

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS
CONSTITUINTES NO DESEMPENHO DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Autor: João Marcelo Couri de Freitas

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador: Prof. Ph.D. Paulo Roberto Gomes Brandão

Belo Horizonte

2007

João Marcelo Couri de Freitas

**INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS
CONSTITUINTES NO DESEMPENHO DE
ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador:

Prof. Ph.D. Paulo Roberto Gomes Brandão

Belo Horizonte

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil: Materiais de Construção

Dissertação intitulada “Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento”, de autoria do mestrando João Marcelo Couri de Freitas, defendida em 30 de março 2007 e submetida à banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Orientador - Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Ph.D. Paulo Roberto Gomes Brandão
Co-Orientador - Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes
Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Ms.C. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
FUMEC

A Deus.

A minha família.

A Mara.

AGRADECIMENTOS

Nesta breve mensagem tentarei expressar toda minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a obtenção do valoroso título de Mestre em Construção Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Agradeço a Deus, por tudo e mais um pouco.

Aos meus queridos pais, Evaristo e Ângela, e minhas irmãs, Cláudia e Carolina, que me proporcionam a oportunidade de ser o que sou, muito mais do que qualquer um possa imaginar.

Ao meu grande amor Mara, pelo amor maior que eu.

Ao Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior, por sempre acreditar na minha força, por ser meu espelho acadêmico e profissional de Engenharia, e pela amizade verdadeira.

Ao Prof. Paulo Brandão pelo apoio, pela experiência acadêmica e pela lição de humildade.

A todos os colegas e professores do Departamento de Materiais e Construção que estiveram presentes e contribuíram para a conclusão desta Dissertação. Aos funcionários do DEMC e a todos que colaboraram, diretamente ou indiretamente, para a conclusão deste trabalho.

À Indústria Mineira de Argamassas Ltda. (IMAR), na pessoa do Diretor Antônio Carlos Pena Pereira e demais membros da empresa, pela atenção e pelo apoio incondicional desde sempre.

À Paranas Engenharia e Comércio S.A., por me acolher e reconhecer o meu valor e minha qualificação.

Aos gerentes de laboratório, laboratoristas, funcionários e bolsistas Tereza Cristina, Débora, Antônio Carlos Machado, Ricardo Antônio Barbosa, Isabel de Souza Batista Carvalho, Roberto Couceiro Lois e Felipe Augusto Canesso, pela boa vontade e disposição na extração, no preparo das amostras e na realização dos testes.

A Cerâmica Braúnas Ltda., pela doação dos blocos cerâmicos utilizados nos experimentos.

RESUMO

O presente trabalho avaliou a aplicação de argamassas multiuso sobre bases de alvenaria de bloco cerâmico sem aplicação do chapisco. Este estudo procurou comparar o desempenho das argamassas com areia calcária e natural sendo uma argamassa industrializada calcária (aditivada) e dois traços convencionais (sem aditivação) com areia calcária e natural quartzosa. A pesquisa consistiu na aplicação destes traços sobre painéis de alvenaria cerâmica, nas mesmas condições de aplicação em obra. As mesmas argamassas utilizadas no revestimento foram analisadas em testes laboratoriais.

A parte instrumental contemplou as avaliações físicas e mecânicas (no estado fresco e endurecido) e microestruturais (por microscopia eletrônica de varredura/microanálise e por fluorescência de raios-X) das argamassas e do bloco cerâmico.

A argamassa industrializada com material calcário teve o melhor desempenho, segundo avaliação de suas propriedades macro e microestruturais, onde se observou a penetração dos produtos oriundos da hidratação do cimento no bloco cerâmico de forma eficaz na profundidade de 0,5mm.

Palavras-chave: argamassa, areia calcária, areia natural, aditivo.

ABSTRACT

The application of multiuse mortars on top of brick masonry substrates, without the use of prepare mortar, has had an increasing utilization in civil construction. This study aimed in comparing the bond performance of mortars using artificial limestone and natural quartz sands; one of the limestone mortars was an industrial product with a surfactant additive; the other mortars had each limestone and quartz sand, without additive. The research comprised the application of these mixes on top of ceramic masonry panels, under the same practical construction conditions. The same mortars used in the coatings have been used in laboratory tests.

Physical and mechanical, in the fresh and hardened conditions, and microstructure evaluations, by scanning electron microscopy/microanalysis and X-ray fluorescence analysis, have been carried out on the three mortars and the bricks used.

The industrial limestone mortar showed the best bond performance, by the macro and microstructure properties determined. The latter research showed the penetration of hydration cement products within the bricks until the 0.5mm thickness, in a very efficient manner.

Keywords: mortar, limestone sand, quartz sand, additive.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVO.....	24
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1 Materiais.....	25
3.1.1 Alvenaria	25
3.1.1.1 Bloco cerâmico	25
3.1.1.1.1 Definição	25
3.1.1.2 Argamassa de assentamento da alvenaria	26
3.1.2 Revestimento argamassado: componentes.....	26
3.1.2.1 Cimento Portland	27
3.1.2.1.1 Definição	27
3.1.2.1.2 Matéria-prima.....	27
3.1.2.1.3 Composição química.....	28
3.1.2.1.4 Tipos de cimento	29
3.1.2.1.4.1 Cimento Portland comum	30
3.1.2.1.4.2 Cimento Portland composto.....	31
3.1.2.1.4.3 Cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos	31
3.1.2.2. Principais agregados	32
3.1.2.2.1 Características do agregado miúdo	34
3.1.2.2.1.1 Granulometria	35
3.1.2.2.1.2 Módulo de finura.....	36
3.1.2.2.1.3 Forma dos grãos	36
3.1.2.2.2 Propriedades mecânicas dos agregados miúdos.....	37
3.1.2.2.2.1 Inchamento	37
3.1.2.2.2.2 Higroscopia	37
3.1.2.2.2.3 Coesão aparente	38
3.1.2.2.2.4 Friabilidade	38
3.1.2.2.2.5 Impurezas	38
3.1.2.2.3 Tipos de agregados miúdos.....	39
3.1.2.2.3.1 Agregado miúdo natural.....	39
3.1.2.2.3.1.1 Definição	39
3.1.2.2.3.1.2 Obtenção	40
3.1.2.2.3.2 Agregado miúdo artificial	40
3.1.2.2.3.2.1 Definição	41
3.1.2.2.3.2.2 Obtenção	42
3.1.2.2.4 Características da areia natural e da areia artificial.....	43
3.1.3 Identificação pelo tipo ou fornecimento da argamassa	47
3.1.3.1 Argamassa preparada canteiro de obras com areia natural	47
3.1.3.2 Argamassa preparada canteiro de obras com areia artificial.....	48
3.1.3.3. Argamassa industrializada com areia artificial (ensacada).....	48
3.2 Técnicas para confecção e aplicação dos revestimentos argamassados.....	49
3.2.1 Preparo da argamassa.....	49
3.2.2 Preparo da base de revestimento	49
3.3 Exemplos de traços de argamassas	50
3.4 Métodos de investigação e análise microestrutural.....	51

3.4.1 Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)	52
3.4.2 Difração de raios-X (DRX)	53
3.4.3 Microscópio eletrônico de varredura	55
3.4.4. Microanalisador EDS	57
4 METODOLOGIA	59
4.1 Seleção dos materiais, composição das argamassas e variação das bases	59
4.1.1 Componentes da alvenaria	59
4.1.2 Cimento	59
4.1.3 Areia	59
4.2 Combinações de traços e materiais	60
4.3 Execução dos painéis de alvenaria (painéis-teste)	63
4.4 Aplicação das argamassas de revestimento nos painéis-teste	65
4.5 Metodologia de obtenção de amostras para as análises macro e microestrutural	67
4.6 Ensaio de caracterização dos blocos	68
4.6.1 Caracterização microestrutural do bloco cerâmico	68
4.6.2 Ensaio de caracterização física do bloco cerâmico	69
4.6.2.1 Absorção de água do bloco cerâmico	69
4.6.2.2. IRA (<i>initial rate of absorption</i>) do bloco cerâmico	69
4.6.2.3 Área superficial específica: adsorção de nitrogênio (BET)	70
4.6.2.4 Massa específica: análise de densidade por picnômetro a hélio	71
4.7 Ensaio de caracterização da argamassa no estado fresco	71
4.7.1 Consistência	71
4.7.2 Retenção de água	72
4.7.3 Massa específica e ar incorporado	73
4.8 Ensaio de caracterização da argamassa no estado endurecido	75
4.8.1 Resistência à compressão	75
4.8.2. Módulo de elasticidade dinâmico	75
4.9 Ensaio de caracterização da argamassa aplicada sobre a base	77
4.9.1 Resistência de aderência à tração	77
4.9.2 Permeabilidade à água	78
4.10 Avaliações microestruturais no sistema argamassa/ substrato	79
4.10.1 Análise com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e o microanalisador EDS	79
4.10.2 Análise por fluorescência de raios-X (FRX)	80
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	84
5.1 Absorção de água no bloco cerâmico	84
5.2 IRA (<i>initial rate of absorption</i> : ensaio de absorção inicial) - bloco cerâmico	85
5.3 Massa específica: análise de densidade por picnômetro a hélio na amostra do bloco cerâmico	87
5.4 Área superficial específica - adsorção de nitrogênio (BET) na amostra de bloco cerâmico	87
5.5 Espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) na amostra de bloco cerâmico ..	88
5.6 Difração de raios-X (DRX) na amostra de bloco cerâmico	88
5.7 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) na amostra do bloco cerâmico	88
5.8 Microanalisador EDS (espectrômetro de raios-X dispersivo em energia) no bloco cerâmico	94
5.9 Resultados dos ensaios de caracterização dos aglomerantes	95
5.9.1 Ensaio de caracterização do cimento	95

5.10. Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados	96
5.10.1. Ensaio de caracterização da areia	97
5.10.1.1 Areia natural.....	97
5.10.1.2 Areia artificial	99
5.11 Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado plástico	100
5.11.1 Consistência	100
5.11.2. Retenção de água.....	102
5.11.3 Massa específica.....	103
5.11.4 Teor de ar incorporado	103
5.12 Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido....	104
5.12.1 Resistência à compressão.....	105
5.12.2 Módulo de elasticidade dinâmico.....	105
5.13 Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base....	107
5.13.1 Resistência de aderência à tração da argamassa segundo a NBR 13528	107
5.13.2 Permeabilidade à água	109
5.14 Resultados das análises de caracterização microestrutural no conjunto argamassa substrato	114
5.14.1 Análises utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e microanalisador EDS no conjunto argamassa/substrato	114
5.14.1.1 Argamassa de reboco pronto (industrializada).....	114
5.14.1.2 Argamassa 1:7 (cimento: areia artificial calcária)	117
5.14.1.3 Argamassa 1:7 (cimento: areia natural quartzosa calcária).....	120
5.14.2. Análise utilizando-se a fluorescência de raios-X (FRX) no conjunto argamassa/substrato.....	122
5.15 Combinação dos resultados.....	124
 6 CONCLUSÃO	 127
 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	 129
 8 REFERÊNCIAS.....	 130
 ANEXO I - Observações a respeito dos procedimentos de aplicação das argamassas nos painéis de alvenaria.....	 137
 ANEXO II - Planilha dos valores de módulo de elasticidade das argamassas	 146
 ANEXO III – Planilhas dos testes de resistência de aderência à tração	 150
 ANEXO IV - Imagens dos espectros e resultados gerados pelo programa de computador na análise realizada no microanalisador EDS	 159
 ANEXO VI – Gráficos dos resultados das análises no estado fresco e endurecido	 163

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PADRÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DO FORMATO DOS GRÃOS (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).....	37
FIGURA 2 - AMOSTRAS DAS FRAÇÕES DAS AREIAS E LUPA COM CÂMERA DIGITAL ACOPLADA (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).....	45
FIGURA 3 - IMAGENS OBTIDAS ATRAVÉS DA LUPA (FRAÇÃO 1,2MM) (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).....	46
FIGURA 4 - IMAGENS OBTIDAS COM CÂMERA FOTOGRÁFICA DIGITAL (FRAÇÕES 2,4 E 4,8 MM) (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).....	46
FIGURA 5 - APARELHO PARA A REALIZAÇÃO DA ESPECTROMETRIA DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X (FRX).....	53
FIGURA 6 - APARELHO PARA A REALIZAÇÃO DA DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX).....	54
FIGURA 7 - DIFRAÇÃO DE RAIOS-X POR UM CRISTAL (PADILHA; AMBROSIO FILHO APUD CARVALHO JR., 2005).	55
FIGURA 8 - PROCESSOS DE INTERAÇÃO POSSÍVEIS DURANTE A INCIDÊNCIA DE UM FEIXE DE ELÉTRONS EM UMA AMOSTRA SÓLIDA (BRANDÃO APUD CARVALHO JR, 2005).	56
FIGURA 9 - PRINCIPAIS CONSTITUINTES DO EDS (EM CONJUNTO COM FEIXE DE ELÉTRONS INCIDENTES E RAIOS-X EMITIDOS PELA AMOSTRA) (BRANDÃO APUD CARVALHO JR, 2005).	58
LEGENDA:	58
FIGURA 10 - CROQUIS DOS PAINÉIS DE ALVENARIA EXECUTADOS.	61
FIGURA 11 - CROQUI DA AMOSTRA RETIRADA DO PAINEL PARA PREPARO DA AMOSTRA UTILIZADA NA AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL.	62
FIGURA 12 - DETALHE DA AMOSTRA RETIRADA PARA ANÁLISE DO CONJUNTO ARGAMASSA/SUBSTRATO.	62

FIGURA 13 - INÍCIO DA EXECUÇÃO DA ALVENARIA PARA REVESTIMENTO ARGAMASSADO SOBRE BASE CERÂMICA (SEM CHAPISCO).....	64
FIGURA 14 - EXECUÇÃO DA ALVENARIA PARA REVESTIMENTO ARGAMASSADO SOBRE BASE CERÂMICA (SEM CHAPISCO).....	64
FIGURA 15 - PAINEL PARA REVESTIMENTO ARGAMASSADO SOBRE BASE CERÂMICA	64
(SEM CHAPISCO).....	64
FIGURA 16 - PAINÉIS PRONTOS PARA APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO (SEM CHAPISCO).....	65
FIGURA 17 - COLOCAÇÃO DOS PONTOS PARA ESPESSURA DO REVESTIMENTO ARGAMASSADO (SEM CHAPISCO).....	65
FIGURA 18 - APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO (SEM CHAPISCO).....	65
FIGURA 19 - REGULARIZAÇÃO DA ARGAMASSA APÓS O SARRAFEAMENTO DA ARGAMASSA.....	66
FIGURA 20 - PAINEL DE REVESTIMENTO SARRAFEADO E DESEMPENADO LISO.	66
FIGURA 21 - VISÃO FINAL DO PAINEL PRONTO PARA OS TESTES NO ESTADO ENDURECIDO.	66
FIGURA 22 - CORTE DO CP PARA ARRANCAMENTO E AMOSTRAS DOS PAINÉIS PRONTOS PARA OS TESTES NO ESTADO ENDURECIDO.	67
FIGURA 23 - VISÃO DA INTERFACE ARGAMASSA/SUBSTRATO A SER ESTUDADA.	67
FIGURA 24 - COLAGEM DAS PLACAS PARA O TESTE DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO.	67
FIGURA 25 - PAINÉIS PRONTOS PARA EXECUÇÃO DOS TESTES DE ARRANCAMENTO E EXTRAÇÃO DOS TESTEMUNHOS PARA AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL.....	68
FIGURA 26 - TESTE DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA.....	78

FIGURA 27 - REALIZAÇÃO DE LEITURA DO ENSAIO NO PESCOÇO GRADUADO DO CACHIMBO.....	78
FIGURA 28 - AMOSTRAS APÓS REDUÇÃO NO GABARITO COM MAQUITA (NÃO-METALIZADAS).....	79
FIGURA 29 - SEPARAÇÃO DA AMOSTRA ENTRE O REVESTIMENTO ARGAMASSADO E O BLOCO CERÂMICO.	80
FIGURA 30 - SUPERFÍCIE DO BLOCO CERÂMICO DA AMOSTRA (PARA ANÁLISE NO MEV) APÓS A RETIRADA DO REVESTIMENTO ARGAMASSADO.	80
FIGURA 31 - CP A SER LIXADO (CARVALHO JR., 2005).....	81
FIGURA 32 - ESQUEMA DAS SEÇÕES A SEREM MEDIDAS PARA A RETIRADA DA CAMADA A SER ANALISADA E CONTROLE DE PROFUNDIDADE DE LIXAMENTO.	81
FIGURA 33 - LOCAL DA RETIRADA DAS AMOSTRAS POR LIXAMENTO (FAIXA DE PENETRAÇÃO - 0,5 MM).....	81
FIGURA 34 - LIXAMENTO DA SUPERFÍCIE DA AMOSTRA.	82
FIGURA 35 - MATERIAL PROVENIENTE DO LIXAMENTO DA AMOSTRA.....	82
FIGURA 36 - MEDIDAS SUCESSIVAS DA ESPESSURA DA AMOSTRA PARA AVALIAÇÃO DA ESPESSURA DA CAMADA RETIRADA POR LIXAMENTO.....	82
FIGURA 37 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FACE EXTERNA (SEÇÃO LONGITUDINAL). IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.	89
FIGURA 38 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FACE EXTERNA (SEÇÃO LONGITUDINAL). IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.	90
FIGURA 39 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FACE EXTERNA (SEÇÃO LONGITUDINAL). IMAGEM DE ELÉTRONS RETROESPALHADOS.	90
FIGURA 40 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FACE EXTERNA (SEÇÃO LONGITUDINAL). IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.	91

