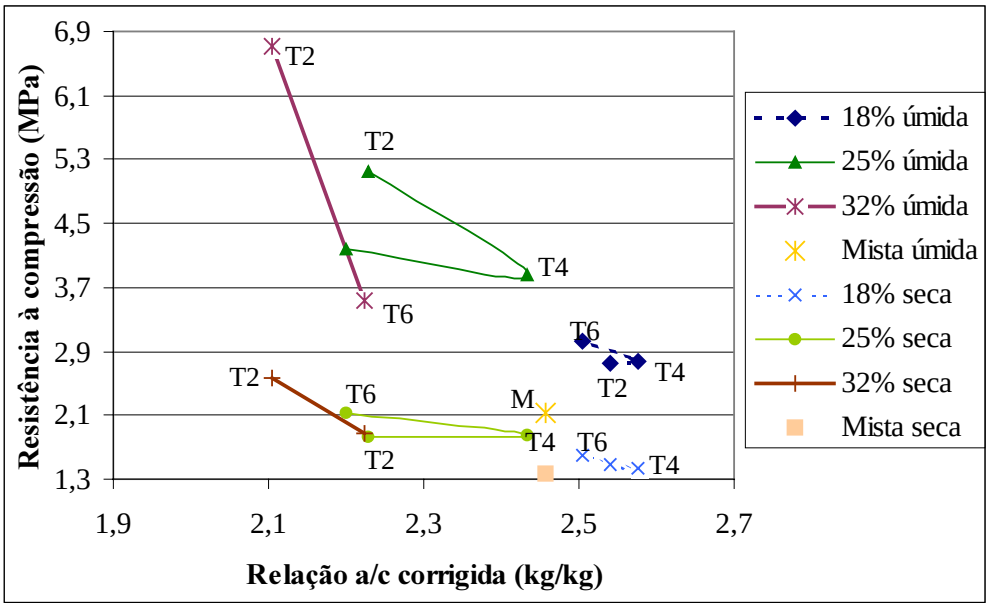


Figura 50: Resistência à compressão das argamassas conforme a EN 1015 - Part 11, mas preparadas em betoneiras de 500 L para a execução dos revestimentos. Os cps receberam dois tipos de cura, permanente em câmara úmida (U.R. > 95%) e permanente em câmara seca (U.R. = 50%), até 28 dias, idade do ensaio.

4.5.2 Resistência de aderência à tração aos 28 dias sem choque térmico

Os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração aos 28 dias em função da relação água/cimento corrigida das argamassas são mostrados na Figura 51 e indicam que nenhuma das argamassas estudadas apresentaram problemas de aderência ao substrato, estando todos os resultados acima do mínimo estipulado pela NBR 13749 (ABNT, 1995), mesmo aquelas com maiores valores de relação água / cimento corrigida.

Cabe comentar que em se tratando de treze argamassas com o mesmo consumo de cimento, aqui não se pode aplicar as conclusões de CARASEK (1996) de que o

consumo de cimento é a principal variável que governa a resistência de aderência das argamassas de revestimento.

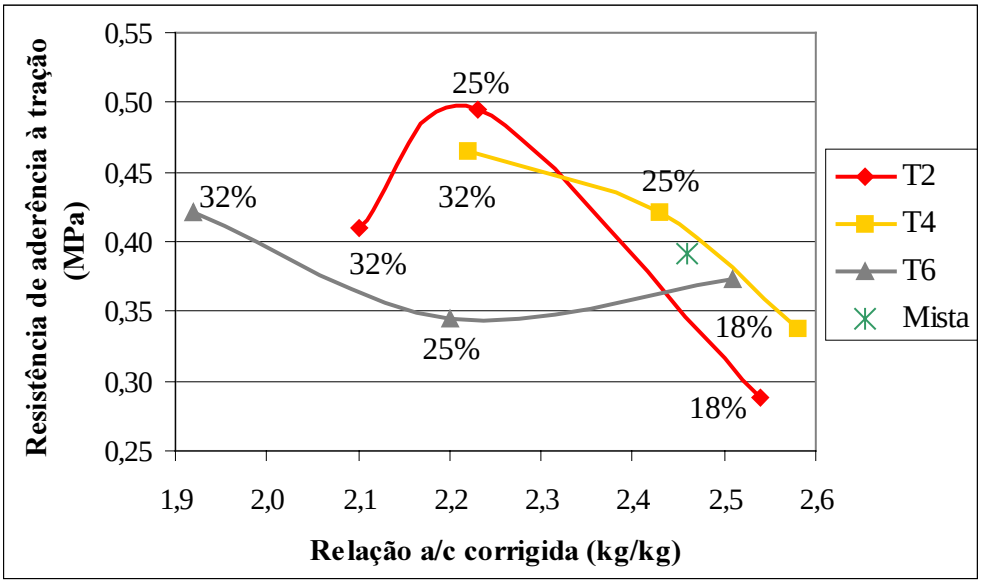


Figura 51: Resistência de aderência à tração aos 28 dias, conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), em função da relação água / cimento corrigida, para os revestimentos com as composições indicadas na Tabela 6 e na Tabela 13.

4.5.3 Absorção de água capilar pelo método do cachimbo

Pela Figura 52 observa-se que a absorção de água dos revestimentos pelo método do cachimbo, não apresentou diferença significativa para as argamassas com entulho testadas. Apenas a argamassa Mista apresentou uma absorção de água bem inferior às demais, o que provavelmente pode ter sido por:

a) efeito da cal em colmatar a porosidade intrínseca da argamassas por efeito de carbonatação;

b) pela faixa de poros formada nessa argamassa ter menor efeito de sucção capilar, o que é mais provável e coerente com a sua rápida secagem, discutida no item 4.3.4.

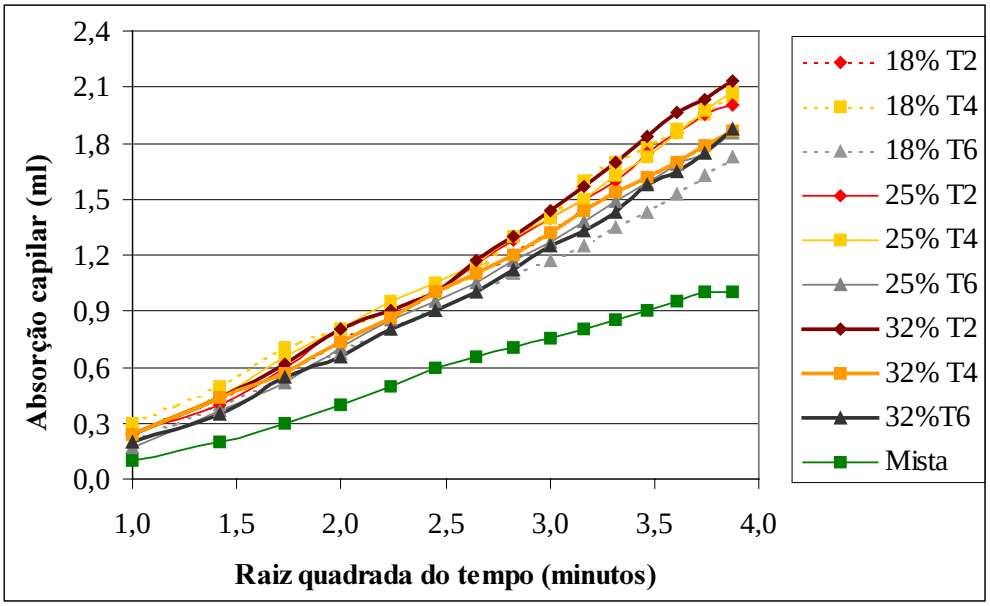


Figura 52: Resultados do ensaio de absorção de água pelo método do cachimbo, descrito no item 3.11.4, onde não se observa diferença significativa para as argamassas com entulho estudadas.

4.5.4 Controle da fissuração em função da idade

Para os revestimentos feitos com as argamassas descritas na Tabela 6 e na Tabela 13, somente os da argamassa tipo 32% T4 (100% de entulho de argamassa moída) e da Mista de cimento, cal e areia é que apresentaram fissuras visíveis desde sua execução até imediatamente antes de se iniciar o choque térmico, ou seja, com aproximadamente 180 dias de idade. O resultado da contagem de fissuras visíveis até essa idade está na Tabela 14.

Tabela 14: Resultados da contagem de fissuras nos revestimentos, aplicados sobre três faces dos pórticos, para cada tipo de argamassa. As áreas de sarrafeamento precoce e ótimo são de 1,5 m², metade de cada face dos pórticos utilizados. Vista geral na Figura 25 e detalhes no leiaute na Figura 23.

	Face 1				**Face 2**				**Face 3**			
	Precoce		**Ótimo**		**Precoce**		**Ótimo**		**Precoce**		**Ótimo**	
	total	**cm/m²**	**total**	**cm/m²**	**total**	**cm/m²**	**total**	**cm/m²**	**total**	**cm/m²**	**total**	**cm/m²**
18% T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18% T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18% T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25% T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25% T4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25% T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32% T2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32% T4	**13**	**44**	**32**	**180**	**4**	**18**	**21**	**106**	nd	nd	nd	nd[16]
32% T6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mista	**3**	**8**	**2**	**7**	**28**	**10**	**25**	**12**	**7**	**35**	**35**	**152**

Os resultados da Tabela 14 mostram que a argamassa 32% T4 sofreu fissuração muito mais intensa do que a Mista, sendo que em ambas as fissuras surgiram com idades entre 1 hora de aplicação e 5 dias. Considerando-se que a distribuição granulométrica da fração areia, a origem dos materiais empregados e suas relações água/cimento são muito parecidas, pode-se afirmar que a razão para tal fato é o maior teor de finos da argamassa 32% T4.

A quantidade de fissuras apresentadas nos revestimentos de argamassa Mista produzidas aqui foi bem superior à do revestimento de argamassa Mista sobre chapisco mostrado no item 3.5; porém, suas condições de aplicação foram diferentes. Primeiramente, no teste orientativo para definição do uso de chapisco foi utilizada argamassa intermediária, enquanto aqui não. Além disso, foram utilizadas partidas de cimento diferentes e relações água / cimento diferentes. A mão-de-obra que executou os serviços preliminares também mudou. Assim, em parte, podem ser esperados resultados diferentes quanto à retração por secagem desses revestimentos de referência.

[16] nd = face excluída da análise por ter havido problemas operacionais no preparo da argamassa.

Para os revestimentos que fissuraram, os sarrafeamentos e desempenamentos em tempo precoce apresentaram melhores resultados que em tempo ótimo, com menos fissuras presentes, estando assim de acordo com o apresentado na Tabela 4, item 3.5.

O que se pode inferir é que a influência do tempo de sarrafeamento na fissuração foi secundária em argamassas que, por sua composição, tipo de substrato e/ou condições atmosféricas desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar; mas, com o sarrafeamento em tempo ótimo a tendência de fissuração pode aumentar. Assim, em argamassas sem predisposição a fissurar, o tempo de sarrafeamento foi irrelevante, tanto que não houve revestimento que fissurou somente na região sarrafeada em tempo precoce ou ótimo.