FIGURAS 41 E 42 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FACE EXTERNA (SEÇÃO LONGITUDINAL), COM DETALHES DOS POROS. IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.....	92
FIGURA 43 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FRATURA (SEÇÃO TRANSVERSAL). IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS. OS NÚMEROS INDICAM MINIÁREAS SUBMETIDAS A MICROANÁLISE EDS.....	93
FIGURA 44 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FRATURA (SEÇÃO TRANSVERSAL). IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.	93
FIGURA 45 - FOTOMICROGRAFIA DO SUBSTRATO CERÂMICO, FRATURA (SEÇÃO TRANSVERSAL), DETALHE DE ÁREA COM TOPOGRAFIA IRREGULAR E PRESENÇA DE POROS. IMAGEM DE ELÉTRONS SECUNDÁRIOS.	94
FIGURA 46 - AMOSTRA RETIRADA APÓS TESTE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	107
FIGURA 47 - COMPARATIVO DOS PONTOS ANALISADOS DA PERMEABILIDADE NO REBOCO PRONTO.	110
FIGURA 48 - COMPARATIVO DOS PONTOS ANALISADOS DA PERMEABILIDADE NA ARGAMASSA 1:7 (CIMENTO/AREIA ARTIFICIAL).....	111
FIGURA 49 - COMPARATIVO DOS PONTOS ANALISADOS DA PERMEABILIDADE NA ARGAMASSA 1:7 (CIMENTO/AREIA NATURAL).	112
FIGURA 50 - FOTOMICROGRAFIA DA INTERFACE BLOCO CERÂMICO / REBOCO PRONTO (ÁREA ONDE HÁ INTENSO AGULHAMENTO NA FACE DO SUBSTRATO). MEV-IES....	114
FIGURA 51 – FOTOMICROGRAFIA DO BLOCO CERÂMICO PRÓXIMO À INTERFACE JUNTO AO REBOCO PRONTO (VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DO REBOCO PRONTO) MEV-IES/EDS.	115
FIGURA 52 - FOTOMICROGRAFIA DO BLOCO CERÂMICO: CAVIDADE ONDE HÁ AGULHAMENTO INTENSO (VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DO REBOCO PRONTO). EVIDÊNCIA DE INTERCONEXÃO DE POROS, COMO JÁ SE VIU NA ANÁLISE DO BLOCO CERÂMICO PURO. MEV-IES.....	116
FIGURA 53 - FOTOMICROGRAFIA DA FACE BLOCO CERÂMICO (VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DO REBOCO PRONTO). DETALHE DAS FITAS DE ETRINGITA. MEV-IES/EDS.	116

- FIGURA 54 – FOTOMICROGRAFIA COM VISÃO GERAL DA FACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA CALCÁRIA) -VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DA ARGAMASSA CONVENCIONAL. MEV-IES..... 117
- FIGURA 55 – ESTA FOTOMICROGRAFIA É UMA AMPLIAÇÃO DA IMAGEM ANTERIOR: FACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA CALCÁRIA) - VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DA ARGAMASSA CONVENCIONAL. MEV-IES. 118
- FIGURA 56 - FOTOMICROGRAFIA DA FACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA CALCÁRIA) -VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DA ARGAMASSA CONVENCIONAL. MEV-IES..... 118
- FIGURA 57 - FOTOMICROGRAFIA DA INTERFACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA NATURAL); VISTA FRONTAL DO BLOCO CERÂMICO APÓS A RETIRADA DA ARGAMASSA CONVENCIONAL. MEV-IES..... 120
- FIGURA 58 - FOTOMICROGRAFIA DA FACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA NATURAL); VISTA FRONTAL, COM AUMENTO MAIOR, APÓS A RETIRADA DA ARGAMASSA CONVENCIONAL. MEV-IES..... 121
- FIGURA 59 - FOTOMICROGRAFIA DA FACE BLOCO CERÂMICO / 1:7 (CIMENTO:AREIA NATURAL); VISTA FRONTAL, COM AUMENTO MÉDIO, PRÓXIMA A UMA CAVIDADE ONDE HOUE CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS PROVENIENTES DA HIDRATAÇÃO DO CIMENTO. MEV-IES. 121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TIPOS DE CIMENTO PORTLAND	30
TABELA 2 – TIPOS DE CIMENTO - CP III E IV	31
TABELA 3 - LIMITES GRANULOMÉTRICOS DE ACORDO COM A NBR 7211	35
TABELA 4 - SUGESTÕES DE TRAÇOS DE ARGAMASSAS	50
TABELA 5 - ANÁLISE - EDS DA FACE DO BLOCO CERÂMICO	51
TABELA 6 - MATRIZ DE TRABALHO	60
TABELA 7 - TEOR DE AR INCORPORADO DE ARGAMASSAS E CIMENTOS	74
TABELA 8 - POTENCIAL DE FISSURAÇÃO DAS ARGAMASSAS	76
TABELA 9 - ABSORÇÃO DE ÁGUA DO BLOCO CERÂMICO SEGUNDO A NBR 8947	84
TABELA 10 - IRA BLOCO CERÂMICO - ASTM C67-97 FACE DE ASSENTAMENTO	85
TABELA 11 - IRA BLOCO CERÂMICO - ASTM C67-97 FACE DE REVESTIMENTO	86
TABELA 12 - ANÁLISE DE DENSIDADE POR PICNÔMETRO A GÁS.....	87
TABELA 13 - EDS, PONTOS 1, 2 E 3 DA FIGURA 45	95
TABELA 14 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO	96
TABELA 15 - RESULTADOS DE ANÁLISE DA AREIA NATURAL.....	97
TABELA 16 - RESULTADOS DE ANÁLISE DA AREIA CALCÁRIA.....	99
TABELA 17 - ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA PADRÃO SEGUNDO A NBR 13277	100
TABELA 18 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA SEGUNDO FINALIDADE DAS ARGAMASSAS ...	102

TABELA 19 - RETENÇÃO DE ÁGUA SEGUNDO NBR 13277	102
TABELA 20 - MASSA ESPECÍFICA SEGUNDO A NBR 13278	103
TABELA 21 - TEOR DE AR INCORPORADO SEGUNDO NBR 13278.....	104
TABELA 22 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SEGUNDO A NBR 13279.....	105
TABELA 23 - VALORE DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE DINÂMICO.....	106
TABELA 24 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO SEGUNDO NBR 13528.....	108
TABELA 25 - RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO VALORES DA NBR 13749.....	109
TABELA 26 - PERMEABILIDADE NO REBOCO PRONTO - CSTC.....	110
TABELA 27 - PERMEABILIDADE 1:7 (CIMENTO/AREIA ARTIFICIAL).....	111
TABELA 28-PERMEABILIDADE 1:7 (CIMENTO/AREIA NATURAL).....	112
TABELA 30 - MICROANÁLISES EDS, PONTOS 1, 2 E 3 DA FIG. 53.....	117
TABELA 31 - MICROANÁLISES EDS, PONTOS 1 E 2 DA FIG. 56	119
TABELA 32 - MICROANÁLISES EDS, PONTOS 1 E 2 DA FIG. 57	120
TABELA 33 – ANÁLISE POR FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	122
TABELA 34 - ANÁLISES ARGAMASSAS ESTUDADAS NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.	124

LISTA DE NOTAÇÕES

ALFABETO LATINO

- . A: leitura efetuada numa idade qualquer
- . B: leitura efetuada após a desforma
- . C_1 : constante dependente diretamente da tensão superficial e da densidade da água e inversamente proporcional à sua viscosidade dinâmica. d: distância interplanar em difração de raios-X
- . E: módulo de elasticidade dinâmico
- . F: frequência de ressonância
- . g: aceleração da gravidade
- . L: comprimento do CP
- . N: número de poros capilares na superfície analisada
- . P: peso volumétrico
- . R: raio médio do conjunto de poros capilares

ALFABETO GREGO

- . $\frac{\Delta l}{l}$: retração
- . γ_{arg} : massa específica da argamassa
- . ϵ : expansão (se +) ou retração (se -) por secagem
- . λ : lambda
- . v: velocidade de propagação do som
- . ρ : massa específica
- . Σ : somatório
- . θ : teta

ABREVIATURAS

- . ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland
- . ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
- . Af: Área da face de revestimento do componente

- . ASTM: American Society for Testing and Materials
- . CP I – S: Cimento Portland com adição
- . CP I: Cimento Portland comum
- . CP II – E: Cimento Portland com escória
- . CP II – F: Cimento Portland com filler
- . CP II – Z: Cimento Portland com pozolana
- . CP II: Cimento Portland composto
- . CP II-E-32: Cimento Portland com escória e classe de resistência de 32 MPa
- . CP III: Cimento Portland de Alto-Forno
- . CP IV: Cimento Portland Pozolânico
- . CP V ARI–RS: Cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos
- . CP V: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
- . CP: Corpo de prova
- . CSTB: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- . CSTC: Centre Scientifique et Technique de la Construction
- . DRX: Difração de raios-X
- . *E*: Módulo de Young
- . E_d : Módulo de elasticidade dinâmico
- . EDS: Energy dispersive spectrometer (espectrômetro dispersivo em energia)
- . EDXRF: Energy dispersive X-ray fluorescence
- . EE.UFMG: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais
- . FRX: Espectrometria de fluorescência de raios-X
- . IES: Imagem obtida por elétrons secundários
- . IRA: Initial rate of absorption – ensaio de absorção inicial
- . m_1 : Massa do corpo de prova seco
- . m_2 : Massa do corpo de prova em estado saturado em água
- . ME – Massa específica
- . MED – Módulo de elasticidade dinâmico
- . MET: Microscopia eletrônica de transmissão
- . MEV: Microscópio eletrônico de varredura (ou microscopia eletrônica de varredura)
- . M_f : Massa do conjunto de discos molhados de papel filtro
- . M_f : Massa final do componente
- . M_m : Massa do molde vazio
- . M_{ma} : Massa do molde cheio de argamassa

- . MO: Microscopia ótica
- . Mse: Massa do componente após secagem em estufa
- . Msc: Massa do conjunto de discos secos
- . Mw: Massa total de água acrescentada a mistura
- . NBR: Norma Brasileira
- . PA – Permeabilidade à água
- . r_0 : Distância de equilíbrio
- . RA – Retenção de água
- . Ra: Retenção de água
- . RC – RESISTÊNCIA à compressão
- . relação a/c: relação água/cimento
- . RT – Resistência à tração
- . TAI – Teor de ar incorporado
- . UR: Umidade relativa
- . Vm: Volume do molde

UNIDADES

- . Å: angstrom
- . cm^2 : centímetro quadrado
- . cm^3 : centímetro cúbico
- . dm^3 : decímetro cúbico
- . eV: elétron-volt
- . g: grama
- . g/cm^2 : grama por centímetro quadrado
- . g/dm^3 : grama por decímetro cúbico
- . keV: quiloelétron-Volt
- . kgf/cm^2 : quilograma força por centímetro quadrado
- . km/h: quilômetro por hora
- . m: metro
- . m^2 : metro quadrado
- . m/s^2 : metro por segundo ao quadrado
- . mm: milímetro
- . mm/m: milímetro por metro

- . N: newton
- . nm: nanometro
- . N/mm^2 : newton por milímetro quadrado
- . N/m^3 : newton por metro cúbico
- . MPa: megapascal
- . μm : micrometro
- . #: mesh (malha de peneira)

SÍMBOLOS E COMPOSTOS QUÍMICOS

- . CaCO_3 : carbonato de cálcio (calcita)
- . CaO : óxido de cálcio
- . 2CaO.SiO_2 (ou C_2S): silicato dicálcico
- . 3CaO.SiO_2 (ou C_3S): silicato tricálcico
- . $3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$ (ou C_3A): aluminato tricálcico
- . $3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$: trissulfo-aluminato de cálcio hidratado (ou etringita)
- . Ca(OH)_2 : hidróxido de cálcio (portlandita)
- . CSH: silicato de cálcio hidratado

1 INTRODUÇÃO

As argamassas utilizadas nos canteiros de obras para revestimento de alvenaria têm em sua composição básica os aglomerantes cal e cimento, somados à quantidade necessária do agregado areia. Além do usual, na cadeia produtiva da construção civil podem-se usar diversas opções de aglomerantes, aglutinantes, agregados e aditivos para a confecção de argamassas de revestimento. Assim como a composição pode ser dosada no canteiro de obras, existem as argamassas industrializadas, que já possuem em sua formulação todos esses itens com controle de qualidade e incremento de aditivos específicos, bem como as especificações para sua correta utilização.

O estudo da ação dos constituintes nas argamassas de revestimento e a substituição do agregado natural pelo artificial podem influenciar as propriedades mecânicas, alterar a fluidez da pasta e, conseqüentemente, incrementar a condição de penetração nos poros da base da alvenaria cerâmica. Essa avaliação possibilita não apenas alterar a constituição das argamassas para melhorar seu desempenho, mas também reduzir seja a ocorrência de patologias nos revestimentos, seja o desperdício de materiais, seja o retrabalho.

O comportamento das argamassas aplicadas diretamente sobre o substrato depende tanto das suas características em contato com a base quanto da composição do substrato em que foi aplicada.

A aderência da argamassa à base (uma das mais importantes propriedades considerando-se a ligação entre esses materiais) pode ser definida como a capacidade que da interface componente-argamassa de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem se romper.

Segundo Carvalho Jr. (2005), a relação entre a penetração da pasta no poro do substrato pode ser a ferramenta de avaliação do desempenho das argamassas aplicadas sobre a alvenaria. Por isso, o entendimento da composição do traço levando em conta a quantidade de aditivos, adições e a otimização da formulação constitui a variável a ser analisada. Desse modo, ao se estipular uma formulação ideal e substituir o componente inerte (agregado), chega-se ao ponto ideal de resistência da argamassa.

De acordo com Sabatini (2000), para apresentar boa performance, as argamassas de revestimento precisam ter características adequadas tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. De posse dos resultados dos ensaios que permitam identificar suas características físicas e mecânicas, pretende-se definir uma composição técnica e economicamente viável.

Numa análise macro, a aderência pode ser avaliada através do ensaio de resistência de aderência à tração. Já numa análise microscópica, pode-se definir o sistema de aderência mecânico de uma argamassa à base como o resultado do intertravamento de produtos da hidratação do cimento (tais como a etringita) nas irregularidades da interface como substrato. Este trabalho avaliou a influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas e suas interferências na fluidez da pasta, na penetração nos poros da alvenaria e na resistência de aderência à tração.

Além dos testes de resistência à tração, foram realizados todos os ensaios inerentes a uma completa caracterização dos traços propostos, a fim de apresentar desempenho satisfatório tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

2 OBJETIVO

Avaliar, através de análises macro e microestruturais, a influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassas de revestimento (com e sem aditivos) em traços pré-estabelecidos utilizando-se areia natural e areia artificial (proveniente de rochas britadas de calcário) e cimento como aglomerante.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Materiais

O estudo dos constituintes desta pesquisa se torna necessário para se entender melhor a relação dos materiais utilizados na parte experimental e para se conhecer o universo de variantes relacionadas com os materiais de construção.

3.1.1 Alvenaria

O elemento de alvenaria utilizado foi o bloco cerâmico de vedação, uma vez que este estudo se refere ao entendimento da influência dos constituintes da argamassa e o que isso influencia no contato argamassa / substrato.

3.1.1.1 Bloco cerâmico

3.1.1.1.1 Definição

O bloco cerâmico é definido como componente de alvenaria que possui furos prismáticos e/ou cilíndricos perpendiculares às faces que os contêm. Os blocos cerâmicos ou tijolos, como são popularmente conhecidos, são um dos componentes básicos de qualquer construção de alvenaria, seja de vedação, seja estrutural. Produzidos a partir da argila e geralmente sob a forma de paralelepípedo, esses componentes têm coloração avermelhada e apresentam canais/furos ao longo de seu comprimento. Os blocos de vedação não têm a função de suportar outras cargas verticais além do seu peso próprio e de pequenas cargas de ocupação. Já os blocos estruturais são projetados para suportar outras cargas verticais, além da carga do seu peso próprio, compondo o arcabouço estrutural da edificação. O bloco cerâmico utilizado como componente de alvenaria possui a furação na face longitudinal devido ao processo de fabricação (extrusão da matéria-prima). Os blocos cerâmicos devem apresentar características conforme as descritas na norma ABNT *NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria. Especificação*¹.

¹ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria - Especificação* que foi cancelada e substituída por: *NBR15270-1 - Componentes cerâmicos - Parte 1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos*, *NBR15270-2 - Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos*

3.1.1.1.2 Análise preliminar da argila: química, mineralógica e granulométrica

A argila é um material sedimentar de grãos muito finos, expressão empregada também para designar a fração granulométrica de um sedimento, inferior a 0,002mm. É considerada um material natural composto por partículas extremamente pequenas de um ou mais argilomineral. Constituídos por silicatos hidratados de alumínio, os argilominerais são minerais que podem conter ferro, elementos alcalinos (sódio, potássio) e alcalino-terrosos (cálcio, magnésio).

Na natureza as argilas geralmente estão associadas com outros materiais e minerais, como matéria orgânica, sais solúveis e partículas de quartzo, pirita, mica, calcita, dolomita e outros minerais residuais, além dos argilominerais. Materiais naturais com granulagem fina, textura terrosa e comportamento plástico, quando umedecidos recebem em geral a denominação de argila. O termo argila não tem significado genético e é utilizado para materiais provenientes do intemperismo, da ação hidrotermal ou da sedimentação em ambientes fluviais, lacustres, marinhos ou eólicos. O bloco cerâmico é composto de argila calcinada a uma temperatura superior a 1200°C.

3.1.1.2 Argamassa de assentamento da alvenaria

As argamassas utilizadas no assentamento de blocos também devem obedecer às especificações técnicas para o correto aproveitamento de suas características mecânicas. De acordo com o tipo de bloco e sua aplicação, a argamassa de assentamento deve ter característica estrutural ou não. Fiorito (1994) ressalta que a escolha do tipo de argamassa poderá ser baseada no tipo de elemento a ser assentado, em normas construtivas ou, ainda, de acordo com os esforços a ser suportados pela alvenaria. Pondera-se que um elemento de alvenaria estrutural deve receber uma argamassa com um grau de resistência maior que uma alvenaria simples de vedação.

3.1.2 Revestimento argamassado: componentes

Os revestimentos de argamassas podem ser constituídos por mais de uma camada: o sistema argamassa/substrato pode se dividido em emboço, reboco e/ou camada de acabamento (CANDIA, 1998). Os componentes do revestimento argamassado, quando variados, refletem as modificações nas estruturas morfológicas da argamassa,

acarretando mudanças no campo microestrutural. Com os dados trabalhados e os componentes escolhidos de maneira adequada, é possível amplificar as características mecânicas no estado fresco e no estado endurecido.

3.1.2.1 Cimento Portland

3.1.2.1.1 Definição

De acordo com Metha e Monteiro (1994), a ASTM C 150 define o cimento Portland como um aglomerante hidráulico produzido pela moagem do clínquer, que é constituído por silicatos de cálcio e duas ou três formas de sulfatos de cálcio como adições. Já para a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento Portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água.

Acrescenta-se a ponderação de que o cimento Portland é composto de clínquer e adições. O clínquer é um material granulado resultante da calcinação de uma mistura de rocha calcária britada e moída com argila moída, submetida a temperaturas que variam na ordem de 1450°C. Ainda incandescente, o clínquer é resfriado bruscamente para moagem posterior (partículas na ordem de 75 µm). As adições colocadas no final do processo de moagem são: o gesso, as escórias de alto-forno, os materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos.

3.1.2.1.2 Matéria-prima

Há várias maneiras de formular o cimento. Os constituintes ou compostos traduzem as características de aplicação do cimento para determinado uso. Pode-se discutir isoladamente os materiais aplicados na mistura, porém é mais interessante avaliá-los em conjunto, pois as reações químicas geradas alteram suas propriedades básicas primárias.

a. Clínquer Portland

Produto constituído na maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas.

b. Adições

b. 1 Materiais pozolânicos: Materiais silicosos ou silicaluminosos, que por si sós possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante; porém, quando finamente

divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias.

b. 2 Escória granulada de alto-forno: Subproduto do tratamento de minério de ferro em alto-forno, obtido sob a forma granulada por esfriamento brusco, constituído em sua maior parte de silicatos e aluminossilicatos de cálcio. Sua composição química deve obedecer à relação.

c. **Materiais carbonáticos**

Materiais finamente divididos, constituídos em sua maior parte de carbonato de cálcio.

3.1.2.1.3 Composição química

Quando o clínquer está exposto a altas temperaturas, os elementos presentes no sistema cristalino de formação possuem a capacidade de se fundir em soluções sólidas. Até mesmo impurezas como magnésio, sódio, potássio e enxofre entram em soluções sólidas, que em grandes quantidades podem alterar a natureza cristalográfica do material calcário.

Metha e Monteiro (1994) afirmam que os compostos químicos presentes no cimento não são exatamente expressos pelas fórmulas comumente utilizadas: C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF . Pode-se dizer que os aspectos essenciais que provocam as diferenças de reatividade estão relacionados com as porcentagens dos compostos do cimento Portland. A mistura consiste de CaO , sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), certa proporção de óxido de magnésio (MgO) e uma pequena proporção de anidrido sulfúrico (SO_3), que é adicionado após a calcinação para retardar o tempo de pega do produto, como gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Pode-se afirmar também que cal, sílica, alumina e óxido de ferro são os componentes essenciais do cimento Portland e constituem aproximadamente 5% do total na análise química em óxidos em uma varredura. A magnésia, que parece permanecer livre durante todo o processo de calcinação, está usualmente presente na proporção de 2 a 3%, limitada pelas especificações, ao máximo permissível de 6,4%.

3.1.2.1.4 Tipos de cimento

Cada composto do cimento Portland possui uma característica reativa diferente. Conhecendo-se essas propriedades, é possível produzir cimentos com características predeterminadas para a devida aplicação.

De acordo com a ABNT, os principais tipos de cimento Portland normalizados são:

- a. Cimento Portland comum - CP I.
- b. Cimento Portland composto - CP II (com adições de escória de alto-forno, pozolana e *filler*).
- c. Cimento Portland de alto-forno - CP III (com adição de escória de alto-forno; apresenta baixo calor de hidratação).
- d. Cimento Portland pozolânico - CP IV (com adição de pozolana; apresenta baixo calor de hidratação).
- e. Cimento Portland de alta resistência inicial - CP V (com maiores proporções de silicato tricálcico, C_3S , que lhe confere alta resistência inicial e alto calor de hidratação).

O manual do cimento da ABCP (2002) ainda cita cimentos a seguir, que são consumidos em menor escala, mas possuem características especiais de aplicação:

- a. Cimento para poços petrolíferos.
- b. Cimento Portland branco.
- c. Cimento Portland de baixo calor de hidratação.
- d. Cimento Portland resistente aos sulfatos.

A TAB. 1 apresenta os diferentes tipos de cimento e suas respectivas composições.

TABELA 1 - Tipos de Cimento Portland

Tipo de Cimento Portland	Sigla	Composição (% de massa)			
		C clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (sigla E)	Material pozolânico (sigla Z)	Material carbonático (sigla F)
Comum	CP I	100	0	0	0
	CP I - S	95 – 99		1 - 5	
Composto	CP II – E	56 – 94	6 – 34	-	0 – 10
	CP II – Z	76 – 94	-	6 – 14	0 – 10
	CP II – F	90 – 94	-	-	6 – 10
Alto-Forno	CP III	25 – 65	35 – 70	-	0 – 5
Pozolânico	CP IV	45 – 85	-	15 – 50	0 – 5
Alta Resistência Inicial	CP V ARI	95 – 100	0	0	0 – 5

Fonte: ABCP, 2003.

3.1.2.1.4.1 Cimento Portland comum

O primeiro cimento Portland lançado no mercado brasileiro é atualmente conhecido como CP I, um tipo de cimento Portland comum sem nenhuma adição além do gesso, que é utilizado como retardador de pega. É considerado como termo de referência para comparação com as características e as propriedades dos tipos de cimento com adições em geral.

Embora seja contemplado pela ABNT como norma separada do cimento Portland comum, o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI) é, na verdade, um tipo particular, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido com a utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como com a moagem mais fina do cimento, para que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências mais rapidamente.

3.1.2.1.4.2 Cimento Portland composto

O domínio científico e tecnológico do CP I possibilitou desenvolver outros tipos de cimento, a fim de atender a indústria da construção em geral. Com o tempo, verificou-se que alguns desses cimentos, inicialmente considerados especiais, tinham o desempenho equivalente ao do Portland comum original, atendiam plenamente as necessidades da maioria das aplicações usuais e apresentavam, em muitos casos, inclusive alguma vantagem adicional em relação a custos (ABCP, 2002).

3.1.2.1.4.3 Cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos

O alto consumo de energia durante o processo de fabricação de cimento motivou mundialmente o setor a buscar medidas para diminuir o consumo energético. Uma das alternativas de sucesso foi o uso de escórias granuladas de alto-forno e materiais pozolânicos na composição dos chamados cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos, respectivamente.

TABELA 2 – Tipos de Cimento - CP III e IV

Tipo de cimento portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clinker + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático	
Alto-Forno	CP III	65-25	35-70	-	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736

Fonte: ABCP, 2003.

Segundo Helene *apud* Saricimen *et al.* (1995), observou-se que os concretos e as argamassas moldados com 20% do cimento substituído por adições pozolânicas apresentaram desempenho melhor quanto à absorção de água, à permeabilidade e à penetração de cloretos do que os concretos moldados com cimentos simples, sem adições.

A utilização de cimento Portland pozolânico tem como finalidade reduzir o calor de hidratação, portanto diminuir a elevação da temperatura no interior das estruturas de concreto e inibir a reação álcali-agregado, já que alguns agregados utilizados mostraram-

se potencialmente reativos com os álcalis do cimento (PEREIRA; KUPERMAN *apud* SAAD, 1987).

3.1.2.2. Principais agregados

Os agregados utilizados normalmente na construção civil no Brasil são abundantes, e os grandes centros consumidores, as grandes áreas metropolitanas, encontram-se em geral, em regiões geologicamente favoráveis à existência de reservas para o fornecimento de matéria-prima.

Tristão *et al.* (2005) afirmam que existe uma ampla gama de areias para argamassas, no que se refere tanto às suas frações granulométricas quanto às características geométricas referentes à forma textural dos grãos, tais como esfericidade, arredondamento e rugosidade dos grãos, que interferem na composição do traço dos materiais nas argamassas utilizadas na construção civil.

A indústria brasileira de agregados (areia e brita) vem apresentando nos últimos anos um incremento na produção, o que, segundo Valverde (1999), já ultrapassa o minério de ferro. Além disso, a exploração de agregados é uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral brasileiro atualmente, segundo o Anuário Mineral Brasileiro (2001), por causa dos empregos gerados e do notável efeito multiplicador que produz na economia.

Na composição das argamassas predomina normalmente o material inerte de origem mineral, em que se observa com mais frequência o quartzo, de diâmetro entre 0,06mm e 2,0mm em sua composição granulométrica. Cabe, portanto, adequar a faixa para a aplicação ideal.

Levando em consideração o preenchimento dos vazios existentes na zona de transição agregado miúdo/pasta, a composição da curva granulométrica é um fator relevante na análise do teor de areia e finos da argamassa. Em seu estudo, Carasek (2001) argumenta que, com o aumento do teor de areia, perde-se resistência de aderência. Em contrapartida, a compactidade da massa aumenta, e diminuindo a quantidade de ar incorporado e garantindo uma resistência mecânica maior. O ideal é uma composição em que se pode amplificar ao máximo a resistência mecânica do conjunto sem perder

nas características mecânicas mais importantes para o bom desempenho do conjunto argamassa substrato (resistência à tração). A otimização entre um fator a/c baixo com uma compacidade alta, sem perder aderência ou mesmo causar um excesso de retração hidráulica.

A norma *ABNT NBR 9935 – Agregado - Terminologia* define os termos relativos a agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa de cimento. Entre a terminologia adotada, destacam-se:

1. Em relação à natureza

- **Agregado**

Material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto.

- **Agregado natural**

Material pétreo, que pode ser utilizado tal qual é encontrado na natureza, e pode ser submetido a lavagem, classificação ou britagem.

- **Agregado artificial**

Material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa.

- **Agregado reciclado**

Material obtido de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou processo de construção ou demolição da construção civil, inclusive agregados recuperados de concreto fresco por lavagem.

- **Agregado especial**

Agregado cujas propriedades podem conferir ao concreto ou argamassa um desempenho que permite ou auxilia no atendimento de solicitações específicas em estruturas não-usuais.

- **Areia**

Agregado miúdo, originário de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou de outros processos industriais, por isso tem várias denominações. Se resultar da ação de agentes da natureza, é areia natural; se provém de processos industriais, é areia artificial; se deriva de processos de reciclagem, é areia reciclada;

e se advém do processo de cominuição mecânica de rocha, é areia de britagem conforme normas específicas

2. Em relação às dimensões dos grãos

- **Agregado miúdo**

Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a norma *ABNT NBR NM 248 - Agregados - determinação da composição granulométrica*.

- **Pó de pedra**

Material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3mm, em ensaio realizado de acordo com a norma *ABNT NBR NM 248 Agregados - determinação da composição granulométrica*.

- **Fíler; microfino**

Material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μ m.

- **Agregado misto**

Agregado natural ou resultante do britamento de rochas, cuja obtenção ou beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos.

3. Em relação às propriedades e às características

- **Materiais pulverulentos**

Partículas com dimensão inferior a 75 μ m, inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

3.1.2.2.1 Características do agregado miúdo

Petrucci (1970) caracteriza o agregado como sendo sem forma, granular, de volume definido, inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a construção civil de modo geral. Conhecer as propriedades dos agregados é um dado balizador, que está diretamente relacionado com o comportamento das argamassas no estado fresco. Os agregados miúdos apresentam características que são parametrizadas através dos ensaios experimentais realizados em laboratório.

3.1.2.2.1.1 Granulometria

Define-se granulometria como a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado. A caracterização dos agregados determina a proporção de cada diâmetro, em função do conhecimento de sua massa total. Essa caracterização é feita por peneiramento ou via úmida, dependendo da finura das partículas. Para obtenção dos dados, são utilizados na prática os equipamentos recomendados pela norma *ABNT NBR 5734 - Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico*². O diâmetro máximo do agregado é a abertura da peneira em que fica retida acumulada uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%.

A norma *ABNT NBR 7211 - Agregado para concreto - Especificação* classifica as areias em quatro faixas: muito fina, fina, média e grossa. A classificação é feita de acordo com as porcentagens em peso, retidas acumuladas nas peneiras padronizadas. A TAB. 3 mostra como essas faixas são divididas.

TABELA 3 - Limites granulométricos de acordo com a NBR 7211

Peneira ABNT	Porcentagem, em peso, retida acumulada			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8mm	0 a 5 ^(A)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4mm	0 a 5 ^(A)	0 a 15 ^(A)	0 a 25 ^(A)	5 ^(A) a 40
1,2mm	0 a 10 ^(A)	0 a 25 ^(A)	10 ^(A) a 45 ^(A)	30 ^(A) a 70
0,6mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3mm	50 a 85 ^(A)	60 ^(A) a 88 ^(A)	70 ^(A) a 92 ^(A)	80 ^(A) a 95
0,15mm	85 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100	90 ^(B) a 100

a. Pode haver uma tolerância de até um máximo de cinco unidades percentuais em um só dos limites marcados com a letra A ou distribuídos em vários deles.

b. Para agregado miúdo resultante de britamento o limite pode ser 80.

² Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 5734 - Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico* que foi cancelada e substituída por: *NM-ISO2395 - Peneiras de ensaio e ensaio de peneiramento – Vocabulário*, *NM-ISO3310-1 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1*, *Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico*, *NM-ISO3310-2 - Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada e NM-ISO565 Peneiras de ensaio - Tela de tecido metálico, chapa metálica perfurada e lâmina eletroformada - Tamanhos nominais de abertura*.

A amostra de areia a ser ensaiada, previamente seca ao ar, deve ser peneirada através da bateria de peneiras, de maneira enérgica e contínua, para permitir a separação dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. Em cada peneira, o material retido é separado e pesado; depois se anota o valor na planilha de composição granulométrica. Os grãos de agregado miúdo que ficam presos nas malhas das peneiras são retirados com a escova de aço, de modo que nenhuma partícula seja perdida. O percentual retido acumulado em relação a cada peneira da série utilizada fornece os dados para a definição da curva granulométrica do agregado miúdo em estudo.

3.1.2.2.1.2 Módulo de finura

A norma *ABNT NBR 7211 - Agregado para concreto - Especificação* define módulo de finura como o somatório das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, divididas por 100. De acordo com Bauer (1994), o valor do módulo de finura decresce à medida que a areia vai se tornando mais fina.