A razão para surgirem mais fissuras no sarrafeamento em tempo ótimo do que no tempo precoce pode estar relacionada a maiores deformações introduzidas por esta técnica.

Quando a argamassa é aplicada e logo após inicia-se o sarrafeamento, quase não há vinculação ao substrato e, por ainda ter havido pouca perda de água e ancoragem da nata aglomerante no substrato, a tensão interna pode ser praticamente nula.

Quando se espera um tempo maior para executar o sarrafeamento, as tensões internas devidas à perda de água já podem ter começado a se desenvolver, por uma maior ancoragem da argamassa ao substrato. Possivelmente, o movimento de sarrafeamento e desempenamento introduzam um desequilíbrio no estado de tensões internas do revestimento fresco, fragilizando pontos da microestrutura e a resistência à tração nas primeiras idades, causando acréscimo de fissuras.

4.5.5 Resistência ao choque térmico, método IPT

Os resultados do ensaio de resistência ao choque térmico, realizado conforme o método definido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e descrito no item 3.11.5, foram analisados pela sua influência na aderência e na fissuração dos revestimentos, descritos nos itens 4.5.5.1 e 4.5.5.2, que seguem.

4.5.5.1 Influência do choque térmico na aderência dos revestimentos

Os resultados médios do ensaio de resistência de aderência à tração dos revestimentos aos 8 meses e na condição seca ao ar estão mostrados na Figura 53 e na Figura 54.

Com exceção do revestimento feito com a argamassa 32% T4, considera-se que todos os outros valores de resistência de aderência média obtidos antes e após o choque térmico são na verdade os valores mínimos de aderência, já que a maioria dos corpos-de-prova extraídos romperam na argamassa de revestimento, como pode ser visto nos resultados detalhados em tabelas no **ANEXO F.8.**

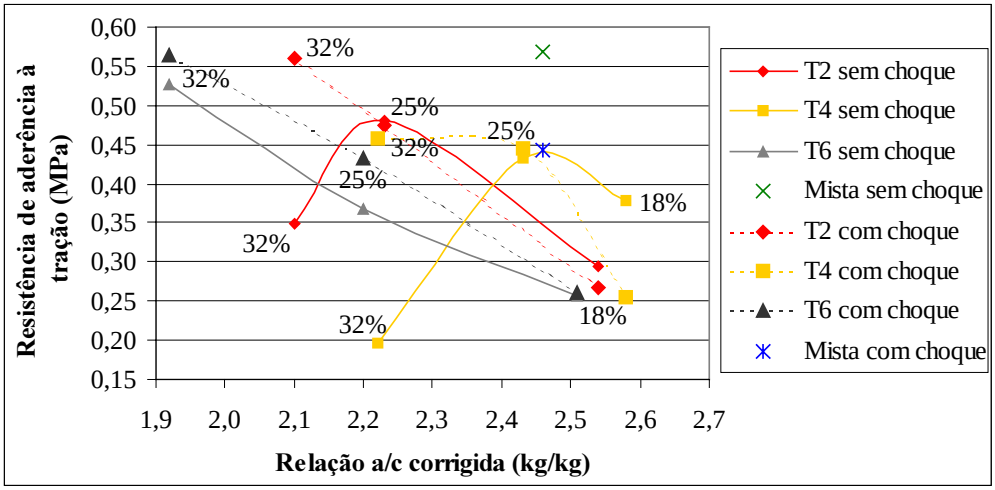


Figura 53: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração na região de tempo precoce, após 8 meses de execução dos revestimentos, antes e após o ensaio de choque térmico.

Analisando-se as curvas da Figura 53, observa-se que a resistência média de aderência decresceu para os revestimentos 18% T4 e Mista após o choque térmico, manteve-se praticamente constante para 18% T2, 18% T6, 25% T2, 25% T4 e 32% T6 e cresceu para os revestimentos de argamassa 25% T6, 32% T2 e 32% T4. Porém, os resultados dos revestimentos 25% T6 e 32% T4 podem estar afetados pelo seu elevado coeficiente de variação, como mostrado no **ANEXO F.8.4**.

Assim, não se considera que o choque térmico tenha causado perda de resistência de aderência, visto que no casos dos revestimentos 18% T4 e Mista, o local de ruptura dos

corpos-de-prova foi majoritariamente na superfície do revestimento e, portanto, os resultados mostrados na Figura 53 são apenas valores mínimos.

Comparando-se agora os resultados de aderência na região de sarrafeamento em tempo ótimo com a de sarrafeamento em tempo precoce, na Figura 54, em geral os resultados obtidos para a região de tempo ótimo de sarrafeamento foram ligeiramente maiores. Mas, como em 6 dos 10 revestimentos a proximidade dos resultados é muito grande e, considerando-se a dispersão dos resultados, não se pode afirmar que houve influência do tempo de sarrafeamento na aderência dos revestimentos.

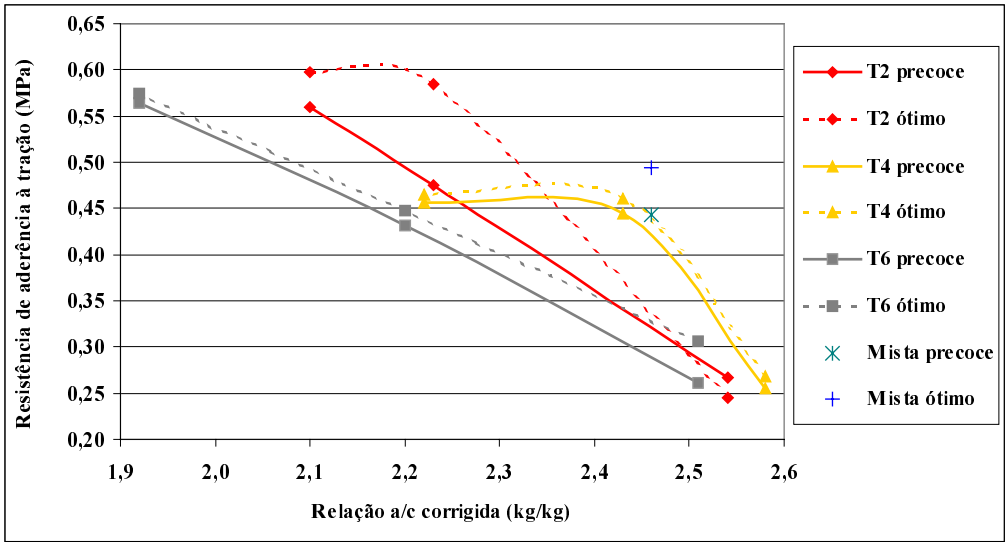


Figura 54: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração em função da relação água / cimento corrigida, realizado nas áreas de sarrafeamento em tempo ótimo e precoce após o ensaio de choque térmico.

Somente a argamassa 32% T4 é que apresentou pelo menos 4 corpos-de-prova com ruptura no substrato e, tirando-se a média apenas destes valores, obtém-se que em tempo ótimo a resistência de aderência encontrada foi de 0,42 MPa, sendo menor que em tempo precoce (0,49 MPa). Porém, considera-se que apenas um resultado não é o suficiente para comprovar uma tendência de comportamento e que outros testes devem ser realizados neste sentido, em futuras pesquisas.

4.5.5.2 Influência do choque térmico na fissuração dos revestimentos

Os resultados da contagem das fissuras visíveis encontram-se na Tabela 15 e da ocorrência de microfissuras na Tabela 16.

Pela Tabela 15 observa-se que o parâmetro controlador do surgimento de fissuras visíveis devido ao choque térmico nas argamassas com entulho foi o teor total de finos < 75 μm. Mas isto não explica o acréscimo de fissuras na argamassa Mista, que possui médio teor de finos, o que precisaria ser investigado.

Nos revestimentos 32% T2 e 32% T6, que possuem resistências mecânicas, módulo de elasticidade, teor de finos e distribuição granulométrica muito semelhantes, o total de fissuras surgidas devido ao choque térmico foram praticamente iguais, o que demonstra que não houve influência da natureza desses 2 tipos de entulho no surgimento de fissuras quando foram fixadas as demais variáveis.

Tabela 15: Fissuras visíveis a olho nu, em cada revestimento de argamassa, antes e depois do ensaio de choque térmico, em cm / m².

	Argamassa									
	18% T2	**18% T4**	**18% T6**	**25% T2**	**25% T4**	**25% T6**	**32% T2**	**32% T4**	**32% T6**	**Mista**
Face	**1**	**6**	**10**	**14**	**18**	**21**	**25**	**31**	**30**	**33**
Antes do choque	0	0	0	0	0	0	0	**124**	0	**15**
1º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	**7**	0	0
2º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	**12**	0	0
3º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	**2,5**	**2**
6º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7º ciclo	0	0	0	0	0	0	**4,9**	**1**	**2**	0
8º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
10º ciclo	0	0	0	0	0	0	0	**8**	0	**1,2**
Total choque	0	0	0	0	0	0	**4,9**	**28**	**4,5**	**5,2**
Total geral	0	0	0	0	0	0	**4,9**	**152**	**4,5**	**20,2**

Chama-se a atenção ainda para o fato de que fissuraram os revestimentos 32% T2 e 32% T6, que possuem os máximos valores de módulo de elasticidade e de resistência à

tração e também os revestimentos 32% T4 e Mista que possuem os menores valores das 2 propriedades citadas anteriormente. Inicialmente, imagina-se que a resistência à tração foi mais útil que o módulo de elasticidade para o controle da fissuração, pois a quantidade de fissuras surgidas devido ao choque foi menor nos revestimentos com maiores resistências à tração na flexão. Porém, não está certo atribuir a resistência à fissuração somente a isto, já que o revestimento 32% T4, por apresentar uma granulometria global mais fina, pode ter desenvolvido maiores tensões capilares e por isso ter apresentado mais fissuras.

Quanto às microfissuras causadas pelo choque térmico, conforme a Tabela 16, ao contrário do que foi constatado para as fissuras visíveis, sua ocorrência diminuiu com o aumento do teor de finos. Isto pode estar relacionado à capacidade de deformação dos revestimentos e à sua resistência mecânica. Aqueles com menores valores de módulo de elasticidade, que neste trabalho são os revestimentos com menores teores de finos, sofreram maiores deformações devido à ação do choque térmico e devido à baixa resistência à tração, sofreram maior microfissuração.

Tabela 16: Análise qualitativa da influência do choque térmico no surgimento de microfissuras nos revestimentos, visíveis apenas por umedecimento superficial.