Os valores aproximados indicados pela NBR 7211 são:

- Areia grossa: módulo de finura entre 2,71 e 4,02
- Areia média: módulo de finura entre 2,11 e 3,38
- Areia fina: módulo de finura entre 1,71 e 2,85
- Areia muito fina: módulo de finura entre 1,35 e 2,25

3.1.2.2.1.3 Forma dos grãos

O estudo da forma e da superfície dos materiais granulares é feito após a classificação granulométrica. Assim, analisa-se o material retido nas peneiras e observam-se tanto a forma e quanto o grau de arredondamento dos sedimentos. Essa avaliação é feita visualmente através da comparação das formas-padrão de grãos (FIG. 1). O resultado será obtido de acordo com o grau de esfericidade (alto ou baixo) e o grau de arredondamento (anguloso, subanguloso, subarredondado ou arredondado) (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).

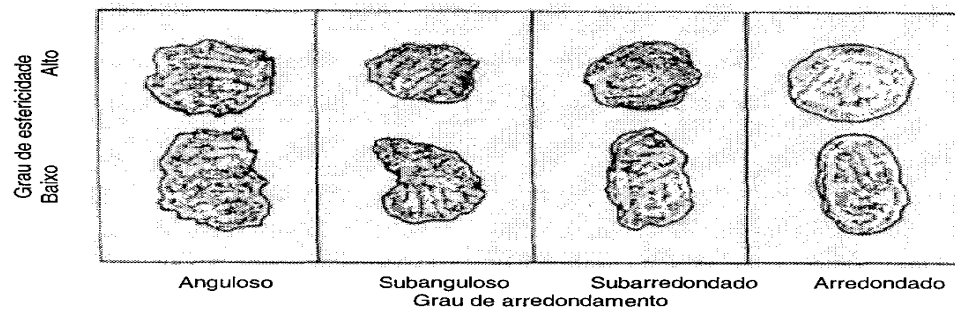


FIGURA 1 - Padrão para classificação do formato dos grãos (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).

A análise da forma pode ser realizada a partir de imagens bidimensionais obtidas em microscópio estereoscópico (lupa), seguida de análise de imagens em computador. Imagens de partículas são coletadas, segmentadas e analisadas com relação a perímetro, área, comprimento máximo e comprimento mínimo, com o auxílio de *softwares*. A partir daí, calculam-se os seguintes parâmetros indicativos de forma:

$$\text{Esfericidade} = \frac{4 \times \pi \times \text{Área}}{\text{Perímetro}^2} \quad \text{e} \quad \text{Razão de aspecto} = \frac{\text{Largura}}{\text{Comprimento}}$$

A esfericidade indica o quanto a partícula é semelhante à esfera; a razão de aspecto indica o quanto o comprimento e a largura da partícula se aproximam. Em ambos os casos, os valores máximos para uma partícula esférica são unitários.

3.1.2.2.2 Propriedades mecânicas dos agregados miúdos

3.1.2.2.2.1 Inchamento

O agregado miúdo absorve a água, que passa a formar uma película higroscópica em torno dos grãos. Como os interstícios da areia às vezes chegam a ser tão delgados quanto a espessura da película de água, eles afastam os grãos uns dos outros, o que produz o inchamento.

3.1.2.2.2.2 Higroscopia

A areia seca tem duas fases: sólidos (grãos) e vazios (ar); a areia úmida tem três: sólidos, água e ar; e a areia saturada tem duas: sólidos e água. Os vazios (espaços entre os grãos) da areia seca são de dimensões muito pequenas, de modo que a areia pode

apresentar higroscopia ou ascensão capilar, isto é, quando a areia entra em contato com água na base, a água no interior da massa alcança um nível acima da água no exterior devido à capilaridade. Quanto mais fina a areia, mais alta é a ascensão capilar. Isso deve ser levado em conta em algumas aplicações, como pisos, por exemplo.

3.1.2.2.3 Coesão aparente

O valor cresce rapidamente de zero (para teor de umidade nulo) até o máximo e decrescer em seguida, até se anular novamente para a areia saturada.

3.1.2.2.4 Friabilidade

Tristão *et al.* (2003) *apud* Kwan *et al.* (1999) alertam que, na interpretação dos resultados de granulometria obtidos através do peneiramento é preciso considerar que as partículas que passam pela peneira de malha quadrada podem ter uma dimensão maior que a abertura da malha.

A areia perde qualidade se contiver grãos friáveis. A fim de verificar, em primeira aproximação, a presença de grãos friáveis em tempo mais curto do que o necessário para o ensaio de qualidade pode ser feito um teste de esmagamento. A areia é colocada em um molde e recoberta por um êmbolo sobre o qual se exerce uma força crescente, necessária para atingir a pressão de 40 MPa em um minuto. Essa pressão é mantida constante por quatro minutos. A seguir, determinam-se os módulos de finura antes e depois do ensaio; depois, calcula-se a sua porcentagem de redução, que se compara com a da areia normal.

3.1.2.2.5 Impurezas

As impurezas das areias podem ser classificadas em coloidais e não-coloidais. As coloidais não são elimináveis. Já as não-coloidais têm grãos de dimensões da ordem do micrômetro (milésimo de milímetros) e podem ser retiradas por lavagem. As impurezas não-coloidais que mais ocorrem são:

- Argila em torrões.
- Materiais carbonosos.

- Materiais friáveis.
- Materiais orgânicos.
- Materiais pulverulentos.

A fim de se determinar a porcentagem de argila em torrões ou a porcentagem de materiais friáveis, pesa-se a amostra de areia antes e depois de ser retirados os torrões ou os fragmentos friáveis. Para se retirar o material pulverulento, lava-se a amostra energicamente, à mão, e exprime-se o peso do material retirado da amostra.

Os materiais carbonosos são constituídos de partículas de carvão, linhito, madeira e matéria vegetal sólida. São determinados por sedimentação da areia em líquido de densidade 2,0. As impurezas orgânicas são determinadas mediante a comparação da coloração da água de lavagem da areia com a cor de solução de ácido tânico.

3.1.2.2.3 Tipos de agregados miúdos

Define-se agregado miúdo como um material fino, inerte, granular sem forma definida, de dimensões e propriedades adequadas para o uso em argamassas e concretos na construção civil (PETRUCI, 1978).

3.1.2.2.3.1 Agregado miúdo natural

A exploração da areia natural proveniente dos leitos dos rios apresenta forte potencial de degradação ambiental, além de ser uma prática cada vez mais coibida pelos órgãos ambientais responsáveis pela fiscalização do meio ambiente e pelo IBAMA. Por isso, é necessário buscar novos locais, cada vez mais distantes dos centros consumidores para a exploração de areia natural, o que aumenta o preço final do produto em cerca de 70%. Como se trata de um agregado, seu preço por volume é baixo; conseqüentemente, o preço final da areia natural é bastante influenciado pelo frete, visto que a produção vem sendo feita a cerca de 200km dos mercados consumidores (PEREIRA; ALMEIDA).

3.1.2.2.3.1.1 Definição

O agregado componente das argamassas é o material particulado de origem mineral, em que predomina o quartzo, resultante de antiga erosão de rochas quartzosas e posterior sedimentação de material silicoso. Possuem diâmetros entre 0,06 e 2,0mm.

3.1.2.2.3.1.2 Obtenção

As areias a ser utilizadas como material de construção provém principalmente de rio; são depósitos sedimentares que se formam nos leitos de alguns rios. Encontra-se esse agregado já fragmentado na forma de grãos para ser utilizados. Alguns necessitam de processo mais energético de lavagem para eliminar torrões de argila, materiais pulverulentos e outras impurezas existentes.

O processo de extração é simples: a areia do fundo do rio é retirada por dragas flutuantes, que bombeiam a água com 5 a 10% de areia, e descarregada em sua margem, próximo à área de tratamento, de onde é encaminhada por bombeamento para o peneiramento e estocagem. No peneiramento, o pedrisco e a matéria orgânica mais grossa são separados do material mais fino (areia). As instalações para extração da areia de rios são chamadas portos de areia.

3.1.2.2.3.2 Agregado miúdo artificial

Pedrosa (2004) relata que o uso da rocha britada e moída como agregado miúdo tem crescido por causa da diminuição das areias provenientes dos leitos dos rios, o que amplia a procura por fontes alternativas de agregados miúdos.

A extração de areia obtida nos leitos dos rios causa impactos sobre o meio ambiente, devido à retirada da cobertura vegetal e à degradação do curso de água. Tendo em vista o impacto gerado por essas atividades, os órgãos responsáveis pela fiscalização do meio ambiente têm coibido tal prática.

Com a exaustão das áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição dessa atividade extrativa pelos órgãos de fiscalização ambiental, os mineradores passam a extrair areia em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos, o que onera o preço final da areia natural. Além disso, em relação ao ano de 2001, houve um aumento da ordem de 12% nos custos do frete, o que torna ainda mais cara a obtenção de areia para os grandes centros de consumo. Outra questão é o problema enfrentado pelas pedreiras para estocagem e disposição dos finos gerados pela britagem das rochas. Nesse processo são obtidas basicamente várias frações granulométricas. Pedrosa (2004)

lembra que a denominação técnica coincide com o usual no mercado da construção civil, a saber:

- Brita 3 – 70 a 50mm
- Brita 2 – 50 a 25mm
- Brita 1 – 25 a 12,5mm
- Brita 0 – 12,5 a 4,8 mm
- Pó de pedra - < 4,8 mm

As britas de 1 a 3 são utilizadas na construção civil, entretanto a brita 0 e o pó de pedra possuem apenas aplicações marginais. Estocados em pilhas nas pedreiras, esses finos geram problemas ambientais como impacto ambiental, geração de poeira, etc.

Visando buscar uma solução para o problema ambiental e para o seu maior mercado consumidor, ou seja, a construção civil, estudou-se a viabilidade de produzir areia artificial a partir dos finos de pedreiras. Desse modo, busca-se solucionar, numa única proposta, dois problemas ambientais distintos: (a) aproveitar os finos de brita, que antes ficavam estocados sem aproveitamento econômico e geravam impacto ambiental; (b) evitar a degradação dos cursos de água.

A produção de areia artificial obtida através de um processamento adequado dos finos de brita visa obter partículas com especificação para utilização na construção civil, de acordo com a norma *ABNT NBR 7211 Agregado para concreto - Especificação*, quanto a tamanho, forma e textura das partículas; resistência, dureza, módulo de elasticidade e impurezas presentes no material, massa específica, absorção de água, resistência, dureza e sanidade. As características do material proveniente dos finos de brita devem se adequar ao máximo às características tecnológicas da areia natural.

3.1.2.2.3.2.1 Definição

A areia artificial é um material oriundo do processo de beneficiamento, proveniente do aproveitamento dos finos gerados na de britagem de rochas. Entre as diversas etapas de produção de areia artificial, o beneficiamento é provavelmente a mais importante. Numa visão geral, qualquer corpo arenoso pode ser transformado em areia artificial, cujas características estarão implicitamente ligadas às do próprio depósito original, mas o que

determinará o seu aproveitamento será fundamentalmente a viabilidade econômica dos produtos obtidos com o seu beneficiamento.

As frações finas produzidas através da britagem de rocha possuem várias denominações de acordo com a granulometria: areia britada, areia artificial, finos de pedreira, pedrisco, pó de pedra, etc. O material pulverulento ($\varnothing < 0,075\text{mm}$) é também chamado de microfios, finos de pedra ou *filler*.

3.1.2.2.3.2.2 Obtenção

Através de um processo economicamente viável, procura-se obter uma areia artificial que tenha as características adequadas para a construção civil e contribua para a redução do consumo de areia natural.

O circuito de britagem é constituído por um silo com capacidade de aproximadamente, 2m^3 , um alimentador vibratório, um britador de eixo vertical VSI (BARMAC, modelo 3000), com capacidade nominal de 12 toneladas/hora, com regulagem de abertura de fluxo por cascata, uma peneira vibratória com duplo deque (de 6 e 2,4mm) e quatro transportadores de correia que operam a velocidades de 1,6m/s.

Nesse circuito fechado de britagem, o material retido nas telas com aberturas de 6mm (alívio) e 2,4mm é realimentado ao britador, junto à alimentação nova. O material passante no deque é depositado em uma pilha, para ser posteriormente classificada a seco por um classificador Sturtevant com capacidade nominal de 200kg/h. Sua alimentação é realizada com o auxílio de um alimentador vibratório. Os produtos oriundos do classificador são a areia artificial (produto grosso) e o *filler* (produto fino).

O britador VSI rocha-contra-rocha é um impactador de eixo vertical, que se diferencia dos convencionais pela utilização de acúmulos de rocha dentro da máquina para minimizar o desgaste metálico. O processamento do material realizado por esse equipamento é o que mais se aproxima do processo de erosão da areia natural em leito de rios.

A placa dosadora controla o fluxo do material para dentro do rotor, pela seleção do tamanho adequado de abertura, e o material excedente, impossibilitado de passar pelo

rotor, transborda como cascata. A redução do diâmetro da placa dosadora aumenta o fluxo do material em cascata. O rotor acelera o material e o descarrega continuamente na câmara de britagem. A velocidade de saída das partículas varia de 50 a 150m/s. Na câmara de britagem, o material do rotor e o material da cascata se recombina. Uma cortina constante de partículas em suspensão circula pela câmara de britagem.

Um aumento da friabilidade do material ou da rotação produz maior cominuição com conseqüente aumento na produção de finos. Um decréscimo na friabilidade do material ou na rotação resulta em menor cominuição com menor produção de finos. O aumento da quantidade de material introduzido na câmara de britagem via cascata diminui a taxa de redução; porém, resulta num ganho líquido de produtividade sem aplicação de energia extra.

3.1.2.2.4 Características da areia natural e da areia artificial

As diferenças existentes entre a areia natural e a areia artificial permitem uma série de comparações para que se tenha condição de emitir um parecer sobre o que amplificaria ou diminuiria a ação da tipologia do agregado nas características do conjunto argamassa/substrato.

A areia artificial proveniente dos finos de pedreiras, na maioria das argamassas industrializadas e comercializadas no mercado mineiro, vem sendo utilizada como uma alternativa para substituição da areia natural proveniente dos leitos de rios, na medida em que as jazidas de areia natural ou se esgotam, ou sofrem restrição para proteção ambiental.

O ganho da compacidade da argamassa varia de acordo com o incremento de finos na fração ou britada, ou natural inerte no traço. Porém, esse percentual pode alterar algumas propriedades mecânicas essenciais para o bom desempenho da argamassa em contato com o bloco cerâmico. São elas:

- Massa específica.
- Módulo de elasticidade.
- Quantidade de ar incorporado.

- Resistência mecânica.
- Retração hidráulica.

Anteriormente eram utilizados somente materiais de granulometria muito fina para compor a curva granulométrica da mistura com areia natural, como o carbonato de cálcio (CaCO_3). Quando acrescido de água, esse material confere à argamassa mais trabalhabilidade, mas não as características estruturais. O uso em excesso na mistura gera perda de resistência em uma mesma porcentagem de cimento e, mesmo se houver uma equiparação na quantidade de cimento, o uso de aditivos incorporadores de ar é necessário, uma vez que a trabalhabilidade do material pode estar comprometida.

Os finos das pedreiras devidamente processados podem vir a substituir a areia natural; para isso, devem apresentar algumas características, como distribuição granulométrica, forma e textura superficial adequadas, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas.

O formato das partículas que constituem o agregado e suas frações finas está entre as características mais importantes desses materiais. Influem na trabalhabilidade dos produtos com eles confeccionados, nas suas características mecânicas e na sua durabilidade.

Araújo *et al.* (2003) afirmam que a utilização do peneiramento para caracterização da granulometria dos agregados não é suficiente para evidenciar a influência que a forma dos grãos dos agregados provoca no desempenho das argamassas. Portanto, para minimizar as deficiências do peneiramento, utiliza-se a análise de imagem das partículas retidas nas peneiras normais.

Segundo o estudo realizado por Silva *et al.* (2005), as análises de distribuições granulométricas das areias podem ser feitas segundo a norma *ABNT NBR 7217 – Composição granulométrica*³. Utilizou-se a série normal de peneiras com as aberturas de malhas, em milímetros 0,15; 0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8. E para cada tipo de areia, foram

³ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 7217 - Composição granulométrica - Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico* que foi cancelada e substituída por: *NBRNM248 Agregados - Determinação da composição granulométrica*.