Argamassa	**Choque térmico**	
	Antes	**Depois**
18% T2	Nenhuma	Alta
18% T4	Nenhuma	Alta
18% T6	Nenhuma	Alta
25% T2	Nenhuma	Média
25% T4	Média	Alta
25% T6	Baixa	Média
32% T2	Nenhuma	Nenhuma
32% T4	Baixa	Média
32% T6	Baixa	Baixa
Mista	Alta	Alta

4.6 Propriedades das argamassas versus o desempenho dos revestimentos

Para encerrar este capítulo, uma análise dos resultados obtidos para os revestimentos, em função das propriedades mecânicas das argamassas, é feita a seguir:

a) o consumo de cimento das argamassas não pode ter tido influência nos resultados, visto que ele é praticamente constante para todas as argamassas estudadas, o que não significa que não seja um parâmetro importante no desempenho dos revestimentos. Ocorre que neste trabalho ele foi uma variável preestabelecida a partir dos experimentos práticos iniciais, balisados pela experiência que já se tinha acumulada sobre o assunto;

b) a elevada relação água/cimento pode ter ajudado no surgimento de fissuras dos revestimentos 32% T4 e Mista. Porém, em princípio, não se considera este o fator preponderante, pois as argamassas 18% T2, 18% T4 e 25% T4, que possuíam relação água/cimento maior ou igual às citadas não sofreram fissuras. Todavia, isto não pode ser facilmente concluído desta forma sem ser considerara a exsudação natural de água, que deve ter ocorrido em maior proporção para as argamassas com 18% de finos e com isso diminuído a relação água/cimento efetiva da argamassa aplicada, o que pode também ter reflexos na porosidade e retração final dos revestimentos. Cabe acrescentar que as outras duas argamassas com elevado teor de finos (32% T2 e T6) e cujos revestimentos não fissuraram foram produzidas com menor relação água/cimento do que as argamassas dos dois tipos que fissuraram;

c) apesar de ser recomendado que as argamassas tenham baixo módulo de elasticidade para evitar o surgimento de fissuras, isto não foi comprovado neste trabalho. Antes da execução do ensaio de choque térmico, nenhuma com alto valor de módulo fissurou e algumas que tinham baixo módulo também não fissuraram (18% T4 e 25% T4). Após o choque térmico, fissuraram as argamassas com os maiores e menores módulos. Mas não se pode deixar de considerar que determinar o módulo de elasticidade à compressão em corpos-de-prova não representa a situação real de um revestimento em fase de secagem, que está restringido e sendo solicitado à tração. Além disso, um revestimento pode fissurar por razões extrínsecas a ele, como devido à deformação da base, na qual um baixo módulo de elasticidade pode

ser muito importante para se evitar fissuras de maior abertura e desplacamentos. Assim, o que se pode afirmar dos resultados desse trabalho é que, apesar do módulo de elasticidade poder influenciar no surgimento de fissuras por retração, apenas recomendar que as argamassas tenham baixo módulo para evitar fissuras de retração por secagem não é o suficiente e, dizer que argamassas com alto módulo fissuram por causas intrínsecas, pode não ser verdade. É necessário que outros parâmetros sejam analisados em conjunto, como o nível de tensão desenvolvido pelo grau de restrição do revestimento e a resistência à tração da argamassa e talvez a distribuição do tamanho dos poros (esta afetada pela natureza e teor dos materiais constituintes e da água de amassamento);

d) quanto à retração por secagem livre das argamassas, esta também é uma propriedade que deve ser analisada com cuidado. Neste trabalho, a argamassa Mista sofreu elevada retração inicial (2 primeiros dias), mas baixa retração total, e fissurou. A argamassa 32% T4 teve uma retração inicial menor que a anterior mas elevada retração final, e fissurou bastante. Porém, a 32% T6 teve uma retração total maior que a 32% T4 e não fissurou. Ou seja, prever a ocorrência de fissuras em revestimentos, que encontram-se restringidos, através da retração livre de prismas não é a metodologia ideal. Argamassas que sofrem maior retração livre não necessariamente retrairão mais quando restringidas. Dependerá do grau de restrição e de sua resistência à tração[17];

e) o *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ mostrou ter influência na fissuração dos revestimentos. Comparando-se as argamassas 18% T4, 25% T4 e 32% T4, observa-se que não existe diferença significativa na distribuição granulométrica dos materiais maiores que 0,20 mm, mas apenas um aumento do teor de finos. Também as relações água / cimento são parecidas, com uma pequena diminuição para 25% T4 e 32% T4 em relação a 18% T4. Quanto às propriedades no estado endurecido, seus resultados de resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade são também parecidos. Assim, pode-se afirmar que a razão principal de surgirem fissuras no revestimento

---

[17] Obviamente, esta discussão estaria bem melhor respaldada se as barras ensaiadas à retração tivessem sido preparadas a partir das mesmas amassadas, relação a/c e partida de cimento usadas no preparo dos revestimentos, o que por questões operacionais não ocorreu.

32% T4 e não surgir no 18% T4 e 25% T4 é o seu maior teor de finos que pode desenvolver maiores tensões capilares internas. Também após o choque térmico, os revestimentos que apresentaram fissuras visíveis foram os com 32% de finos e o de argamassa Mista. Isto porque o aumento do teor de finos deve ter causado diminuição do tamanho dos poros e, consequentemente, maiores desequilíbrios entre as tensões capilares internas e o ambiente;

f) quando se compara argamassas com propriedades físicas e mecânicas diferentes, não se pode afirmar que aquela que possui maiores teores de finos é a que vai mais fissurar. Por exemplo, as argamassas 32% T2 e 32% T6, apesar de terem maiores teores de finos que a Mista, não fissuraram. A diferença principal entre elas pode estar na distribuição granulométrica, no valor da relação água / cimento corrigida, na resistência à tração e na taxa de perda de umidade;

g) a resistência à tração parece ter influenciado positivamente no controle da fissuração para os revestimentos executados, já que fissuraram os que possuíam as menores resistências à tração, aqueles que possuíam elevada resistência não apresentaram fissuras, mas houve revestimentos com resistência à tração baixa e que não fissuraram. O que se pode afirmar é que, quando se diminui o módulo de elasticidade, o revestimento fica mais deformável, sendo capaz de aliviar parte ou toda a tensão do revestimento originada de sua secagem. Quando a tensão não for totalmente aliviada pela deformação do revestimento, caberá à resistência à tração impedir o surgimento de fissuras e, para isto, ela deverá ser superior à tensão ainda existente no revestimento. Assim, se a resistência à tração for baixa, poderão ocorrer as fissuras. Entretanto, executar um revestimento muito rígido, com baixa capacidade de deformação e alta resistência à tração, também não é o ideal, já que, diminuindo a capacidade do revestimento de aliviar as tensões, esta poderá superar com maior facilidade a resistência à tração e também por poder causar fissuração devido a causas extrínsecas à argamassa. Ou seja, para se controlar a fissuração dos revestimentos por secagem, primeiramente deve-se, através da dosagem da argamassa, reduzir ao mínimo a tensão capilar do revestimento, através do controle de finos, da distribuição granulométrica e da relação água / cimento. O módulo de

elasticidade e a resistência à tração deveriam ser definidos de forma ideal pela tensão capilar originada pela secagem do revestimento;

h) apesar de não ter sido determinado neste trabalho a resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento, ela é considerada a principal responsável pela diminuição da quantidade de fissuras nos revestimentos quando aplicou-se o chapisco. De acordo com BORTOLUZZO; LIBÓRIO (1999), esta propriedade pode ter influência positiva no controle de fissuras e, como mostrado por COLLANTES CANDIA (1998) para a mesma marca de bloco utilizada nesta pesquisa, quando aplicou-se o revestimento sobre chapisco, a resistência de aderência ao cisalhamento chegou a triplicar de valor. De fato, maiores valores de aderência ao cisalhamento implicam em uma restrição a mais ao movimento de retração, além da própria resistência à tração.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões do trabalho experimental

Após a análise dos resultados obtidos no Capítulo 4, pode-se chegar as seguintes conclusões quanto ao uso de entulho reciclado para produção de revestimentos:

a) Quanto à natureza do entulho

Para os materiais e o equipamento de moagem utilizados, a principal influência da natureza do entulho nas propriedades das argamassas foi na granulometria do material gerado pela reciclagem. Cabe salientar que para nenhum dos 3 tipos de entulho estudados nos revestimentos, constatou-se atividade pozolânica, por ensaios químicos e mecânicos (**ANEXO C**);

As argamassas dosadas com entulho apresentaram um teor de ar aprisionado superior ao da argamassa Mista, principalmente as de bloco cerâmico e de bloco de concreto, o que pode ter favorecido a trabalhabilidade, diminuindo o consumo de água em conjunto com a distribuição granulométrica.

A natureza do entulho também influenciou no consumo de água total das argamassas quando essas continham entulhos com elevada absorção de água, como no caso de blocos cerâmicos. Nesses casos, fez-se necessário corrigir o valor da relação água/cimento e de água/materiais secos em função do teor de entulho cerâmico na argamassa e da sua absorção de água total.

Quando foram fixados a distribuição granulométrica, o traço da argamassa e a relação água / cimento corrigida, não se verificou diferença de consistência quando a argamassa era composta por bloco cerâmico ou bloco de concreto. Mas, ao contrário, os finos do entulho reciclado de argamassa mista mostrou consumir mais água que os finos gerados pela moagem dos blocos cerâmico e de concreto.

Para a reciclagem de entulho em usinas visando a produção de argamassas, recomenda-se fazer um controle granulométrico do entulho entre as dimensões de 2,4 mm até 0,15 mm, descartando o material passante nesta abertura de malha e utilizando um outro

material como plastificante, como por exemplo a cal. Isto porque, além dele ter causado o aumento do consumo de água nas argamassas feitas com entulho de argamassa moída, ele dificulta o processo de controle granulométrico e de contaminantes. Além disso, não se descarta a necessidade em usinas de um controle de homogeneidade do entulho para que se obtenha argamassas com maior constância no consumo de água para uma mesma trabalhabilidade.

b) Quanto ao teor de entulho

Para os materiais utilizados, a substituição de 10% do agregado por entulho, equivalente ao total de finos de 18% nos traços 1 : 9 estudados, não causou influência nas propriedades analisadas, independente do entulho ser formado por bloco cerâmico, bloco de concreto ou argamassa.

Para as argamassas do Tipo T4, cuja fração entulho foi composta de 100% de argamassa moída, suas distribuições granulométricas, relações água/cimento e propriedades mecânicas resultaram parecidas. Assim, pode-se afirmar que um acréscimo desse entulho resultou no surgimento de maior quantidade de fissuras, causado pelo aumento do *teor total de finos* $< 75\ \mu m$.

Para as argamassas dos tipos T2 e T6, que possuíam as características acima citadas muito diferentes para seus diversos teores, tornou-se mais difícil avaliar a influência do teor de entulho na fissuração, notando-se alguma predisposição nos revestimentos com 32% de finos totais a fissurar de forma visível por ação do choque térmico.

Assim, é possível afirmar que, trabalhando-se com entulhos reciclados, sem contaminantes ou atividade pozolânica, a influência do seu teor na argamassa pode ser prejudicial quando for responsável por um refinamento excessivo dos poros.

c) Quanto à dosagem das argamassas

A relação água / cimento pode ter causado influência no surgimento de fissuras em efeito simultâneo com o *teor total de finos* $< 75\ \mu m$.

O *teor total de finos* $< 75\ \mu m$ no valor de 32% mostrou ter influência na fissuração, independente do tipo de entulho, sendo que o valor crítico para a fissuração poderá depender da distribuição granulométrica da argamassa e da relação água/cimento

corrigida. Fixado o traço, as argamassas com a granulometria mais grossa e menor relação água/cimento suportaram maiores teores de finos sem fissurar por causas intrínsecas, mas fissuraram com o choque térmico. Recomenda-se não ultrapassar o teor de 25% de finos totais, que se mostrou como um valor crítico para iniciar as fissuras por secagem do revestimento de argamassa Mista e suficiente para se obter boa trabalhabilidade.