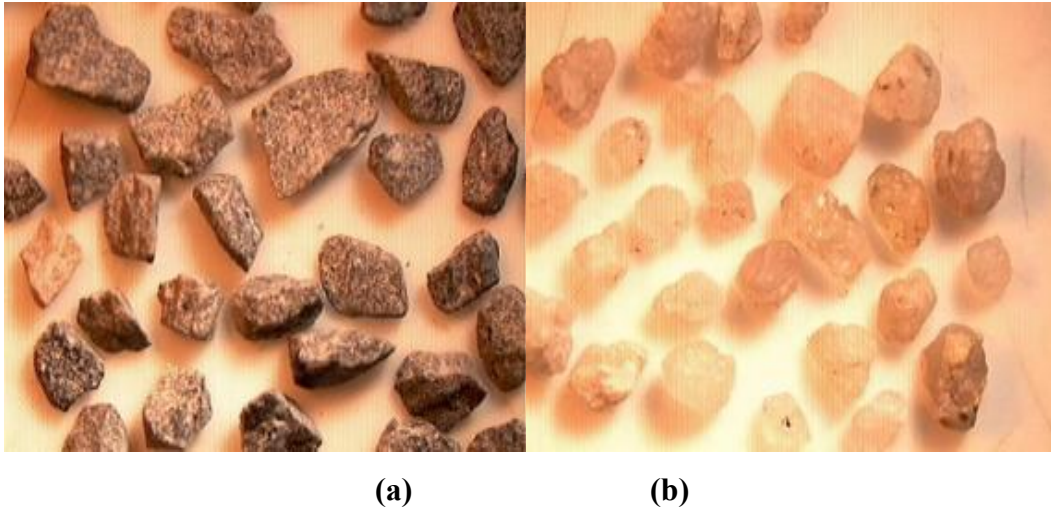
separadas em 6 frações, conforme mostra a FIG. 2(a). As imagens foram obtidas através de lupa, que possibilita um aumento variável entre 2,5 a 44 vezes e que foi acoplada a um microcomputador e a uma câmera digital (FIG. 2(b)). Devido ao aumento fornecido pela lupa, apenas três frações granulométricas de cada areia foram escolhidas para esta avaliação: 0,3mm, 0,6mm e 1,2mm.

A FIG. 3 mostra as imagens obtidas, da areia britada e da areia natural, utilizando a lupa, ambas da fração 1,2mm. Os grãos das frações maiores, 2,4 e 4,8mm, foram fotografados com uma câmera fotográfica digital (FIG. 4).

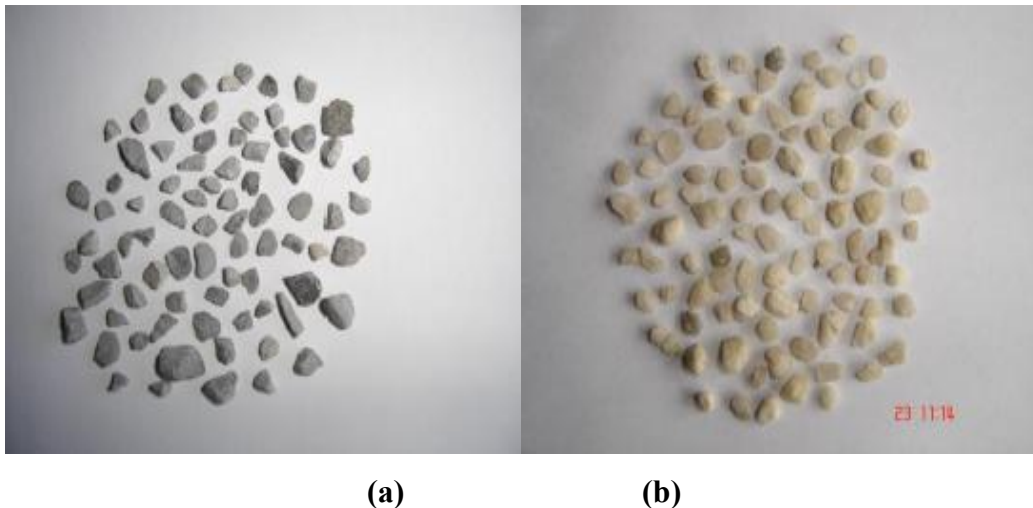
*(a) areia britada – **(b) areia natural



FIGURA 2 - Amostras das frações das areias e lupa com câmera digital acoplada (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).



(a) (b)
 FIGURA 3 - Imagens obtidas através da lupa (fração 1,2mm) (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).



(a) (b)
 FIGURA 4 - Imagens obtidas com câmera fotográfica digital (frações 2,4 e 4,8 mm) (ARAÚJO; TRISTÃO, 2001).

Fazendo-se uma avaliação visual das imagens obtidas e comparando-se com a classificação de Araújo e Tristão (2001), conclui-se que as partículas da areia britada são angulosas, enquanto as partículas da areia natural são subarredondadas.

A areia de britagem é um agregado artificial, diferente da areia natural: partículas angulosas e superfícies frescas, recém-criadas pela britagem, não-hidratadas ou oxidadas como as superfícies das partículas de areia natural. Tudo isso contribui para diminuir a plasticidade da argamassa, ou seja, dificulta sua aplicação manual e exige maior vibração ou a adição de plastificantes ou de água (com o conseqüente aumento do consumo de cimento). Entretanto, os britadores de impacto de eixo vertical (VSI) vêm

ganhando espaço devido a uma vantagem única: como grande parte do trabalho de redução de tamanho é feita pelo impacto de partícula contra partícula, ocorre um arredondamento acentuado do produto, compensando a desvantagem mencionada da angulosidade das partículas de areia de britagem. A areia de britagem é um produto diferente da areia natural, e a sua preparação envolve operações mais complexas, além de exigir um controle operacional mais cuidadoso.

Na obtenção de areia natural falta de tecnologia, enquanto as pedreiras têm tecnologia dominada, o que lhes confere uma vantagem competitiva, que pode suplantar as desvantagens iniciais das areias de britagem. Dessa forma, o produto obtido em tais condições pode competir com vantagem com o agregado natural.

A grande vantagem da areia artificial é que a sua produção pode ser realizada no canteiro das pedreiras localizadas próximo aos grandes centros urbanos, o que reduz o custo final da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor: a indústria da construção civil. Nesse contexto já se observa um incremento na participação da areia artificial na construção civil.

3.1.3 Identificação pelo tipo ou fornecimento da argamassa

A escolha do tipo de argamassa deve ser feita em função das características do substrato escolhido (FIORITO, 1994). Na construção civil, podem-se destacar como usualmente escolhidas as argamassas de procedência convencional e industrializada para aplicação no reboco de camada única, denominada argamassa de multiuso.

3.1.3.1 Argamassa preparada canteiro de obras com areia natural

A argamassa obtida através do processamento convencional dos materiais nos canteiros nada mais é do que a mistura de aglomerante, agregado natural, aditivos (se necessário) e adições para melhorar a trabalhabilidade e o desempenho nos estados fresco e endurecido. Os constituintes são identificados separadamente e estocados no canteiro de obra até o momento de ser misturados com água.

De acordo com Carvalho Jr. (2005), as argamassas preparadas na obra apresentam custo inferior às misturas industrializadas ensacadas e dosadas em central (tomando-se como

base somente o valor do produto bruto, sem a análise dos insumos gastos no processo de produção)./

3.1.3.2 Argamassa preparada canteiro de obras com areia artificial

A argamassa preparada no canteiro de obras com areia artificial de maneira convencional é uma modalidade mais rara nos processos de produção civil das argamassas convencionais. É possível que nas regiões de pedreiras se encontre o material para produção convencional e que o maior volume seja destinado às grandes representações de argamassas industrializadas ensacadas. O uso do agregado artificial na produção convencional serve como parâmetro para avaliação posterior, uma vez que a argamassa industrializada tem aditivos em sua composição, para otimização das características do material no estado fresco.

3.1.3.3. Argamassa industrializada com areia artificial (ensacada)

Atualmente os grandes fornecedores de argamassa industrializada utilizam a areia artificial proveniente dos finos de britagem na composição granulométrica dos seus traços. O material já chega com as frações pré-especificadas pelo fabricante, ou seja, o pedido é feito de acordo com a necessidade do cliente. Esse procedimento confere maior uniformidade ao produto, uma vez que as características mecânicas exigidas requerem uma gama de parâmetros que atendam as recomendações da ABNT. Comercialmente essa adequação é essencial. Cientificamente esses valores são referências balizadas para a procura de novas relações entre as propriedades mecânicas do material no estado fresco e no estado endurecido.

Carvalho Jr. (2005) enumera uma série de vantagens da utilização da argamassa industrializada em relação às preparadas de maneira convencional, não só em relação às características do material, mas também quanto à qualidade da gestão dos materiais na construção civil:

- Simplificação e organização do canteiro; quando não se dispõe de espaço físico suficiente para o armazenamento dos materiais, é necessário otimizar os espaços.
- Possibilidade de ser acomodada próximo ao local onde será utilizada.
- Garantia de qualidade e assistência técnica por parte do fabricante.

- Materiais constituintes medidos em peso (garantia de uniformidade).

3.2 Técnicas para confecção e aplicação dos revestimentos argamassados

A metodologia de aplicação do material argamassado também é uma variante, caso se considerem as propriedades no estado endurecido a ser analisadas. Com isso, a preocupação no preparo dos materiais, bem como a energia de amassamento é um fator potencializador da mistura da fração fina dos aglomerantes com os agregados.

3.2.1 Preparo da argamassa

A argamassa pode ser preparada tanto da maneira convencional (manualmente) quanto mecanicamente. Para o preparo de grandes quantidades, recomenda-se que se usem argamassadeiras industriais ou que seja dosada em central e transportada em caminhões. Como as argamassas industrializadas têm em sua formulação aditivos que dependem de uma maior energia para a eficácia de atuação, recomenda-se a utilização de argamassadeiras ou mesmo misturadores de rosca sem-fim.

Carvalho Jr. (2003) enumera as principais recomendações básicas em relação ao preparo da mistura para otimização das qualidades do material:

- Quando se utiliza misturador mecânico, o tempo de mistura não deve ser inferior a 3 minutos nem superior a 5 minutos; quando o trabalho é manual, devem ser preparados volumes de argamassa inferiores a $0,05\text{m}^3$ de cada vez.
- A produção de argamassa de cimento ou mista deve ser controlada de modo que seja utilizado no prazo máximo de 2 horas e 30 minutos. Nos ambientes em que a temperatura esteja acima de 30°C , insolação direta sobre a argamassa ou umidade relativa do ar inferior a 50%, o prazo deve ser reduzido para 1 hora e 30 minutos.

3.2.2 Preparo da base de revestimento

A preocupação do surgimento de patologias nos revestimentos argamassados leva à aplicação do procedimento de preparo de base para sobreposição com argamassa de reboco. Deve ser efetuada a limpeza de sujidades, gorduras, materiais pulverulentos ou

qualquer material que possa impedir o mecanismo de agulhamento dos cristais formados pela hidratação do cimento.

Além da preocupação com os agentes patológicos sobre o revestimento, as bases de revestimentos estarão aptas a receber argamassas preparadas na obra, respeitadas as seguintes idades mínimas, de acordo com a norma *ABNT NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento*.

- 28 dias de idade para estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais.
- 14 dias de idade para alvenarias não-armadas estruturais e alvenaria sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo-se que os blocos de concreto tenham sido curados durante, pelo menos, 28 dias antes de sua utilização.
- 21 dias de idade do revestimento de reboco ou camada única.

3.3 Exemplos de traços de argamassas

A TAB. 4 apresenta os traços mais comumente utilizados na construção civil, quando a argamassa é dosada em canteiro. Não se pode esquecer a argamassa industrializada e dosada em central, que também não foge das formulações tradicionais, a não ser pela adição de aditivos que melhoram a aplicabilidade e a resistência final do material no estado endurecido.

TABELA 4 - Sugestões de traços de argamassas

Emboço	Interno	1:5 cal e areia lavada média a grossa = massa branca* 1:8 cimento e massa branca
		1:2:8 cimento, cal aditivada** e areia lavada média a grossa
	Externo	1:4 cal e areia lavada média a grossa = massa branca* 1:6 cimento e massa branca
		1:1:6 cimento, cal aditivada** e areia lavada média a grossa
Reboco ou massa única	Interno	1:5 cal e areia lavada fina a média = massa branca* 1:10 cimento e massa branca
		1:2:10 cimento, cal aditivada** e areia lavada fina a média
	Externo	1:5 cal e areia lavada fina a média = massa branca* 1:8 cimento e massa branca
		1:2:8 cimento, cal aditivada** e areia lavada fina a média

* Após a confecção da massa com cal - maturação por 16 horas, no mínimo.

** Cal aditivada: cal com garantia de 0% de óxidos não-hidratados + aditivo incorporador de ar.

Fonte: CARVALHO JR., 1999.

3.4 Métodos de investigação e análise microestrutural

A aderência da argamassa à base (uma propriedade das mais importantes quando se refere à ligação entre esses materiais) foi definida por SABBATINI (1998) como a capacidade que a interface componente-argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem se romper.

Os sistemas de aderência da argamassa à base podem ser divididos em sistema mecânico (aderência advinda do intertravamento de produtos da hidratação do cimento no interior dos poros do substrato, SUGO *et al.*, 2001) e sistema químico (aderência advinda de forças covalentes ou forças de van der Waals, TAHA & SHRIVE, 2001). Considera-se que o sistema mecânico é o mais eficiente nas argamassas de revestimento aplicadas sobre alvenarias.

Em relação aos estudos sobre a aderência da argamassa à base, muito já foi realizado (CARASEK *et al.*, 1996; SUGO *et al.* 2001), porém acredita-se que alguma contribuição ao tema possa ser alcançada através da utilização de ferramentas de análise microestrutural (MEV-EDS).

Carvalho Jr. (2005) observa uma faixa de penetração da pasta de aglomerante no substrato cerâmico. Se forem avaliadas as seções em que existe essa penetração, pode-se avaliar a penetração da pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico. O elemento cálcio, presente em grande quantidade nos produtos de hidratação do cimento e em pequena quantidade no bloco cerâmico puro, funciona como um indicador do perfil de penetração da pasta de aglomerante no substrato cerâmico (mecanismo que configura a aderência mecânica de uma argamassa à base — principal responsável pela aderência no caso de argamassas de revestimentos aplicadas sobre bases porosas, tal qual a alvenaria de blocos cerâmicos).

TABELA 5 - Análise - EDS da face do bloco cerâmico

Miniárea ou ponto	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	∑ (%)	Interpretação (fases prováveis)
1	11,2	30,0	15,6	2,1	39,2	1,9	100,0	Etringita (+ CSH)
2	14,8	25,3	17,7	1,8	39,2	1,2	100,0	Portlandita (+CSH)

Fonte: CARVALHO JR., 2005.

A análise realizada por Carvalho Jr. (2005) retrata o agulhamento na superfície do substrato cerâmico. As tabelas relativas às análises realizadas no microanalisador EDS (TAB. 5) foram geradas a partir da imagem e dos resultados obtidos pelo programa de computador específico acoplado ao EDS THERMO NORAN, em 2005.

Avaliou-se em questão, que os teores relativamente elevados de SiO_2 (25,3 a 30,0%) indicam que CSH também está presente, provavelmente como fase intersticial e/ou como pseudomorfo da etringita e portlandita/calcita. Há também a possibilidade de que o feixe tenha atravessado as superfícies mostradas na figura e atingido regiões ricas em sílica abaixo (bloco cerâmico ou grão de areia).

Seguiu-se a seqüência da avaliação microestrutural dos constituintes do sistema argamassa/substrato para a verificação dos parâmetros microestruturais, relacionando a influência do agregado, na penetração da pasta nos poros do substrato cerâmico.

3.4.1 Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX)

Inicialmente na característica de um material, torna-se necessária uma análise preliminar utilizando a FRX no equipamento visualizado na FIG. 5. A espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX, ou *wavelength dispersive X-ray fluorescence – WDS*) é gerada pela perturbação dos orbitais eletrônicos dos átomos, que pode ser realizada pelo bombardeamento da espécie com elétrons de alta energia, raios-X de maior energia ou partículas aceleradas carregadas. O bombardeamento de elétrons da espécie resulta em um contínuo da energia de raios-X e radiações características de cada elemento (CARVALHO JR., 2005).



FIGURA 5 - Aparelho para a realização da espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).

De acordo com a AMPTEK INC *apud* Carvalho Jr. (2005), a fluorescência de raios-X é largamente utilizada para avaliação dos elementos que compõem os materiais. Uma vez que é rápido e pode ser não-destrutivo, o método é freqüentemente escolhido para aplicações de campo, bem como na produção industrial na área de controle de materiais. Dependendo da aplicação, a espectrometria de raios-X pode ser obtida não só através de raios-X excitantes, mas também através de outras fontes de excitação primárias, tais como partículas alfa, prótons, raios gama ou feixe de elétrons de alta energia.

3.4.2 Difração de raios-X (DRX)

A análise do material por meio da difração de raios-X é responsável pela identificação das fases cristalinas do material. Mais uma vez, é necessário citar a importância do DRX juntamente com o FRX nas análises preliminares. Segundo Padilha e Ambrosio Filho *apud* Carvalho Jr. (2005), o método de difração de raios-X é de suma importância na análise mineralógica/microestrutural, porque fornece informações sobre a natureza e os parâmetros do reticulado cristalino, bem como detalhes a respeito do tamanho, da perfeição e da orientação dos cristais. A utilização da difração de raios-X neste trabalho relaciona-se à identificação de fases para subsidiar as análises do MEV (por exemplo, definir a quantidade de fase amorfa pela visualização do domo de amorfização gerado no espectro). O estudo do espectro de difração obtido através desse instrumento

possibilita a determinação da fração volumétrica de cada fase (PADILHA; AMBROSIO FILHO *apud* CARVALHO JR., 2005).