Quanto à metodologia de dosagem, os parâmetros *teor total de finos* $< 75\ \mu m$, proposto por SELMO; BUCHER (1990) para controle da trabalhabilidade e retração das argamassas e a *relação agregado/cimento*, proposto por SELMO (1989) para controle das propriedades das argamassas e do desempenho dos revestimentos, podem ser utilizados também para controle de dosagem das argamassas com entulho, visto que as argamassas aqui estudadas variaram suas propriedades mecânicas em função da relação água / cimento. Porém, para análise da fissuração, ainda são mais seguros e representativos estudos práticos e não apenas a avaliação em função da retração por secagem livre de corpos-de-prova.

d) Quanto às propriedades das argamassas

O ensaio de retração por secagem de argamassas, conforme a norma NBR 8490 (ABNT, 1984), apesar de ser muito utilizado para avaliar a tendência de fissuração de revestimentos, não permite resultados garantidos para tal fim, já que outros fatores intervenientes na fissuração são incluídos, a começar pelo preparo da base (com ou sem chapisco).

Apesar da recomendação de se ter baixo módulo de elasticidade em argamassas para evitar o surgimento de fissuras de retração por secagem não ter sido confirmada neste trabalho, admite-se que esta propriedade deve ser melhor avaliada de forma a reproduzir o que acontece quando aplicada como revestimento, isto é, deformação na tração e com a argamassa restringida. Mas, ainda assim, conclui-se que nem sempre diminuir o módulo de elasticidade será a solução correta para o controle da fissuração.

A resistência à tração na flexão talvez possa ser uma propriedade útil para o controle de fissuração. Mas isto também não pode ser considerado como regra geral, já que os revestimentos com elevada resistência podem se tornar extremamente rígidos,

apresentando fissuras (como evidenciado pelo choque térmico) ou até mesmo desplacamentos devido a razões extrínsecas a ele.

Talvez seja necessário que estas propriedades sejam definidas em conjunto, de forma que a tensão capilar existente no revestimento, no limite da deformação que induz, seja ainda menor que a resistência à tração da argamassa, para não fissurar o revestimento.

e) Quanto à influência do choque térmico

O choque térmico mostrou causar influência significativa no surgimento de fissuras nos revestimentos. Porém, essa influência ocorreu de formas diferentes, de acordo com as propriedades do revestimento. Naqueles que possuíam maiores teores de finos, prevaleceu a ocorrência de fissuras visíveis ao invés de microfissuras. Já nos revestimentos com baixo teor de finos, prevaleceu o surgimento de microfissuras, apenas perceptíveis por umedecimento superficial dos revestimentos. Isto se deve principalmente às diferentes resistências à tração e módulos de elasticidade dos revestimentos.

Em relação à resistência de aderência à tração, para a temperatura superficial do revestimento entre 20 ºC e 80 ºC, não se observou perdas nessa propriedade com o número de ciclos adotado.

f) Quanto à técnica de execução

A influência do tempo de execução do sarrafeamento e do desempenamento no surgimento de fissuras foi secundária. Em argamassas que por sua composição, tipo de substrato e/ou condições atmosféricas desenvolveram tensões internas suficientes para fissurar, com o sarrafeamento ótimo esta tendência de fissuração foi aumentada; em argamassas sem esta predisposição a fissurar, o tempo de sarrafeamento foi irrelevante.

Apesar de não ter sido o objetivo principal deste trabalho avaliar a influência do chapisco no surgimento de fissuras em revestimentos, nos testes comparativos, realizados entre argamassas aplicadas sobre substratos de bloco de concreto com e sem chapisco, ele mostrou-se útil na redução da quantidade de fissuras, chegando às vezes a impedir totalmente seu surgimento, o que provavelmente ocorreu devido ao aumento da resistência de aderência ao cisalhamento do revestimento.

5.2 Sugestões para estudos futuros

Este trabalho permite apontar os seguintes temas para objeto de futuras pesquisas:

- dosagem de argamassas de entulho reciclado que possuem finos com atividade pozolânica;
- influência do teor de finos na distribuição do tamanho dos poros e, portanto, na fissuração dos revestimentos;
- avaliação do módulo de elasticidade e da resistência à tração no controle da fissuração em revestimentos de argamassa;
- análise da tensão capilar surgida no revestimento para definição do módulo de elasticidade e resistência à tração da argamassa;
- desenvolvimento de metodologia para controle de produção de argamassas em usinas de reciclagem, aplicando-se os princípios de dosagem estabelecidos por este trabalho, de forma simplificada e factível de ser aplicada nessas usinas.

ANEXOS

ANEXO A

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MECÂNICA DOS CIMENTOS UTILIZADOS

Tabela A.1: Composição química da primeira partida de cimento CP II-E 32 (ABCP) usado nos experimentos.

Ensaios		Método	Resultados (%)	Limite da NBR 11578/91 (%)
Perda ao fogo	**(PF)**	NBR 5743/89	4,78	≤ 6,5
Dióxido de silício	**(SiO_2)**	NBR 9203/85	21,24	-
Óxido de alumínio	**(Al_2O_3)**	NBR 9203/85	4,99	-
Óxido de ferro	**(Fe_2O_3)**	NBR 9203/85	2,71	-
Óxido de cálcio	**(CaO)**	NBR 9203/85	57,91	-
Óxido de magnésio	**(MgO)**	NBR 9203/85	3,99	≤ 6,5
Trióxido de enxofre	**(SO_3)**	NBR 5745/89	2,08	≤ 4,0
Óxido de potássio	**(K_2O)**	NBR 5747/85	0,02	-
Óxido de sódio	**(Na_2O)**	NBR 5747/85	0,08	-
Anidrido carbônico	**(CO_2)**	NBR 11583/91	3,98	≤ 5,0
Cal livre	**(CaO livre)**	NBR 7227/89	0,72	-
Resíduo insolúvel	**(RI)**	NBR 5744/89	1,11	≤ 2,5
Equivalente alcalino em Na_2O		NBR 9203/85	0,49	-

Tabela A.2: Características físicas e mecânicas da primeira partida de cimento CP II-E (ABCP) usado nos experimentos.

Ensaios		Método	Resultados	Limite da NBR 11578/91
Massa específica (kg / m^3)		NM 23/98	3060	-
Massa unitária (kg / m^3)		NBR 7251/82	1120	-
Área específica (m^2 / kg)		NM 76/98	341	≥ 260
Consistência normal (%)		NBR 11580/91	25,4	-
Expansibilidade Le Chatelier a quente (mm)		NBR 11582/91	0	≤ 5
Material passante (%)	**75 μm**	NBR 11579/91	96,4	≥ 88
	45 μm		85,9	-
Resistência à compressão (MPa)	**3 dias**	NBR 7215/96	20,5	≥ 10
	7 dias		27	≥ 20
	28 dias		35,3	≥ 32
Tempo de pega (h : min)	**Início**	NBR 11581/91	6 : 25	≥ 1
	Fim		9 : 25	≤ 10

Tabela A.3: Composição química da segunda partida de cimento CP II-E 32 (ABCP) usado nos revestimentos e na caracterização complementar das argamassas.

Ensaios	Método	Resultados (%)	Limite da NBR 11578/91 (%)
Perda ao fogo (PF)	NBR 5743/89	5,02	≤ 6,5
Dióxido de silício (SiO_2)	NBR 9203/85	21,26	-
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	NBR 9203/85	5,92	-
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	NBR 9203/85	2,51	-
Óxido de cálcio (CaO)	NBR 9203/85	59,07	-
Óxido de magnésio (MgO)	NBR 9203/85	2,86	≤ 6,5
Trióxido de enxofre (SO_3)	NBR 5745/89	1,98	≤ 4,0
Óxido de potássio (K_2O)	NBR 5747/85	0,70	-
Óxido de sódio (Na_2O)	NBR 5747/85	0,07	-
Anidrido carbônico (CO_2)	NBR 11583/91	4,10	≤ 5,0
Cal livre (CaO livre)	NBR 7227/89	0,39	-
Resíduo insolúvel (RI)	NBR 5744/89	1,08	≤ 2,5
Equivalente alcalino em Na_2O	NBR 9203/85	-	-

Tabela A.4: Características físicas e mecânicas da segunda partida de cimento CP II-E (ABCP) usado nos revestimentos e na caracterização complementar das argamassas.

Ensaios		Método	Resultados	Limite da NBR 11578/91
Massa específica (kg / m^3)		NM 23/98	3080	-
Massa unitária (kg / m^3)		NBR 7251/82	-	-
Área específica (m^2 / kg)		NM 76/98	293	≥ 260
Consistência normal (%)		NBR 11580/91	25,0	-
Expansibilidade Le Chatelier a quente (mm)		NBR 11582/91	0,5	≤ 5
Material passante (%)	**75 μm**	NBR 11579/91	92,5	≥ 88
	45 μm		-	-
Resistência à compressão (MPa)	**3 dias**	NBR 7215/96	16,3	≥ 10
	7 dias		22,1	≥ 20
	28 dias		35,1	≥ 32
Tempo de pega (h : min)	**Início**	NBR 11581/91	4:55	≥ 1
	Fim		6:35	≤ 10

ANEXO B

CARACTERIZAÇÃO DA CAL CH I USADA NO ASSENTAMENTO DA ALVENARIA E NA A PRODUÇÃO DA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA

Tabela B.1: Resultados de caracterização da cal hidratada CH I, utilizada no assentamento da alvenaria e na argamassa de referência (traço 1 : 1 : 8, massa seca).

Norma Técnica	Propriedade analisada	Resultados	Limites da NBR 7175/92 – OBS
NBR NM 23/98	**Densidade de massa específica**	2241 kg/m³	-
NBR 9206/85	**Finura # ABNT**	1,85%	600 μm ≤ 0,5%; 75 μm ≤ 15%
NBR 7251/82	**Densidade de massa aparente**	530 kg/m³	No estado solto
NBR 9205/85	**Estabilidade**	Sem cavidades ou protuberâncias	Ausência de cavidades ou protuberância
NBR 9290/85	**Retenção de água**	84%	≥ 80%
NBR 9207/85	**Incorporação de areia**	Traço cal e areia, 1:3,25	≥ 2,5
NBR 9206/85	**Plasticidade**	108	≥ 110

ANEXO C

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO E DOS ENTULHOS

Tabela C.1: Características dos entulhos básicos moídos e da areia de rio, usada como agregado miúdo.

Propriedade	Método	Bl. cerâmico	Argamassa	Bl. concreto	Areia
Dimensão máx. caract. (mm)	Gran. a laser	4,8	0,55	4,8	0,56
Módulo de finura	Gran. a laser	1,27	0,74	1,78	0,87
Materiais pulverulentos (%)[1]	Gran. a laser	46	34	33	5
Densidade de massa aparente (kg/m^3)	NBR 7251/82	1270	1320	1530	1340
Densidade de massa dos grãos (kg/m^3)	NM 23/98	2680	2600	2670	2580[2]
Inchamento do agregado	NBR 6467/87	-	-	-	1,40
Sais solúveis (%)[3]	NBR 9917/87	0,14	1,84	0,18	-
Absorção de água dos grãos (%)[4]	NBR 9777/87	11,5	1,0	2,0	0,5
Área específica Blaine[5]	NBR 7224/96	3430	1400	1950	-
Área específica Blaine[6]	NBR 7224/96	5920	5620	3700	-
Reatividade potencial com álcalis	NBR 9774/86	Não reativo	Não reativo	Não reativo	-
Atividade pozolânica (mg CaO/g)	Chapelle	60,9	0,0	15,1	-
Atividade pozolânica (%)	NBR 5752/92	55,6	-	-	-

Obs.:[1] A distribuição granulométrica da fração maior que 1,2 mm foi determinada pela NBR 7217/87.

[2] O ensaio de densidade de massa da areia fina foi realizado de acordo com a norma NBR 9776/87.

[3] Todos os três entulhos deram resultado negativo para cloretos e sulfatos.

[4] Antes da realização do ensaio, as amostras foram lavadas na peneira de malha 0,15 para que não apresentassem coesão.

[5] Resultado obtido para a fração passante na peneira de malha #0,6mm.

[6] Resultado obtido para a fração passante na peneira de malha #0,15mm.

Tabela C.2 Caracterização mineralógica por difratometria de Raios X.

Minerais	Distância interplanar principal	Fórmula química	Freqüência relativa		
			Bl. Cerâmico	Argamassa	Bl. Concreto
Quartzo	3,36	SiO_2	++++	+++	+++
Feldspato	3,19	$KalSi_3O_8$	+	+++	+++
Mica	10,09	$K(Fe,Mg)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$	Nd	Tr	++
Calcita	3,04	$CaCO_3$	Nd	+	+
Portlandita	4,90	$Ca(OH)_2$	Nd	+	Nd
Anfibólio	8,46	$Ca_2Mg_5SiO_2O_{22}(OH)_2$	Nd	Nd	Tr
Caulinita	7,23	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Nd	Tr	Nd
Cristobalita	4,17	SiO_2	Tr	Nd	Nd
Hematita	2,71	Fe_2O_3	Tr	Nd	Nd

Simbologia: Nd = não detectado + = presente +++ = freqüente
Tr = traços ++ = pouco freqüente ++++ = muito freqüente

ANEXO D

COMPOSIÇÃO DE ALVENARIAS DEMOLIDAS

ANEXO E

RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA A LASER

E.4 - RESULTADO DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA A LASER NA AREIA, REALIZADO PELA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND (ABCP)

Tabela E.4.1: Porcentagens passantes acumuladas da areia utilizada na pesquisa.

[1]**D (μm)**	0,04	0,07	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
[2]**P (%)**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,11
D (μm)	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20
P (%)	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,42	0,48	0,53	0,58
D (μm)	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00	4,30
P (%)	0,62	0,65	0,68	0,71	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82
D (μm)	4,60	5,00	5,30	5,60	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50
P (%)	0,84	0,87	0,89	0,91	0,94	0,97	1,00	1,03	1,06	1,09
D (μm)	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00
P (%)	1,12	1,18	1,23	1,29	1,35	1,40	1,45	1,51	1,56	1,61
D (μm)	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	25,00	28,00	30,00	32,00	34,00
P (%)	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,94	2,09	2,19	2,30	2,42
D (μm)	36,00	38,00	40,00	43,00	45,00	50,00	53,00	56,00	60,00	63,00
P (%)	2,54	2,66	2,78	2,97	3,09	3,42	3,63	3,85	4,15	4,39
D (μm)	66,00	71,00	75,00	80,00	85,00	90,00	95,00	100,0	112,0	125,0
P (%)	4,64	5,08	5,46	5,95	6,48	7,05	7,67	8,33	10,15	12,49
D (μm)	130,0	140,0	150,0	160,0	170,0	180,0	190,0	200,0	212,0	224,0
P (%)	13,50	15,68	18,09	20,65	23,33	26,07	28,85	31,64	34,97	38,26
D (μm)	240,0	250,0	280,0	300,0	315,0	355,0	400,0	425,0	450,0	500,0
P (%)	42,52	45,11	52,66	57,52	61,11	70,36	80,20	85,39	90,42	100,0

[1] **D (μm) =** diâmetro dos grãos
[2] **P (%) =** porcentagem passante acumulada

ANEXO F

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS E DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS

F.1 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Tabela F.1.1: Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme a EN 1015 – Part 11 e com a análise dos resultados descrita no item 4.3.1.

Argamassa	Resistência (MPa)				Média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4			
18% T2	0,89	0,89	0,97	0,71	0,87	0,11	12,53
18% T4	0,91	0,85	1,05	0,88	0,92	0,09	9,75
18% T6	0,96	0,87	0,82	-	0,89	0,07	7,97
25% T2	0,94	1,05	-	0,82	0,94	0,12	12,48
25% T4	0,74	0,74	1,02	0,91	0,85	0,14	16,37
25% T6	0,99	1,20	1,10	0,89	1,04	0,13	12,74
32% T2	1,07	1,27	1,30	1,52	1,29	0,18	14,28
32% T4	0,89	0,97	0,93	1,09	0,97	0,09	8,78
32% T6	1,46	1,21	-	1,29	1,32	0,13	9,73
E2	1,74	1,72	1,64	1,91	1,75	0,11	6,41
E4	1,21	1,18	1,09	0,98	1,11	0,10	9,38
E6	1,68	1,77	1,79	1,73	1,74	0,05	2,60
Mista	0,74	0,68	0,82	0,70	0,74	0,07	8,88

F.2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Tabela F.2.1: Resultados do ensaio de resistência à compressão, , realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme a EN 1015 – Part 11 e com a análise dos resultados descrita no item 4.3.2.

Argamassa	Resistência (MPa)				Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4			
18% T2	2,30	2,62	2,45	2,36	2,43	0,14	5,75
18% T4	2,51	2,50	2,39	2,44	2,46	0,06	2,24
18% T6	2,52	2,53	2,40	2,82	2,57	0,18	6,95
25% T2	2,93	2,96	2,92	2,94	2,94	0,02	0,66
25% T4	2,40	2,55	2,92	2,36	2,56	0,25	9,92
25% T6	3,39	3,43	3,17	3,16	3,29	0,14	4,29
32% T2	4,45	4,35	4,83	5,20	4,71	0,39	8,25
32% T4	3,29	3,35	2,88	3,29	3,20	0,22	6,77
32% T6	4,42	4,16	4,25	4,48	4,33	0,15	3,39
E2	7,08	7,47	7,31	7,70	7,39	0,26	3,54
E4	3,79	3,64	3,69	-	3,71	0,07	2,01
E6	7,71	7,02	7,77	7,26	7,44	0,36	4,86
Mista	1,52	1,35	1,71	1,62	1,55	0,16	10,11

F.3 – RESULTADOS DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Tabela F.3.1: Resultados do ensaio de módulo de elasticidade, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme a EN 1015 – Part 11 e com a análise dos resultados descrita no item 4.3.3.

Argamassa	Módulo de elasticidade (GPa)				Média (GPa)	Desvio padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3	4			
18% T2	2,61	2,94	-	-	2,8	0,23	8,37
18% T4	2,81	3,24	2,50	2,79	2,8	0,30	10,71
18% T6	-	3,39	3,53	3,42	3,4	0,07	2,17
25% T2	-	2,93	3,50	3,88	3,4	0,48	13,92
25% T4	2,58	-	3,19	2,74	2,8	0,32	11,12
25% T6	3,68	4,28	3,56	4,01	3,9	0,33	8,47
32% T2	5,11	5,00	5,61	4,74	5,1	0,36	7,11
32% T4	3,06	3,22	3,20	3,06	3,1	0,09	2,80
32% T6	4,69	4,54	4,97	5,34	4,9	0,35	7,23
E2	8,03	7,30	7,93	8,68	8,0	0,57	7,12
E4	3,13	3,36	4,11	-	3,5	0,51	14,55
E6	5,71	7,49	6,65	8,08	7,0	1,03	14,79
Mista	4,17	2,59	-	2,84	3,2	0,85	26,54

F.4 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO, REALIZADO NA MESMA ARGAMASSA DOS REVESTIMENTOS E COM A CURA EM CÂMARA ÚMIDA

Tabela F.4.1: Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm da mesma argamassa do revestimento, conforme a EN 1015 – Part 11, com a cura em câmara úmida e com a análise dos resultados descrita no item 4.5.1.2.

Argamassa	**Resistência (MPa)**			**Média (MPa)**	**Desvio padrão (MPa)**	**Coeficiente de variação (%)**
	1	**2**	**3**			
18% T2	0,75	1,01	0,82	0,86	0,14	15,8
18% T4	0,93	0,79	0,86	0,86	0,07	7,8
18% T6	0,97	1,07	0,91	0,98	0,08	7,9
25% T2	1,32	1,30	1,50	1,38	0,11	8,0
25% T4	1,14	1,14	-	1,14	0,00	0,0
25% T6	1,08	1,08	1,50	1,22	0,24	19,8
32% T2	1,44	1,92	1,51	1,62	0,26	16,1
32% T4	0,84	1,13	-	0,99	0,21	21,2
Mista	0,54	0,69	0,58	0,60	0,08	12,7

F.5 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO, REALIZADO NA MESMA ARGAMASSA DOS REVESTIMENTOS E COM A CURA EM CÂMARA SECA

Tabela F.5.1: Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm da mesma argamassa do revestimento, conforme a EN 1015 – Part 11, com a cura em câmara seca e com a análise dos resultados descrita no item 4.5.1.2.

Argamassa	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
18% T2	0,46	0,52	0,46	0,48	0,03	6,7
18% T4	0,59	0,52	0,59	0,57	0,04	7,3
18% T6	0,69	0,64	0,56	0,63	0,07	10,5
25% T2	0,64	0,75	0,70	0,70	0,06	7,9
25% T4	0,35	0,61	-	0,48	0,18	37,9
25% T6	0,93	1,02	0,69	0,88	0,17	19,5
32% T2	0,97	0,91	0,96	0,95	0,03	3,5
32% T4	0,75	0,61	-	0,68	0,10	14,6
Mista	0,47	0,43	-	0,45	0,03	5,9

F.6 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, REALIZADO NA MESMA ARGAMASSA DOS REVESTIMENTOS E COM A CURA EM CÂMARA ÚMIDA

Tabela F.6.1: Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm da mesma argamassa do revestimento, conforme a EN 1015 – Part 11, com a cura em câmara úmida e com a análise dos resultados descrita no item 4.5.1.3.

Argamassa	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
18% T2	2,6	3,1	2,6	2,8	0,27	9,9
18% T4	3,1	2,4	2,7	2,8	0,36	13,1
18% T6	2,6	3,0	3,5	3,0	0,45	14,9
25% T2	5,6	5,1	4,7	5,1	0,45	8,7
25% T4	3,8	3,9	0,0	3,9	0,09	2,4
25% T6	4,4	3,9	4,3	4,2	0,26	6,2
32% T2	5,7	7,7	6,7	6,7	0,97	14,5
32% T4	3,6	3,4	0,0	3,5	0,15	4,3
Mista	2,0	2,4	1,9	2,1	0,24	11,1

F.7 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, REALIZADO NA MESMA ARGAMASSA DOS REVESTIMENTOS E COM A CURA EM CÂMARA SECA

Tabela F.7.1: Resultados do ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias em corpos de prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm da mesma argamassa do revestimento, conforme a EN 1015 – Part 11, com a cura em câmara seca e com a análise dos resultados descrita no item 4.5.1.3.