FIGURA 6 - Aparelho para a realização da difração de raios-X (DRX).

De acordo com Brandão (2005), a estrutura repetitiva (identificada pela distância interplanar - d) torna possível a difração de raios-X. Se um feixe de raios-X com uma dada frequência incidir sobre um átomo isolado, os elétrons desse átomo serão excitados e vibrarão com a frequência do feixe incidente.

Ainda conforme Brandão (2005), cada átomo funciona como um núcleo de espalhamento da radiação (o espalhamento ocorrerá em todas as direções do espaço). A interferência construtiva se dará somente segundo determinadas direções, no caso, quando os átomos estiverem regularmente espaçados em um reticulado cristalino, e a radiação incidente apresentar comprimento de onda da ordem de grandeza desse espaçamento (PADILHA; AMBROSIO FILHO *apud* CARVALHO JR., 2005).

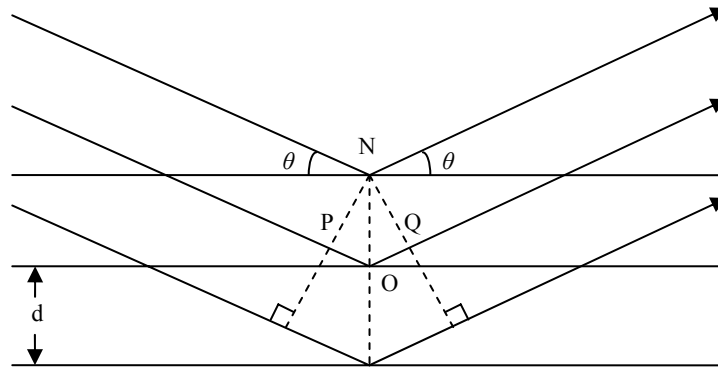


FIGURA 7 - Difração de raios-X por um cristal (PADILHA; AMBROSIO FILHO *apud* CARVALHO JR., 2005).

Só ocorrerá reflexão, isto é, interferência construtiva, se a distância extra percorrida por cada feixe for um múltiplo inteiro de λ . Por exemplo, o feixe difratado pelo segundo plano de átomos percorre uma distância $PO + OQ$ a mais do que o feixe difratado pelo primeiro plano de átomos Padilha; Ambrosio Filho *apud* Carvalho Jr. (2005).

A análise é realizada a partir de um fragmento do bloco do qual foram retirados o pó do material cerâmico calcinado e uma amostra do sistema argamassa/substrato.

3.4.3 Microscópio eletrônico de varredura

No estudo de materiais de Engenharia três tipos de microscopia são utilizados: microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). Entretanto, para a análise de superfícies irregulares, destaca-se o potencial do MEV devido à sua excelente profundidade de foco e ampla faixa de aumentos. Esse instrumento é utilizado para a análise morfológica dos materiais.

Segundo Goldstein (1992), a formação da imagem no MEV se dá através de elétrons de alta energia que são focados em um feixe fino, o qual é varrido sobre a superfície da amostra. Interações complexas do feixe de elétrons com os átomos da amostra produzem uma larga variedade de emissões de radiação. Componentes dessa radiação são coletados pelos detectores específicos, enquanto o sinal resultante é amplificado e

exibido num tubo de raios catódicos ou tela de televisão, varrido em sincronismo com a varredura da amostra.

Brandão *apud* Carvalho Jr. (2005) identifica os processos de interação possíveis do elétron com a matéria conforme ilustra a FIG. 8.

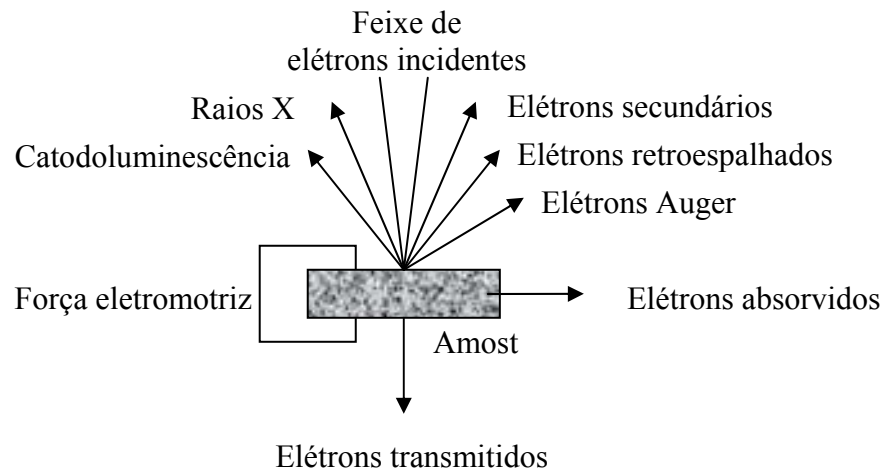


FIGURA 8 – Processos de interação possíveis durante a incidência de um feixe de elétrons em uma amostra sólida (BRANDÃO *apud* CARVALHO JR, 2005).

Os raios-X são utilizados na microanálise do material. De acordo com a Lei de Moseley, a energia dos fótons emitidos do volume irradiado da amostra é proporcional ao número atômico. O volume excitado para a radiação X é dado pelo espalhamento do feixe primário de elétrons com o núcleo do átomo. A zona excitada é maior que o diâmetro do feixe, por causa das mudanças que ocorrem no momento do elétron. O volume produzido dos raios-X é determinado essencialmente pela energia do feixe primário; entretanto, o formato desse volume depende particularmente do número atômico (PADILHA; AMBROSIO FILHO, 1985).

Segundo Brandão (2005), o vértice do feixe de elétrons deve apresentar o mínimo diâmetro possível (aproximar-se o máximo possível de um ponto). Quanto menor for o diâmetro, maior será número de detalhes na amostra (maior será o aumento máximo potencial do aparelho).

Brandão (2005) observa ainda a necessidade de preparo da amostra para que se torne condutora. Como o material cerâmico não é condutor, sua metalização é feita com uma

película de ouro e, eventualmente, paládio. A cobertura condutora e o contato com o porta-amostras também permitem a remoção do calor gerado pela interação do feixe de elétrons com a amostra. Posteriormente a amostra é posicionada na câmara do MEV, é colocada no vácuo apropriado, da ordem de 10^{-5} a 10^{-6} Torr, para que se proceda à sua análise.

Para se obter a amostra, corta-se o bloco cerâmico e posteriormente fratura-se essa amostra. O real entendimento a respeito do material se dá pela microanálise realizada tanto na face quanto na fratura do bloco cerâmico. Observa-se também com detalhes a relação argamassa-substrato para a verificação do agulhamento da pasta na face do bloco.

3.4.4. Microanalisador EDS

O microanalisador EDS (espectrômetro dispersivo em energia) tem como finalidade identificar os constituintes do bloco cerâmico, da argamassa e do conjunto argamassa/bloco cerâmico através de microanálise química. Esse aparelho é acoplado no MEV utilizado no estudo e, segundo Brandão *apud* Carvalho Jr. (2005), tem estas características principais:

- Apresenta funcionamento conceitualmente simples.
- Apresenta somente um componente essencial: o detector de estado sólido, constituído de silício (Si) dopado com lítio (Li).
- Gera um espectro simultâneo.
- É relativamente barato, em comparação com os demais instrumentos utilizados para esse tipo de análise.
- Não tem partes móveis.

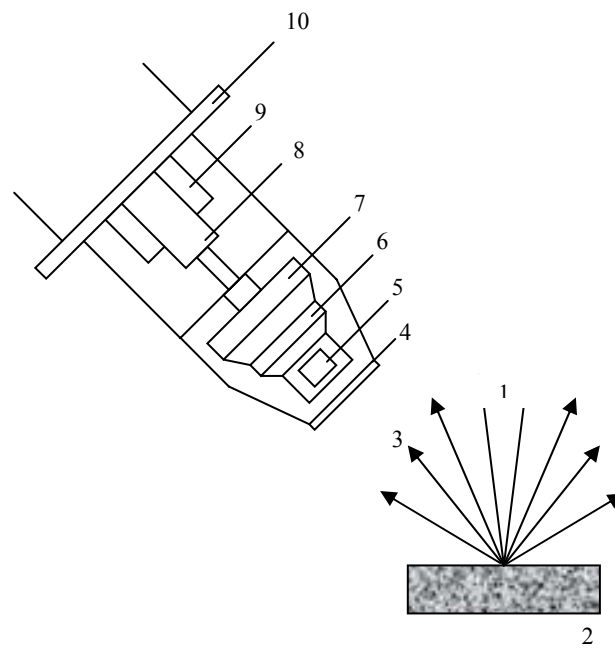


FIGURA 9 – Principais constituintes do EDS (em conjunto com feixe de elétrons incidentes e raios-X emitidos pela amostra) (BRANDÃO *apud* CARVALHO JR, 2005).

Legenda:

1. Feixe de elétrons incidentes.
2. Amostra.
3. Raios-X emitidos pela amostra.
4. Colimador de raios-X.
5. Armadilha para elétrons (campo magnético que age como um filtro para impedir a passagem de elétrons e permitir que só passem raios-X).
6. Janela.
7. Cristal detector de raios-X.
8. “Dedo frio” (filamento condutor de calor, para garantir temperaturas abaixo de 200°C negativos na região, por contato com nitrogênio líquido).
9. Sonda de aço inox.
10. Flange de vácuo.

Os pontos analisados revelam a composição química dos óxidos que provavelmente serão formados no material em análise.

4 METODOLOGIA

4.1 Seleção dos materiais, composição das argamassas e variação das bases

A apresentação da metodologia adotada seguiu a seqüência da tese de doutorado de Carvalho Jr. (2005), coerentemente com a necessidade de dados para a aplicação dos materiais nas bases e na coleta de amostras para posteriores bases de dados.

4.1.1 Componentes da alvenaria

Como elemento constituinte da alvenaria e devido à sua larga utilização, o bloco cerâmico foi muito utilizado na vedação de edifícios. Além disso, com o crescente desenvolvimento de técnicas para otimizar sua produção, tornou-se comum a aplicação de camadas de revestimentos para suprimir etapas como o chapisco. Para o assentamento dos blocos, foi utilizada uma argamassa industrializada de reboco, uma vez que nesse ponto não há influência direta na metodologia de análise tanto macroestrutural quanto microestrutural.

4.1.2 Cimento

O cimento escolhido foi o CP II-E-32 (dando continuidade às pesquisas iniciadas por Carvalho Jr. em 2005). Dessa forma, acredita-se que se está trabalhando novamente com um produto de corriqueira utilização no mercado da construção civil. Na argamassa industrializada escolhida, o cimento tipo CP II –E-32 foi o aglomerante utilizado na mistura contida na sacaria-padrão.

4.1.3 Areia

Como já se mencionou, a areia é de suma importância no balizamento dos parâmetros, uma vez que a análise feita no agregado forneceu diretrizes que foram comparadas com os resultados, para formar as relações com as propriedades mecânicas e estruturais da argamassa. A areia utilizada nos traços convencionais, rodados no canteiro de teste, foi adquirida no mercado de Belo Horizonte e, antes de sua utilização, passou pela peneira de malha 2,4mm para retirada de impurezas. A areia artificial utilizada tanto no segundo traço convencional quanto na argamassa industrializada era oriunda da

Mineração Fazenda dos Borges, no município de São José da Lapa, reserva de calcário da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

4.2 Combinações de traços e materiais

De acordo com a matriz apresentada na TAB. 6, foram confeccionados 9 painéis de alvenaria, todos com a mesma base cerâmica, sem chapisco, para o desenvolvimento dos testes e as avaliações subsequentes.

TABELA 6 - Matriz de trabalho

Argamassa com areia artificial
3 painéis com traço 1:7, sem chapisco
Argamassa com areia convencional
3 painéis com o traço 1:7, sem chapisco
Argamassa industrializada
3 painéis com traço 1:7, sem chapisco

Os painéis foram assentados lateralmente em seqüência, de acordo com a FIG. 10. Na área de assentamento do reboco foram executados os ensaios de arrancamento (total de 6 amostras) segundo a norma *ABNT NBR 13528 – Determinação da resistência de aderência à tração - Método de Ensaio*. No mesmo painel foram extraídos 2 CPs para a análise da interface através da utilização de MEV/EDS (posteriormente houve nova extração de CPs para realização de testes com a DRX e a FRX) e absorção d'água *in situ*. Esse método de avaliação segue as práticas e a seqüência utilizada em Carvalho Jr. (2005). Com relação às argamassas escolhidas para a confecção dos painéis e o posterior revestimento, o critério adotado foi parametrizar os traços de argamassas com a mesma quantidade de cimento e agregado. A argamassa industrializada foi confeccionada utilizando a proporção de 1:7 (cimento:areia). Para que o universo de variáveis fosse o menor possível, os demais traços também foram dosados na mesma proporção do industrializado. Nessas condições, foi possível avaliar a influência dos aditivos na mistura e a troca do agregado miúdo natural pelo artificial nos traços propostos.

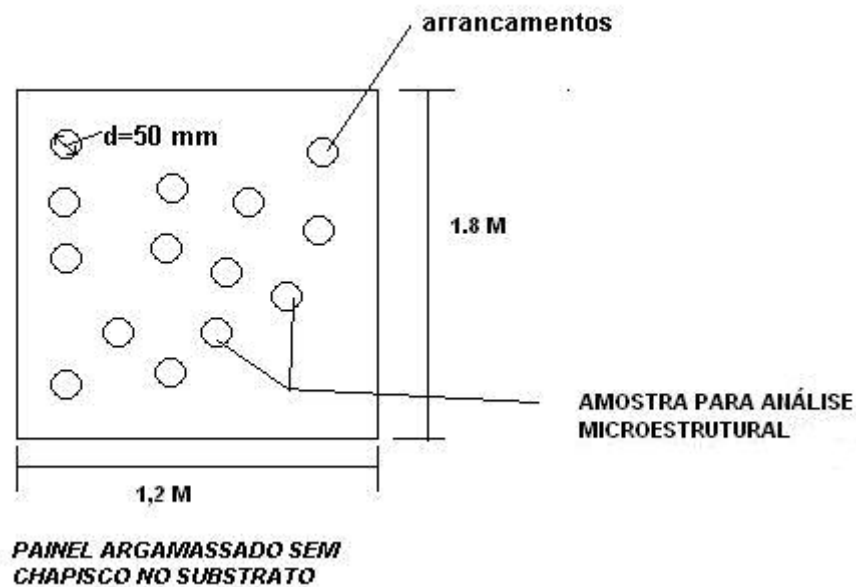


FIGURA 10 - Croquis dos painéis de alvenaria executados.

Com a utilização de ferramentas de análise microestrutural/mineralógica (MEV/EDS, FRX e DRX) em conjunto com os tradicionais testes de arrancamento observou-se a relação entre a avaliação macroestrutural e a avaliação microestrutural. A matriz de trabalho foi composta por argamassas industrializadas e convencionais, que foram aplicadas em alvenarias de blocos cerâmicos. Na seqüência, executaram-se estas ações:

- Avaliação dos resultados da caracterização no estado fresco e endurecido das argamassas propostas pela matriz de trabalho.
- Avaliação dos resultados da resistência de aderência à tração das argamassas supracitadas na matriz de trabalho, aplicadas sobre a alvenaria de blocos cerâmicos (sem chapisco).

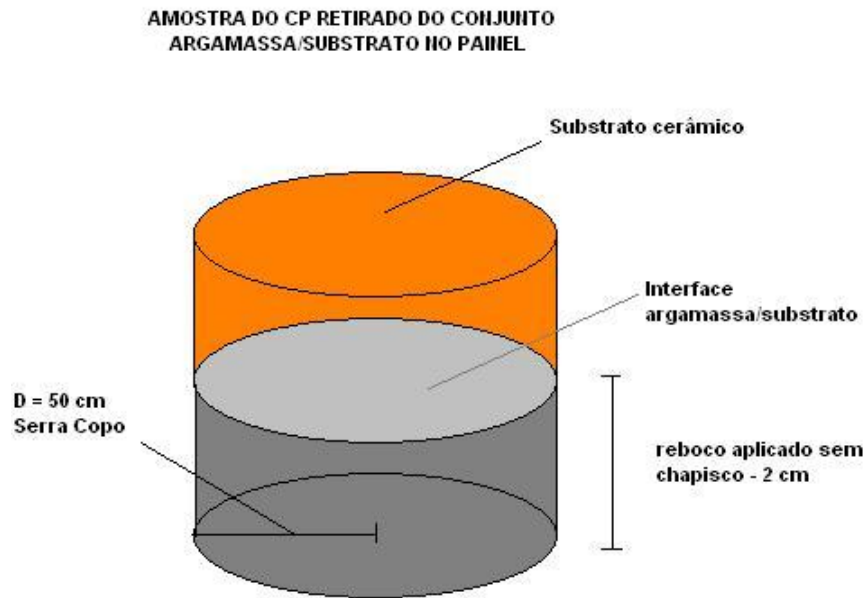


FIGURA 11 - Croqui da amostra retirada do painel para preparo da amostra utilizada na avaliação microestrutural.