Argamassa	Resistência (MPa)			Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
18% T2	1,71	1,44	1,28	1,48	0,22	14,7
18% T4	1,31	1,33	1,64	1,43	0,19	13,1
18% T6	1,49	1,65	1,66	1,60	0,10	6,0
25% T2	1,60	1,97	1,94	1,84	0,20	11,1
25% T4	1,71	2,00	0,00	1,85	0,21	11,1
25% T6	2,25	2,38	1,74	2,12	0,34	15,8
32% T2	2,41	2,52	2,79	2,57	0,20	7,7
32% T4	1,56	2,20	0,00	1,88	0,45	24,1
Mista	1,42	1,57	1,13	1,37	0,22	16,3

F.8 – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Tabela F.8.1: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração conforme a NBR 13528 (ABNT, 1995), aos 28 dias de idade, dos revestimentos que não sofreram choque térmico, cuja análise dos resultados está descrita no item 4.5.2.

Resistência de aderência à tração (MPa) - 28 dias

CP	18% T2		18% T4		18% T6		25% T2		25% T4		25% T6		32% T2		32% T4		32% T6		Mista	
	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR
1	0,29	B	0,26	B	0,35	B	0,65	B	0,33	A	0,32	A	0,42	B	0,25	B	0,29	B	0,43	B
2	0,25	B	0,38	B	0,07	B	0,16	B	0,40	B	0,50	B	0,46	A	0,45	B	0,21	A	0,39	B
3	0,26	B	0,41	B	0,22	B	0,51	B	0,39	A	0,18	B	0,38	B	0,36	A	0,51	A	0,36	B
4	0,34	B	0,34	B	0,40	B	0,42	B	0,47	A	0,17	A	0,40	B	0,67	B	0,24	A	0,47	B
5	0,30	B	-	-	0,46	B	0,40	B	0,39	B	0,53	B	0,47	A	0,45	A	0,61	A	0,22	B
6	0,18	B	0,30	B	0,28	B	0,50	A	0,55	B	0,37	B	0,32	A	0,40	B	0,67	A	0,30	B
Média (MPa)	0,29	-	0,34	-	0,37	-	0,50	-	0,42	-	0,35	-	0,41	-	0,47	-	0,42	-	0,39	-
DP (MPa)	0,04	-	0,06	-	0,07	-	0,10	-	0,08	-	0,15	-	0,05	-	0,12	-	0,20	-	0,07	-
CV (%)	12,9	-	17,3	-	19,6	-	20,5	-	19,1	-	44,0	-	13,0	-	25,7	-	47,5	-	17,0	-

Legenda:

Os resultados em vermelho foram descartados do cálculo da média, desvio-padrão e do coeficiente de variação.

Ra = Resistência de aderência à tração, em MPa;

DP = Desvio – padrão;

CV = Coeficiente de variação.

LR = Local de ruptura, onde:

A = ruptura na interface argamassa/substrato: Ra = valor;

B = ruptura da argamassa de revestimento: Ra > valor.

Tabela F.8.2: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, aos 8 meses de idade, na região de tempo precoce de sarrafeamento dos revestimentos que sofreram choque térmico (parte superior dos pórticos).

Resistência de aderência à tração (MPa) – tempo precoce de sarrafeamento

CP	18% T2		18% T4		18% T6		25% T2		25% T4		25% T6		32% T2		32% T4		32% T6		Mista	
	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR
1	0,29	B	0,34	B	0,24	B	0,42	B	0,36	B	0,27	B	0,45	B	0,60	A	0,40	A	0,32	A
2	0,18	B	0,25	B	0,25	B	0,46	B	0,46	A	0,67	B	0,54	B	0,43	A	0,66	A	0,34	A
3	0,25	B	0,23	B	0,25	B	0,59	B	0,42	B	0,59	B	0,56	B	0,54	A	0,67	A	0,35	A
4	0,30	B	0,18	B	0,32	B	0,43	B	0,49	B	0,35	A	0,74	A	0,38	A	0,32	A	0,70	B
5	0,26	B	0,29	B	0,26	B	0,50	B	0,49	B	0,28	B	0,56	A	0,34	B	0,67	B	0,58	B
6	0,32	B	0,24	B	0,24	B	0,47	B	0,45	B	0,43	B	0,51	B	0,46	B	0,66	B	0,37	B
Média (MPa)	0,27	-	0,26	-	0,26	-	0,48	-	0,45	-	0,43	-	0,56	-	0,46	-	0,56	-	0,44	-
DP (MPa)	0,05	-	0,05	-	0,03	-	0,06	-	0,05	-	0,16	-	0,10	-	0,10	-	0,16	-	0,16	-
CV (%)	17,7	-	20,8	-	11,3	-	12,8	-	11,2	-	38,1	-	17,2	-	21,3	-	28,2	-	35,8	-

Legenda:

Os resultados em vermelho foram descartados do cálculo da média, desvio-padrão e do coeficiente de variação.

Ra = Resistência de aderência à tração, em MPa;

DP = Desvio – padrão;

CV = Coeficiente de variação.

LR = Local de ruptura, onde:

A = ruptura na interface argamassa/substrato: Ra = valor;

B = ruptura da argamassa de revestimento: Ra > valor.

Tabela F.8.3: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, aos 8 meses de idade, na região de tempo ótimo de sarrafeamento dos revestimentos que sofreram choque térmico (parte inferior dos pórticos).

Resistência de aderência à tração (MPa) – tempo ótimo de sarrafeamento

CP	18% T2		18% T4		18% T6		25% T2		25% T4		25% T6		32% T2		32% T4		32% T6		Mista	
	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR
1	0,27	B	0,27	A	0,39	B	0,54	B	0,52	B	0,34	A	0,90	B	0,44	A	0,57	A	0,52	B
2	0,19	B	0,26	B	0,31	B	0,65	B	0,43	B	0,47	B	0,86	A	0,53	A	0,50	B	0,66	B
3	0,32	B	0,31	B	0,30	B	0,67	B	0,41	B	0,56	B	0,46	B	0,42	A	0,81	A	0,49	B
4	0,19	B	0,29	B	0,30	B	0,68	B	0,39	B	0,40	B	0,48	A	0,60	B	0,53	B	0,41	B
5	0,21	B	0,20	B	0,29	B	0,61	B	0,58	B	0,41	A	0,41	B	0,38	A	0,49	B	0,46	B
6	0,29	B	0,28	B	0,25	B	0,37	B	0,44	B	0,51	B	0,48	B	0,42	B	0,56	B	0,42	B
Média (MPa)	0,25	-	0,27	-	0,31	-	0,58	-	0,46	-	0,45	-	0,60	-	0,47	-	0,57	-	0,49	-
DP (MPa)	0,05	-	0,04	-	0,05	-	0,12	-	0,07	-	0,08	-	0,22	-	0,08	-	0,12	-	0,09	-
CV (%)	22,0	-	13,4	-	15,3	-	20,0	-	15,9	-	17,9	-	36,9	-	17,3	-	20,6	-	18,0	-

Legenda:

Os resultados em vermelho foram descartados do cálculo da média, desvio-padrão e do coeficiente de variação.

Ra = Resistência de aderência à tração, em MPa;

DP = Desvio – padrão;

CV = Coeficiente de variação.

LR = Local de ruptura, onde:

A = ruptura na interface argamassa/substrato: Ra = valor;

B = ruptura da argamassa de revestimento: Ra > valor.

Tabela F.8.4: Resultados do ensaio de resistência de aderência à tração, aos 8 meses de idade, na região de tempo precoce de sarrafeamento dos revestimentos que não sofreram choque térmico (parte superior dos pórticos).

Resistência de aderência à tração (MPa) – tempo precoce de sarrafeamento

CP	18% T2		18% T4		18% T6		25% T2		25% T4		25% T6		32% T2		32% T4		32% T6		Mista	
	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR	Ra	LR
1	0,26	B	0,41	B	0,34	B	0,62	B	0,52	B	0,40	B	0,32	B	0,09	A	0,61	B	0,50	A
2	0,26	B	0,34	B	0,30	B	0,62	B	0,47	B	0,32	B	0,34	B	0,26	A	0,69	B	0,61	B
3	0,25	B	0,38	B	0,20	B	0,43	B	0,37	A	0,25	B	0,37	B	0,27	A	0,58	B	0,68	B
4	0,36	B	0,34	B	0,21	B	-	-	-	-	0,43	B	0,46	B	0,13	A	0,52	B	0,73	B
5	0,24	B	0,41	B	0,26	B	0,28	A	0,46	B	0,40	B	0,28	A	0,32	B	0,26	A	0,46	B
6	0,41	B	0,39	B	0,24	B	0,46	A	0,34	B	0,41	B	0,31	B	0,09	A	0,50	B	0,42	B
Média (MPa)	0,29	-	0,38	-	0,26	-	0,48	-	0,43	-	0,37	-	0,35	-	0,20	-	0,53	-	0,57	-
DP (MPa)	0,07	-	0,03	-	0,05	-	0,14	-	0,07	-	0,07	-	0,06	-	0,10	-	0,15	-	0,13	-
CV (%)	24,3	-	8,8	-	20,8	-	29,7	-	17,1	-	18,4	-	18,2	-	51,8	-	28,2	-	22,1	-

Legenda:

Os resultados em vermelho foram descartados do cálculo da média, desvio-padrão e do coeficiente de variação.

Ra = Resistência de aderência à tração, em MPa;

DP = Desvio – padrão;

CV = Coeficiente de variação.

LR = Local de ruptura, onde:

A = ruptura na interface argamassa/substrato: Ra = valor;

B = ruptura da argamassa de revestimento: Ra > valor.

F.9 – RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO CAPILAR PELO MÉTODO DO CACHIMBO NOS REVESTIMENTOS, APÓS 15 MINUTOS

Tabela F.9.1: Resultados do ensaio de absorção capilar dos revestimentos pelo método do cachimbo, após 15 minutos de ensaio, com a análise dos resultados descrita no item 4.5.3.

Argamassa	Absorção (ml)			Média (ml)	Desvio padrão (ml)	Coeficiente de variação (%)
	1	2	3			
18% T2	1,8	1,5	2,3	1,9	0,40	21,7
18% T4	2,1	2,0	2,1	2,1	0,06	2,8
18% T6	1,8	1,7	1,7	1,7	0,08	4,4
25% T2	2,0	2,0	-	2,0	0,00	0,0
25% T4	2,0	2,2	2,1	2,1	0,13	6,0
25% T6	1,5	2,2	1,9	1,9	0,33	17,7
32% T2	2,2	2,0	2,2	2,1	0,12	5,4
32% T4	1,8	1,5	2,3	1,9	0,40	21,7
32% T6	1,4	2,4	1,9	1,9	0,48	25,2
Mista	1,0	1,0	-	1,0	0,00	0,0

ANEXO G

CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO UTILIZADOS COMO SUBSTRATO DOS REVESTIMENTOS

Tabela G.1: Resultados dos ensaio de caracterização dos blocos de concreto utilizados como substrato dos revestimentos.

Norma técnica	Propriedade	Resultado	Observação
NBR 7184/91	Resistência à compressão	8,5 MPa	Desvio máximo: 7,5%
ASTM C 67/86 ("IRA")	Índice de absorção de água capilar inicial	85,9 g	Área padrão: 193,55 cm²
NBR 12118/91	Absorção de água total (24 horas)	8,7 %	Desvio máximo: 3,12 %

ANEXO H

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DOS TEMPOS DE SARRAFEAMENTO E DESEMPENAMENTO DURANTE A EXECUÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Tabela H.1: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 18% T2, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 18% T2							
Face 1	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:31	0:48	1:13	1:16	1:16	1:21
PS (precoce)	0:00	0:48	1:03	1:03	1:08	1:08	1:13

Execução do revestimento - 18% T2							
Face 2	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:10	0:25	0:52	0:55	0:55	1:00
PS (precoce)	0:00	0:25	0:37	0:37	0:40	0:45	0:50

Execução do revestimento - 18% T2							
Face 3	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:11	0:19	0:57	1:01	1:03	1:08
PS (precoce)	0:00	0:19	0:40	0:40	0:47	0:47	0:53

Tabela H.2: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 18% T4, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 18% T4							
Face 5	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:15	0:50	0:57	0:57	1:10
PS (precoce)	0:00	0:15	0:30	0:30	0:40	0:40	0:50

Execução do revestimento - 18% T4							
Face 6	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:03	0:12	0:36	0:44	0:46	0:52
PS (precoce)	0:00	0:12	0:20	0:20	0:27	0:27	0:35

Execução do revestimento - 18% T4							
Face 7	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:25	0:59	1:06	1:06	1:14
PS (precoce)	0:00	0:25	0:40	0:40	0:45	0:46	0:57

Tabela H.3: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 18% T6, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 18% T6							
Face 9	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:15	0:53	1:04	1:04	1:12
PS (precoce)	0:00	0:15	0:29	0:30	0:45	0:45	0:53

Execução do revestimento - 18% T6							
Face 10	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:18	0:53	1:02	1:02	1:10
PS (precoce)	0:00	0:18	0:35	0:35	0:46	0:47	0:53

Execução do revestimento - 18% T6							
Face 12	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:14	0:24	1:16	1:22	1:22	1:29
PS (precoce)	0:00	0:44	0:54	0:59	1:09	1:09	1:14

Tabela H.4: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 25% T2, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 25% T2							
Face 13	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:18	0:28	1:11	1:18	1:19	1:32
PS (precoce)	0:00	0:28	0:50	0:50	1:03	1:03	1:11

Execução do revestimento - 25% T2							
Face 14	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:22	0:35	1:14	1:20	1:26	1:36
PS (precoce)	0:00	0:37	0:49	0:52	1:04	1:07	1:14

Execução do revestimento - 25% T2							
Face 15	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:04	0:15	0:50	1:00	1:00	1:08
PS (precoce)	0:00	0:15	0:32	0:33	0:39	0:40	0:47

Tabela H.5: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 25% T4, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 25% T4							
Face 17	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:07	0:15	0:57	1:09	1:09	1:17
PS (precoce)	0:00	0:17	0:32	0:36	0:45	0:45	0:57

Execução do revestimento - 25% T4							
Face 18	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:34	0:47	1:15	1:24	1:24	1:35
PS (precoce)	0:00	0:20	0:34	0:49	1:02	1:02	1:13

Execução do revestimento - 25% T4							
Face 19	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:20	1:00	1:12	1:12	1:22
PS (precoce)	0:00	0:20	0:35	0:36	0:49	0:50	0:58

Tabela H.6: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 25% T6, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 25% T6							
Face 21	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:22	0:28	1:06	1:13	1:13	1:24
PS (precoce)	0:00	0:28	0:46	0:47	0:57	0:57	1:06

Execução do revestimento - 25% T6							
Face 22	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:06	0:20	1:05	1:15	1:19	1:30
PS (precoce)	0:00	0:20	0:38	0:42	0:53	0:53	1:03

Execução do revestimento - 25% T6							
Face 23	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:08	0:17	0:57	1:03	1:03	1:15
PS (precoce)	0:00	0:23	0:36	0:36	0:48	0:48	0:57

Tabela H.7: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 32% T2, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 32% T2							
Face 25	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:06	0:17	0:57	1:09	1:09	1:17
PS (precoce)	0:00	0:17	0:39	0:39	0:49	0:49	0:57

Execução do revestimento - 32% T2							
Face 26	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:10	0:23	1:09	1:21	1:23	1:38
PS (precoce)	0:00	0:25	0:42	0:43	0:58	1:05	1:09

Execução do revestimento - 32% T2							
Face 4	Adição do cimento	Início da aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:12	0:56	1:03	1:04	1:15
PS (precoce)	0:00	0:13	0:33	0:34	0:46	0:47	0:56

Tabela H.8: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 32% T4, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 32% T4							
Face 31	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:17	0:55	1:00	1:00	1:10
PS (precoce)	0:00	0:17	0:34	0:34	0:42	0:49	0:55

Execução do revestimento - 32% T4							
Face 8	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:20	0:53	1:06	1:06	1:17
PS (precoce)	0:00	0:23	0:35	0:40	0:49	0:49	0:53

Execução do revestimento - 32% T4							
-	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
-				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	-	-	-	-	-	-	-
PS (precoce)	-	-	-	-	-	-	-

Tabela H.9: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento 32% T6, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento - 32% T6							
Face 29	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:04	0:12	0:42	0:52	0:52	1:07
PS (precoce)	0:00	0:12	0:22	0:22	0:32	0:32	0:41

Execução do revestimento - 32% T6							
Face 30	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:07	0:14	0:47	1:01	1:01	1:17
PS (precoce)	0:00	0:14	0:30	0:30	0:39	0:39	0:47

Execução do revestimento - 32% T6							
Face 11	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:25	0:33	1:21	1:28	1:28	1:43
PS (precoce)	0:00	0:33	0:43	0:45	1:00	1:00	1:13

Tabela H.10: Tempos de sarrafeamento e desempenamento durante a execução do revestimento com argamassa Mista, a partir da adição do cimento à betoneira (h : min).

Execução do revestimento – Mista							
Face 33	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 1				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:13	0:18	0:50	1:10	1:14	1:25
PS (precoce)	0:00	0:18	0:30	0:35	0:48	0:50	1:00

Execução do revestimento – Mista							
Face 34	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 2				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:10	0:24	1:02	1:18	1:20	1:30
PS (precoce)	0:00	0:24	0:37	0:44	0:50	0:50	1:02

Execução do revestimento – Mista							
Face 20	Adição do cimento	Início da Aplicação	Fim da aplicação	Sarrafeamento		Desempenamento	
Betonada 3				Início	Fim	Início	Fim
PI (ótimo)	0:00	0:05	0:18	0:53	1:00	1:05	1:20
PS (precoce)	0:00	0:18	0:27	0:27	0:37	0:37	0:50

ANEXO I

ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

1. Cálculo das variâncias

1.1. Equação

A variância indica o grau de dispersão ou de concentração de probabilidades em torno da média. É dada pela seguinte equação:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{gl}$$

Onde:

σ^2 – variância;

n – número de valores do ensaio;

x_i – valor de cada elemento do espaço amostral;

$\overline{x}$ – média;

gl – graus de liberdade.

1.2. Variância para "Tempo de sarrafeamento precoce"

O grau de liberdade vale 9, pois são 10 tratamentos, sendo gl igual a k-1.

gl = k – 1 = 9

$\overline{x}$ = 0,4161667

σ^2 = 0,14253537037

1.3. Variância para "Tempo de sarrafeamento ótimo"

gl = k – 1 = 9

$\bar{x}$ = 0,445

σ^2 = 0,16398888889

2. Razão entre Variâncias

A **análise de variância** consiste de uma técnica que, basicamente, usa comparações entre variâncias. Para compará-las, calcula-se a razão entre elas. Se o resultado dessa razão estiver próximo da **unidade**, pode-se concluir com certa confiança que elas são iguais. Caso contrário, pode-se indicar que são diferentes. Assim, para o ensaio em questão, tem-se:

$$R = \frac{\sigma_{T.Precoce}}{\sigma_{T.Otimo}} \qquad R = \frac{0{,}14253537037}{0{,}16398888889} = 0{,}8692$$

Portanto, como a razão entre as variâncias dos resultados do ensaio das duas situações, ou seja, para tempo precoce e ótimo de sarrafeamento, é próxima a 1, pode-se considerar que o nível de concentração dos resultados em torno da média é similar.

ANEXO J

VARIAÇÃO DO TEOR TOTAL DE FINOS < 75 μM NAS ARGAMASSAS, DE ACORDO COM O MÉTODO DE ENSAIO UTILIZADO

Tabela J.1: Variação do teor total de finos < 75 μm nas argamassas, de acordo com o método de ensaio utilizado.

Teor de finos pelo laser	Tipo de entulho	Traço 1:9 (cim:ent:areia)	Teor total de finos pelos outros métodos		
			NBR 7219/87	NBR 12826/93	NBR 7181/84
18%	T2	1:1,10:7,90	13%	12%	17%
	T4	1:1,33:7,67	14%	13%	-
	T6	1:1,36:7,64	13%	13%	16%
25%	T2	1:3,10:5,90	18%	17%	21%
	T4	1:3,74:5,26	21%	18%	-
	T6	1:3,82:5,18	20%	18%	20%
32%	T2	1:5,10:3,90	23%	22%	26%
	T4	1:6,20:2,80	28%	23%	-
	T6	1:6,30:2,70	27%	23%	24%

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. et al. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras.** São Paulo, PCC/EPUSP, 1998. Relatório Final: v.1-45p, v.2-592p, v.3-224p, v.4-334p, v.5-189p.

AÏTCIN, P.C.P; NEVILLE, A.M.; ACKER, P. Integrated view of shrinkage deformation. **Concrete International**, v.19, n.9, p.35-41, september, 1997.

ANVI. **Reciclagem do entulho** - ANVI 500 - moinho e argamasseira. Folder. 1997.

ARAÚJO, G.A. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos**. Porto Alegre, 1995. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

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

_____. **Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo – NBR 6467.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica – NBR 6508.** Rio de Janeiro, 1988.

_____. **Cal hidratada para argamassas – NBR 7175.** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **Solo – análise granulométrica - NBR 7181.** Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Projeto de estruturas de madeira - NBR 7190.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Revestimento de paredes e tetos com argamassas - materiais, preparo, aplicação e manutenção – NBR 7200.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Agregado para concreto – NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983.

_____. **Agregados – determinação da composição granulométrica – NBR7217.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregados – determinação do teor de materiais pulverulentos – NBR7219.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregado em estado solto - determinação da massa unitária – NBR 7251.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Argamassa endurecidas para alvenaria estrutural – retração por secagem – NBR 8490.** Rio de Janeiro, 1984a.