- Análise morfológica microestrutural realizada no MEV: depois de extraído da parede um corpo de prova composto de parte da argamassa e parte do bloco cerâmico, observaram-se os produtos da hidratação do cimento presentes na interface argamassa / bloco cerâmico.

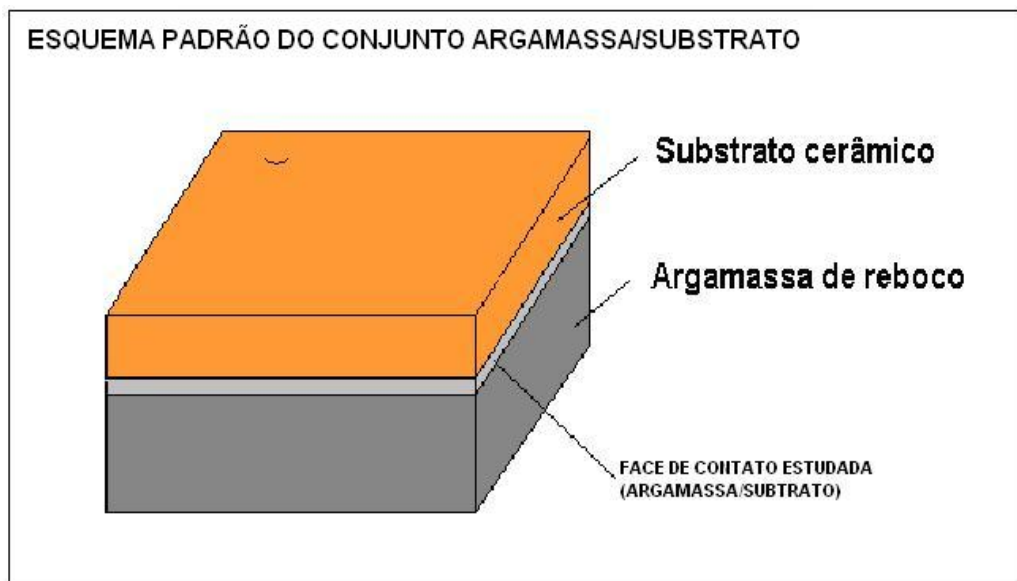


FIGURA 12 - Detalhe da amostra retirada para análise do conjunto argamassa/substrato.

- Análise química com o microanalisador EDS para a identificação dos microconstituintes.
- Avaliação da profundidade de penetração da pasta de aglomerante no bloco cerâmico com o microanalisador EDS para traçar (no bloco cerâmico a partir da interface com a argamassa de revestimento) o perfil dos elementos oriundos da hidratação do cimento.

Realizaram-se também os testes da fluorescência de raios-X em uma camada estabelecida de 0,5mm no bloco cerâmico a partir da interface com a argamassa de revestimento. Essas análises buscaram identificar os compostos oriundos da hidratação do cimento localizados no interior dos poros do bloco cerâmico indicando, assim, a eficiência de penetração do aglomerante. A avaliação considerou relevante a relação intersticial entre a pasta e o agregado miúdo na zona de penetração inicial (face do bloco).

4.3 Execução dos painéis de alvenaria (painéis-teste)

Para a execução dos painéis e realização dos testes, foram controladas as condições de umidade relativa do ar, temperatura e incidência de insolação sobre o revestimento no momento da aplicação. A temperatura no momento da aplicação das argamassas sobre a base cerâmica variou pouco mantendo uma média de 25°C e umidade relativa do ar na faixa de 65% sem insolação direta no mento do revestimento. Neste estudo procurou-se cumprir todas as etapas nos mesmos intervalos de tempo, reduzindo as possíveis variações entre os índices monitorados durante as etapas construtivas e testes (ANEXOS I e III).

Os painéis foram executados para a realização dos testes de campo compreendidos na matriz de trabalho e de acordo com a seqüência a seguir.



FIGURA 13 - Início da execução da alvenaria para revestimento argamassado sobre base cerâmica (sem chapisco).



FIGURA 14 - Execução da alvenaria para revestimento argamassado sobre base cerâmica (sem chapisco).



FIGURA 15 - Paineis para revestimento argamassado sobre base cerâmica (sem chapisco).



FIGURA 16 - Painéis prontos para aplicação das argamassas de revestimento (sem chapisco).

4.4 Aplicação das argamassas de revestimento nos painéis-teste



FIGURA 17 - Colocação dos pontos para espessura do revestimento argamassado (sem chapisco).



FIGURA 18 - Aplicação das argamassas de revestimento (sem chapisco).



FIGURA 19 - Regularização da argamassa após o sarrafeamento da argamassa.



FIGURA 20 - Painel de revestimento sarrafeado e desempenado liso.



FIGURA 21 - Visão final do painel pronto para os testes no estado endurecido.

4.5 Metodologia de obtenção de amostras para as análises macro e microestrutural



FIGURA 22 - Corte do CP para arrancamento e amostras dos painéis prontos para os testes no estado endurecido.



FIGURA 23 - Visão da interface argamassa/substrato a ser estudada.



FIGURA 24 - Colagem das placas para o teste de resistência a tração.



FIGURA 25 - Painéis prontos para execução dos testes de arrancamento e extração dos testemunhos para avaliação microestrutural.

4.6 Ensaios de caracterização dos blocos

4.6.1 Caracterização microestrutural do bloco cerâmico

- Análise semiquantitativa e quantitativa com uso de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) feita com o material retirado do bloco cerâmico a partir da interface do bloco. Mediante essas análises, buscou-se identificar os compostos oriundos da calcinação na fabricação (argila) e localizados no interior dos poros do bloco cerâmico.
- Análise com a difração de raios-X (DRX), método do pó, difratometria, estudos qualitativos e quantitativos a fim de conhecer a composição mineralógica do material cerâmico.
- Análise morfológica microestrutural por meio do MEV: depois de extraído um tablete da parede composto de parte bloco cerâmico puro, observaram-se os componentes cerâmicos presentes na face do substrato na qual se aplicam os produtos à base de cimento Portland.
- Análise química com o microanalisador EDS para identificar os constituintes.

4.6.2 Ensaios de caracterização física do bloco cerâmico

4.6.2.1 Absorção de água do bloco cerâmico

Realizou-se o ensaio de absorção d'água no bloco cerâmico conforme a norma *ABNT NBR 8947 - Telha Cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água*⁴, que recomenda a limpeza e a secagem da amostra em estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, até a obtenção de massa constante. Procedeu-se, então, à pesagem (em balança com precisão de 1g) para se obter a massa expressa em gramas (M_s). Em seguida fez-se a imersão do corpo de prova em recipiente com água fervente, no qual permaneceu por duas horas, deixando-se esfriar até a temperatura ambiente (sempre coberto pela água). Após a retirada, por meio de pano úmido, do excesso de água da superfície do corpo-de-prova, este foi novamente pesado, a fim de se obter a massa do corpo-de-prova em estado saturado de água (M_h). Então, a absorção de água, AA, foi expressa assim:

$$AA(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} \quad (1)$$

Onde:

AA: absorção de água

M_h : massa do corpo-de-prova em estado saturado em água

M_s : massa do corpo-de-prova

4.6.2.2. IRA (*initial rate of absorption*) do bloco cerâmico

Candia (1998) ressalta que o IRA (taxa inicial de absorção) é uma das propriedades que influencia diretamente na resistência de aderência à tração do conjunto argamassa/substrato. De acordo com Carvalho Jr. (2005), o IRA é o índice de absorção de água capilar inicial do componente de alvenaria, em gramas, equivalente à quantidade de água absorvida por uma área padrão de $193,55\text{cm}^2$ do componente, durante o primeiro minuto de imersão em 3,18mm de coluna d'água

⁴ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 8947 - Telha Cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água* que foi cancelada e substituída por: *NBR 15310 Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio*.

O ensaio é preconizado pela norma *ASTM C67-97 - Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile* e pode ser resumido nestas ações:

- Determinar a área superficial da face do componente de vedação.
- Colocar em estufa até a constância de massa e deixar os componentes à temperatura ambiente por 4 horas, sem contato com umidade.
- Colocar a face em contato com um filme de água para que a altura desse filme seja de 3,18mm no componente.
- Determinar a massa de água absorvida em 60s.

O IRA é determinado por:

$$IRA = (M_f - M_{se}) \times \frac{193,55}{A_f} \quad (2)$$

Onde:

M_f é a massa final do componente após 1 minuto de imersão em 3,18mm de coluna d'água, em gramas.

M_{se} é a massa do componente após secagem em estufa e equilíbrio higroscópico com o ambiente, em gramas.

A_f é a área da face de revestimento do componente submetido ao ensaio, em centímetros quadrados.

4.6.2.3 Área superficial específica: adsorção de nitrogênio (BET)

A adsorção de gases é rotineiramente empregada na caracterização da área superficial específica e da porosidade dos materiais. Realiza-se a determinação da área superficial específica pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller). Quantachrome. Os dados são gerados automaticamente através do Quantachrome Corporation NOVA Enhanced Data Reduction Software Vers. 2.13.

O cálculo também pode ser feito mediante a equação proposta por Langmuir. O modelo de adsorção proposto por Langmuir assume que todos os sítios estão inicialmente livres, não considera reações reversíveis e supõe que as espécies adsorvidas interagem somente

com um sítio ativo formando uma monocamada. Embora as hipóteses do modelo não sejam sempre atendidas, a equação de LANGMUIR, em certos casos, pode ser satisfatória na descrição dos fenômenos de adsorção.

4.6.2.4 Massa específica: análise de densidade por picnômetro a hélio

A densidade do material cerâmico é obtida mediante um picnômetro a hélio. Esse instrumento utiliza o método de deslocamento de gás, de acordo com o qual o gás é capaz de penetrar todos os poros abertos maiores que o diâmetro de sua molécula, e o que não é penetrado pelo gás é considerado como o volume de sólido. A principal vantagem dessa técnica reside na não-interação do gás com os constituintes da amostra.

A densidade será determinada assim:

$$VP = VC + \frac{VA}{1 - \frac{P2}{P3}}$$

$$\text{Densidade} = \frac{m}{VP}$$

VC = Volume da célula (cm³)


VP = Volume da Amostra (cm³)

VA = Volume adicionado (cm³)

m = Massa da Amostra (g)

P2= Leitura da pressão da célula em VA OUT

P3 = Leitura da pressão da célula em VA IN

 Dados colhidos da amostra

4.7 Ensaio de caracterização da argamassa no estado fresco

Todos os testes relacionados a seguir foram realizados nas três variações de argamassas sugeridas na matriz de trabalho apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais*.

4.7.1 Consistência

A consistência é a propriedade que confere à argamassa resistência à deformação ao longo do tempo de aplicação. Essa característica foi avaliada através do teste *flow table*.

Depois de previamente misturada (em batedeira própria, com o misturador mecânico, durante 4 minutos, em rotação lenta) com a consistência conforme os parâmetros, aplicou-se a argamassa sobre a mesa de ensaio. Em seguida, moldou-se o troco de cone

em três camadas sucessivas sobre o aparelho (mesa articulada) e aplicaram-se 15, 10 e 5 golpes respectivamente. A argamassa moldada foi vibrada por golpes sucessivos da mesa e deformada nessas quedas uniformes (manivela acionada 30 vezes em 30 segundos). Depois da última queda da mesa, realizaram-se medidas de três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro. O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas, expressa em milímetros e arredondada para o número inteiro mais próximo. Tomou-se esse valor e comparou-se com as normas ou com o índice histórico requerido para aquele trabalho.

4.7.2 Retenção de água

Define-se a retenção de água como a capacidade da argamassa de manter sua consistência no estado fresco na perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente). A ineficiência nessa propriedade diminui a resistência mecânica do material no estado endurecido, devido à perda da água necessária para hidratação dos compostos do cimento nas primeiras idades. O aumento da capacidade de retenção de água pode ser conseguido com o uso de aditivos.

Para se realizar esse ensaio, utilizou-se um molde de aço nas dimensões de 100mm de diâmetro e 25mm de altura (medidas internas), que foi pesado em balança com resolução de 0,1g (registro da massa: Mm). Todos os itens usados foram pesados na mesma balança (discos de papel-filtro secos - 85g/cm^2 e 110mm de diâmetro)

Preencheu-se o molde com argamassa usando-se uma espátula em 10 camadas iguais até formar um pequeno abaulado (arrasado posteriormente). O molde com argamassa foi pesado na balança com resolução de 0,1g (registro da massa: Mma). Sob a superfície da argamassa, colocaram-se duas telas de gaze (110mm), o conjunto de discos de papel-filtro e uma placa rígida (110mm de diâmetro, 5mm de espessura). Colou-se sobre a placa rígida um peso de 2kg. Em seguida, contaram-se 2 minutos da aplicação do carregamento e retiraram-se o peso de 2kg e a placa rígida. O conjunto de papéis-filtro foi retirado e imediatamente pesado na balança com resolução de 0,01g (registro de massa: Mf).

O valor do índice da retenção de água foi calculado através desta equação:

$$Ra = \left[1 - \frac{(Mf - Mse)}{AF \times (Mma - Mm)} \right] \times 100 \quad (3)$$

Onde:

Ra é a retenção de água (arredondada ao número inteiro mais próximo)

AF é o fator água/argamassa fresca: $AF = \frac{Mw}{M + Mw} \quad (4)$

Mw é a massa total de água acrescentada à mistura, em gramas.

M é a massa da argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em gramas.

Mf é a massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em gramas.

Mse é a massa do conjunto de discos secos, em gramas.

Mma é a massa do molde com argamassa, em gramas.

Mm é a massa do molde vazio, em gramas.

4.7.3 Massa específica e ar incorporado

A massa específica é a relação entre a massa do material sólido e seu volume (sem vazios). A massa específica aparente também é definida da mesma forma, só que considerando o volume de vazios. A massa unitária é a massa de um material que ocupa um recipiente com capacidade predeterminada e calibrada.

Para determinação da massa específica, geralmente preenche-se de argamassa um recipiente cilíndrico, rígido, de volume e massa conhecidos e calibrado. Após o adensamento e o arrasamento da superfície da argamassa e a limpeza externa do copo, é determinada a massa do conjunto (copo + argamassa). A massa específica da argamassa foi expressa assim, através da equação:

$$\gamma_{\text{arg}} = \frac{M_{\text{ma}} - M_{\text{m}}}{V_{\text{m}}} \quad (5)$$

Onde:

γ_{arg} : massa específica da argamassa, em gramas /decímetro cúbico.

M_{ma} : massa do molde cheio de argamassa, em gramas.

M_{m} : massa do molde vazio, em gramas.

V_{m} : volume do molde em decímetro cúbico.

No mesmo momento da realização do teste de determinação da massa específica, determinou-se também o teor de ar incorporado pelo método pressométrico, que é mais simples e baseia-se na relação entre a pressão e o volume em uma dada temperatura. Nesse método, o medidor empregado é constituído por uma campânula de medida e um sistema de vedação. O seu princípio de operação consiste na introdução de água sobre a amostra de argamassa e na aplicação de uma pressão de ar preestabelecida sobre a água, por meio de uma bomba.

A determinação consistiu em reduzir o volume de ar da amostra de argamassa, pela observação da quantidade de água que foi pressionada sobre a amostra. Obteve-se diretamente uma porcentagem de vazios de ar na amostra de argamassa.

TABELA 7 - Teor de ar incorporado de argamassas e cimentos

Teor de ar incorporado		Teor de ar (%)	
Referência	Tipo de Material	Min.	Máx.
BS 4721	Argamassa pré-misturada	7	18
BS 4887	Argamassa com aditivo incorporador de ar	14	20
BS 5224	Cimento de alvenaria	10	25
ASTM C 91	Cimento de alvenaria	15	22
ASTM 270	Argamassa para alvenaria	12	18
AS 1316	Cimento de alvenaria	10	x

Fonte: CANDIA, 1998.

4.8 Ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido

Todos os testes relacionados a seguir foram realizados nas três variações de argamassas sugeridas na matriz de trabalho apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais*.

4.8.1 Resistência à compressão

A resistência mecânica tanto do concreto quanto das argamassas de revestimento consiste na capacidade dessas argamassas de resistir às solicitações de compressão, tração e cisalhamento. Já a resistência mecânica reside basicamente na natureza dos constituintes, na composição do traço (aglomerante/agregado, relação água/cimento) e na energia de amassamento. A forma de aplicação é um fator variante à parte.