_____. **Agregados para concreto – determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis – NBR 9917.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregados – determinação da massa de agregados miúdos por meio do frasco Chapman – NBR 9776.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregados – determinação da absorção de água em agregados miúdos – NBR 9777.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Resíduos sólidos - NBR 10004.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação do índice de finura - NBR 12826.** Rio de Janeiro, 1993.

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

_____. **Argamassas para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água – NBR 13277.** Rio de Janeiro, 1995.

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

_____. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – determinação da resistência de aderência à tração - NBR 13528.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – terminologia - NBR 13529.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação - NBR 13749.** Rio de Janeiro, 1996.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **External rendered finishes - BS 5262.** London, 1976. (Code of practice 221).

BAGLIONI, A.; BONECCHI, M. Building design and recycle. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997**. Proceedings**, Paris, CSTB, 1997. v.1, p.699-704.

BAUER, E.; COSTA, R.A.; OLIVEIRA, S.J. Geração de parâmetros de referência para controle de recebimento de agregados para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. **Anais.** Salvador, ANTAC, 1997. p.87-96.

BERGSTROM, S.G**. Conclusions from the Symposium on Concrete at Early Ages**. RILEM Bulletin, Paris, apr, 1982.

BOILEAU, H.; LACHAMBRE, V.; ACHARD, G. Waste on new building construction sites: existing situation and proposals for a better management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997**. Proceedings**. Paris, CSTB, 1997. v.1, p.717-24.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M.A. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. **Anais.** Salvador, ANTAC, 1997. p.15-25.

BORTOLUZZO, C.W.; LIBÓRIO, J.B.L. Determinação das tensões devido retração impedida em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. **Anais.** Vitória, ANTAC, 1999. p.125-36.

BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulhos. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA

CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 1999. p.56-67.

CABRERA, J.L.A. Morteros de albañilería com escombros de demolición. **Materiales de Construcción**, v.47, n.246, p.43-8, abr/jun, 1997.

CAMARGO, A. Reciclagem: minas de entulho. **Téchne,** v.3, n.15, p.15-18, mar./abr., 1995.

CAMPITELI, V.C.; MASSARETO, R.; RODRIGUES, P.T. Dosagem experimental de argamassas mistas a partir de cal virgem moída. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia, ANTAC, 1995. p.73-82.

CAPOZZI, S. Materiais: fachada paulistana. **Construção**, v.49, n.2540, p.18-9, 1996.

CARASEK, H**. Aderência de argamassas à base de cimento Portland à substratos porosos:** avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. São Paulo, 1996. 285p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CARASEK, H.; SCARTEZINI, L.M.B. Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. **Anais.** Vitória, ANTAC, 1999. p.503-15.

CARNEIRO, A.M.P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** São Paulo, 1999. 170p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT –**Travaux d'enduits aux mortiers de liante hydrauliques** – cahiers des charges. D.T.U. 26.1. Paris, 1978.

CINCOTTO, M.A**. Patologia das argamassas de revestimento** - análise e recomendações. São Paulo, IPT, 1983. (Monografias, 8 – Publicação n. 1252).

CINCOTTO, M.A. Alguns pontos para reflexão e debate. **Obra**, n.96, p.19-20, nov., 1997.

COHEN, M. D.; OLEK, J.; DOLCH, W. L. Mechanism of plastic shrinkage cracking in Portland cement and Portland cement silica-fume paste and mortar**. Cement and concrete research**. v.20, p.103-19, 1990.

COLLANTES CANDIA, M. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. São Paulo, 1998, 198p. + anexos. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

COSTA, R.A.; OLIVEIRA, S.J**. Contribuição à avaliação de desempenho das argamassas de revestimento**. Brasília, 1996. (Estágio Supervisionado).

FREEMAN, L. A.; HARDER, M. K. Environmental impact of transportation during the transfer and disposal of construction and demolition waste to landfill. In:

INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997**.** **Proceedings**, Paris, CSTB, 1997. v.1, p.707-715.

FORMOSO, C.T. et al. Conceitos, classificações e indicadores de controle. **Téchne,** v.4, n.23, p.30-33, jul./ago., 1996.

HAMASSAKI, L.T.; NETO, C.S.; FLORINDO, M.C. Utilization of construction waste in rendering mortar. In: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. - INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION. Dundee, 1996. **Proceedings.** Grã Bretanha, Ravindra & Thomas, 1996. p.115-20.

HENDRICKS, C.F. Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. In: ENVIRONMENTAL ASPECTS OF CONSTRUCTION WITH WASTE MATERIALS. Elsevier, 1994. **Proceedings**. Elsevier, 1994. p.821-34.

HILSDORF, H. Les matériaux de maçonnerie et leurs proprietés physiques. In: STRUCTURES EN MAÇONNERIE. Paris, 1973. **Proceedings**. Paris, 1973. v.27, p.21-39.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO**. Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo, IPT, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO**. Agregado miúdo de argamassa para construção civil**. Especificação ES–5/1981. São Paulo, IPT, 1981.

JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.

KOVLER, K.; FROSTIG, Y. On the problem of cracking in plaster layers. **Construction and Building Materials**, 12, p.251-258, 1998.

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.

LAHUERTA, J.V.; MONTERDE, G.J.C. Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrilho para la actualización de la Norma Básica MV 201-1972; 1.parte: memoria del estudio. **Materiales de Construccion**, v.34, n.196, p.33-41, 1984.

LARA, D. et al. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia, ANTAC, 1995. p.63-72.

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 145p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. São Paulo, 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MACIEL, L.L.; BARROS, M.M.S.B; SABBATINI, F.H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo, EPUSP/PCC, 1998. (Convênio EPUSP/SENAI).

MARTINELLI, F.A**. Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo, 1989. 179p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUTRIES, 5., Florianópolis, 1994. **Proceedings.** Florianópolis, ANTAC, 1994. p.594-607.

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

MIRANDA, L.F.R.; SELMO, S.M.S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. **Anais.** Vitória, ANTAC, 1999. p.295-307.

MORAIS, F.L.; SELMO, S.M.S. **Estudo comparativo de fatores intervenientes na fissuração de revestimentos de argamassa de cimento e cal.** São Paulo, 1999. 89p. (Relatório Final - Iniciação Científica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MORENO, H. O foco ambientalista da construção civil. In: SEMINÁRIO MATERIAIS E DESIGN – INTERFACE NO DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO. São Carlos, 1998. **Anais**. São Carlos, FIESP/UFSCAR/SEBRAE, 1998. p.174-182.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**, 2. ed., São Paulo, Pini, 1997.

NORME EUROPEENNE - **Methodes d'essai pour mortier à maçonner – partie 11:** détermination de la résistance à la flexion et en compression du mortier durci **-**EN-1015. Brussels, 1993.

PAILLÈRE, A.M.; BUIL, M.; SERRANO, J.J. Effect of fibre addition the autogeneous shrinkage of silica fume concrete. **ACI Materials Journal.** v.86, n.2, p.139-44, mar-apr, 1989.

PETRUCCI, H.M.C. et al. Procedimento para levantamento de manifestações patológicas em revestimentos externos em argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. **Anais.** Salvador, ANTAC, 1997. p.334-43.

PINTO, T.P.P**. Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. São Carlos, 1986. 137p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PINTO, T.P.P. Resultados da gestão diferenciada. **Téchne,** v.5, n.31, p.31-34, nov./dez., 1997.

PINTO, T.P.P**. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Carlos, 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede**. Porto Alegre, 1985. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[a]RUCH, M.; SCHULTMANN, F.; SINDT, V.; RENTZ, O. Selective dismantling of buildings: state of the art and new developments in Europe. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997**. Proceedings.** Paris, CSTB, 1997. v.1, p. 433-40.

[b]RUCH, M.; SCHULTMANN, F.; SINDT, V.; RENTZ, O. Strategies for the quality improvement of recycling materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997. **Proceedings**, Paris, CSTB, 1997. v.1, p. 611-18.

SABBATINI; F. H.; SELMO, S.M.S**. Diretrizes para a produção e controle de dosagem das argamassas de assentamento e revestimento.** São Paulo, EPUSP/PCC, 1989. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.CeE).

SABBATINI, F. H.; SELMO, S.M.S; ARAÚJO, M.S. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos.** São Paulo, EPUSP/PCC, 1988. (Convênio EPUSP/ENCOL, Projeto EP/EN-01, Documento 1.F).

SANTIN, E. Tijolo por tijolo, num desenho mágico. **Téchne,** v.4, n.23, p.18-24, jul./ago., 1996.

SELMO, S.M.S. Agregados miúdos para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO: AGREGADOS, 1., São Paulo, 1986. **Anais**. São Paulo, EPUSP, 1986. p.27-43.

SELMO, S.M.S. Prevenção de patologias em revestimentos externos de argamassa dos edifícios: a importância dos serviços de manutenção. IN: SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES: PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO, Porto Alegre, 1989. **Anais**. Porto Alegre, UFRGS, 1989. p.195-212.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. São Paulo, 1989. 202p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SELMO, S.M.S.; BUCHER, H.R.E. O saibro na formulação de argamassas de assentamento e revestimento: contribuição ao estabelecimento de critérios para dosagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 2., São Paulo, 1990. **Anais.** São Paulo, ABCP, 1990. v.2, p.477-96.

SELMO, S.M.S**. Revestimentos de argamassas de paredes e tetos de edifícios: projeto, execução e manutenção.** São Paulo, ABCP, 1996. (Apostilas e Anexos de

laboratório do Curso Intensivo de Argamassas de Assentamento e Revestimento – CIARE).

SELMO, S.M.S.; MORAIS, F.L.; TAKEASHI, M. Estudo da fissuração em revestimentos de argamassa mista com traço padrão e diferentes condições de preparo e aplicação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., Vitória, 1999. **Anais.** Vitória, ANTAC, 1999. p.461-75.

SILVA, A.S.R. et al. Argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. **Anais**. Salvador, ANTAC, 1997. p.203-07.

SIMONS, B.P.; HENDERIECKX, F. Guidelines for demolition with respect to the reuse of building materials: guidelines and experiences in Belgium. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY, 3., Odense, 1994. **Proceedings.** London, E & FN Spon, 1994. p.25-34. (RILEM Proceedings, 23).

SIQUEIRA, N.M., SELMO, S.M.S. Estudo de caso de revestimentos externos de argamassas mistas e de cimento com solo fino beneficiado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., Goiânia, 1995. **Anais**. Goiânia, ANTAC, 1995. p.271-82.

SOUZA, U. E. L. de; FRANCO, L.S. **Subsídios para a opção entre: elevador ou grua, andaime fachadeiro ou balancim, argamassa industrializada ou produzida em obra**. São Paulo, EPUSP, 1997. (Boletim Técnico 176).

TANESI, J. **A influência das fibras de polipropileno no controle da fissuração por retração.** São Paulo, 1999. 132p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo, ed. Pini, EPUSP/IPT, 1989.

TECHNICAL DATA. Plastic cracking. **Concrete**, p.21-24, jan./feb., 1994.

UNIKOWSKI, Z. R. **Influence des argiles sur les propriétés des mortiers de ciment.** Paris, LCPC, 1982.

WITTMAN, F. H. On the action of Capillary Pressure in Fresh Concrete. **Cement and Concrete Research**, v.6, n.1, p.49-56, jan., 1976.