Para a determinação da resistência à compressão, foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos (molde de 5cm x 10cm), por idade, com argamassa recém-preparada apresentando o índice de consistência padrão alcançado e ideal. Os corpos de prova foram mantidos 48 horas nos moldes (em câmara úmida, com a umidade relativa do ar mínima de 95%) e, depois de desmoldados, foram imersos em água (dentro da câmara) até a idade do ensaio. Os CPs foram capeados com enxofre. Após a ruptura dos corpos de prova com prensa própria, foram calculadas a resistência individual (carga de ruptura de cada CP dividida pela área da seção do CP, expressa em MPa) e a resistência média (média das resistências individuais, expressa em MPa).

4.8.2. Módulo de elasticidade dinâmico

Define-se módulo de elasticidade como a relação entre a tensão normal e a correspondente deformação. Nos materiais metálicos, o módulo de elasticidade é determinado e mantido constante, de acordo com tipo de material. Nos materiais à base de cimento, como argamassas e concreto, o valor depende de seus constituintes, por não serem materiais elásticos.

Quando aplicamos a lei de Hooke temos um valor que pode estar mascarado, pois o comportamento elástico dos constituintes é heterogêneo. Para que não houvesse essas variantes em um espaço amostral pequeno, resolveu-se determinar o módulo de elasticidade através da metodologia da medida dinâmica.

Carvalho Jr. (2005) ressalta que o princípio dessa determinação está embasado na existência da relação entre a velocidade do som através do material e a frequência de ressonância, e o módulo de elasticidade do material. Como trabalhamos com um material sólido e heterogêneo, usamos os CPs a ser rompidos para estameição, uma vez que possuem as mesmas dimensões.

A velocidade do som é diretamente relacionada às características de vibração, à massa específica e às características elásticas do meio. Carvalho Jr. (2005) *apud Modalités d'essais – Cahier 2669-4*, do CSTB (1982) cita que a avaliação pode ser realizada através de três corpos de prova prismáticos de 2,5cm x 2,5cm x 28,5cm e o módulo de elasticidade dinâmico é obtido assim:

$E_d = \frac{4L^2 F^2 P}{G} \times 10^{-6} \quad (6)$
<p>Onde:</p> <p>E_d: módulo de elasticidade dinâmico longitudinal, em N/mm²</p> <p>L: comprimento do CP, em metros</p> <p>F: frequência de ressonância, longitudinal, em hertz</p> <p>P: peso volumétrico, N/m³</p> <p>g: aceleração da gravidade, em m/s²</p>

TABELA 8 - Potencial de fissuração das argamassas

Propriedade	Baixa Fissurabilidade	Média Fissurabilidade	Alta Fissurabilidade
E_d Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	$E_d \leq 7000$	$7000 \leq E_d \leq 12000$	$E_d \geq 12000$
$\frac{\Delta l}{l}$ Retração (mm/m)	$\frac{\Delta l}{l} < 0,7$	$0,7 < \frac{\Delta l}{l} < 1,2$	$\frac{\Delta l}{l} > 1,2$
$\frac{E_d}{f_t}$ Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e tração na flexão	$\frac{E_d}{f_t} \leq 2500$	$2500 < \frac{E_d}{f_t} < 3500$	$\frac{E_d}{f_t} > 3500$

Fonte: CSTB, 1982.

4.9 Ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base

Todos os testes relacionados a seguir foram realizados nas três variações de argamassas sugeridas na matriz de trabalho apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais*.

4.9.1 Resistência de aderência à tração

Um dos testes mais relevantes a ser relacionados posteriormente é o de resistência de aderência de uma argamassa. Sabatini (1998) observa que a resistência de aderência à tração deriva basicamente das propriedades mecânicas observadas na interface argamassa/substrato.

A capacidade da argamassa de absorver tensões normais e tangenciais à superfície da interface argamassa/base relacionada com os dados microestruturais balizou a influência dos constituintes na resistência do material aplicado sobre a base.

Para um bom desempenho do material argamassado no estado endurecido, as características no estado fresco estavam dentro dos padrões otimizados nesse experimento. Como a base do substrato sofreu o mesmo tratamento de preparação, ou seja, em condições ideais, o desempenho do material sob tração está diretamente relacionado com a influência do agregado miúdo sobre a pasta e da penetração da pasta nos poros da base.

O ensaio de aderência à tração foi realizado através do teste de arrancamento de componentes metálicos de encaixe ($D = 50\text{mm}$), coladas com cola epóxi EPD sobre a superfície da argamassa, conforme se pode verificar na FIG. 26.



FIGURA 26 - Teste de resistência de aderência.

4.9.2 Permeabilidade à água

A CSTC (1982) avalia o item permeabilidade à água utilizando o método do cachimbo para avaliação *in situ* em superfícies verticais, como no caso das alvenarias de vedação.

Nesse caso colou-se com silicone em gel o cachimbo de vidro (com pescoço graduado) preenchido com água até a referência do nível. Registrou-se, a cada minuto, a leitura à altura dos olhos, o abaixamento do nível de água, em centímetros cúbicos, até completar 15 minutos ou até o nível de água atingir a marca de 4cm^3 . Foram realizadas medidas em três pontos de ensaio sobre cada tipo de base revestida (total de 3 painéis), distanciados em 1 metro, no mínimo.



FIGURA 27 - Realização de leitura do ensaio no pescoço graduado do cachimbo.

4.10 Avaliações microestruturais no sistema argamassa/ substrato

Para avaliação microestrutural, foram escolhidos os três painéis, de acordo com as três variações de argamassas sugeridas na matriz de trabalho, apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais* em que foram obtidos os melhores resultados de resistência de aderência à tração.

4.10.1 Análise com o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e o microanalisador EDS

De acordo com a metodologia desenvolvida para a avaliação microestrutural, devem-se preparar as amostras para a adequação aos aparelhos de obtenção de parâmetros. Assim, retiraram-se as amostras do conjunto argamassa/substrato com furadeira e serra-copo. Depois, com a utilização de um gabarito, as amostras são reduzidas com vistas ao preparo para o uso tanto no MEV/EDS quanto para o FRX.



FIGURA 28 - Amostras após redução no gabarito com maquina (não-metalizadas).

Com a realização dos cortes com maquina, fragmentos e pulverulências do material da argamassa para o bloco e vice-versa ficam impregnados na amostra, e isso pode mascarar os resultados. Limpam-se as amostras criteriosamente com detergente neutro e escova. Em seguida, elas foram colocadas em estufa para eliminar a umidade.

As análises no MEV foram realizadas no plano de corte a 0,5mm da zona de agulhamento da argamassa (FIG. 29) e após o lixamento (FIG. 30).

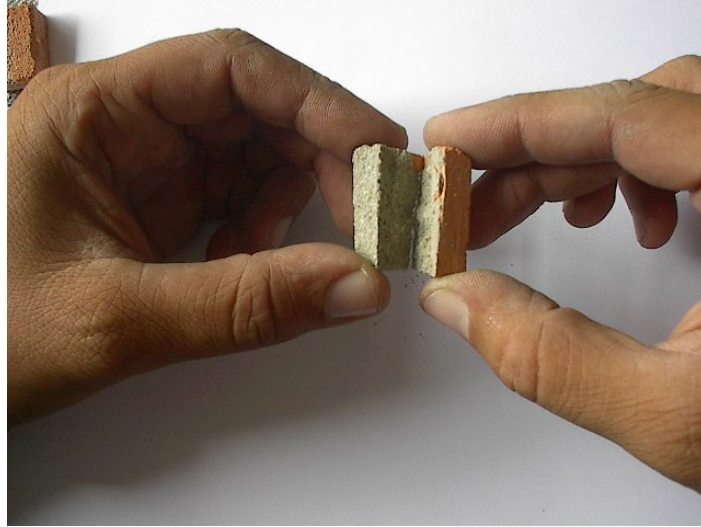


FIGURA 29 - Separação da amostra entre o revestimento argamassado e o bloco cerâmico.



FIGURA 30 - Superfície do bloco cerâmico da amostra (para análise no MEV) após a retirada do revestimento argamassado.

Através de análise química com o microanalisador EDS, realizaram-se análises pontuais onde havia maior concentração de materiais cimentícios hidratados.

4.10.2 Análise por fluorescência de raios-X (FRX)

As amostras foram preparadas para a análise com o FRX conforme detalhamento nos croquis exibidos nas FIG. 31, 32 e 33.

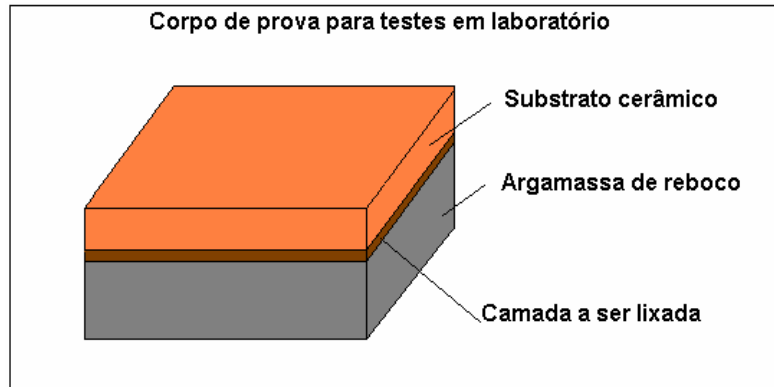


FIGURA 31 - CP a ser lixado (CARVALHO JR., 2005).

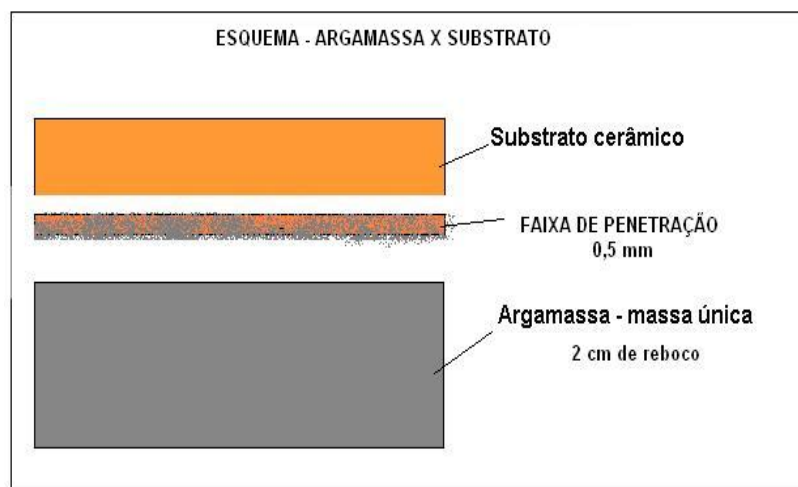


FIGURA 32 - Esquema das seções a serem medidas para a retirada da camada a ser analisada e controle de profundidade de lixamento.

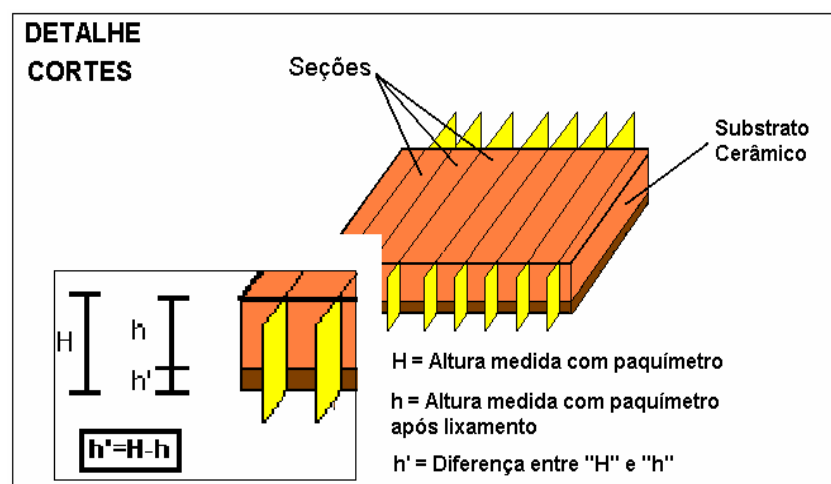


FIGURA 33 - Local da retirada das amostras por lixamento (faixa de penetração - 0,5 mm).

O material obtido a para análise de FRX (retirado das amostras por lixamento) pode ser visualizado nas FIG. 34, 35 e 36.

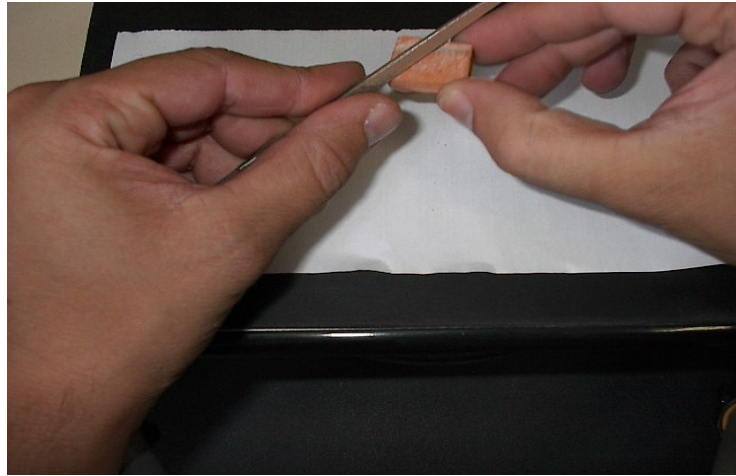


FIGURA 34 - Lixamento da superfície da amostra.



FIGURA 35 - Material proveniente do lixamento da amostra.



FIGURA 36 - Medidas sucessivas da espessura da amostra para avaliação da espessura da camada retirada por lixamento.

A fração lixada, proveniente de uma espessura específica (0,5 mm), foi colocada no porta-amostras com espátula; em seguida foi prensada para ser colocada no espectrômetro de fluorescência de raios-X, marca Philips, modelo PW-2400, com tubo de anodo de ródio.

O elemento-base escolhido para identificar a penetração de pasta nos poros da alvenaria, juntamente com a influência da tipologia do agregado foi o cálcio. Presente em grande quantidade nos produtos de hidratação do cimento, na areia artificial calcária e em pequena quantidade no bloco cerâmico puro, esse elemento funciona como um indicador do perfil de penetração da pasta de aglomerante no bloco. A avaliação também procede quando se muda a areia (artificial x natural), uma vez que as composições químicas diferem entre si. Quando acusada a composição na zona de 0,5mm, a tendência é o aparecimento mais evidente do Ca nas argamassas que possuem em sua composição o material calcário somado ao cimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se os resultados e as análises dos estudos realizados nos laboratórios do Departamento de Eng. de Minas, do Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais e nas dependências do Departamento de Materiais de Construção – Eng. Civil, todos pertencentes à Escola de Engenharia da UFMG.

5.1 Absorção de água no bloco cerâmico

TABELA 9 - Absorção de água do bloco cerâmico segundo a NBR 8947

Bloco cerâmico (n°)	M _h (g)	M _s (g)	Absorção de água (%)
1	5000	4350	14,94
2	5000	4300	16,27
3	4900	4250	15,29
4	4650	4000	16,25
5	4900	4300	13,95
6	5000	4300	16,27
7	4900	4250	15,29
8	4900	4300	13,95
9	4950	4100	15,85
10	4850	4200	15,47
11	4950	4300	15,21
12	5000	4300	16,27
13	4900	4300	13,95
14	4800	4200	14,28
15	4800	4150	15,66
Média			15,26
Desvio-padrão			0,89

As 15 amostras foram analisadas conforme as recomendações da norma *ABNT NBR 8947 - Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água - Método de ensaio*. De acordo com os resultados obtidos, as amostras ensaiadas atenderam dentro do limite preconizado pela *ABNT NBR 7171- Bloco cerâmico para alvenaria – Especificação*⁵. A norma técnica parametriza a absorção de água entre 8% e 25%.

⁵ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 7171 - Bloco cerâmico para alvenaria. Especificação* que foi cancelada e substituída por: *NBR15270-1 - Componentes cerâmicos - Parte 1 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos* e *NBR15270-2 - Componentes cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos*.

5.2 IRA (*initial rate of absorption*: ensaio de absorção inicial) - bloco cerâmico

TABELA 10 - IRA bloco cerâmico - ASTM C67-97 Face de assentamento

Amostra (n°)	Mse (g)	Mf (g)	Af (cm ²)	IRA (g)
1	4350	4400	258,1	37,50
2	4300	4350	258,1	37,50
3	4250	4300	258,1	37,50
4	4000	4050	258,1	37,50
5	4300	4350	258,1	37,50
6	4300	4350	258,1	37,50
7	4250	4300	258,1	37,50
8	4300	4350	258,1	37,50
9	4100	4150	258,1	37,50
10	4200	4250	261,0	37,08
11	4300	4350	261,0	37,08
12	4300	4350	261,0	37,08
13	4300	4350	261,0	37,08
14	4200	4250	261,0	37,08
15	4150	4200	261,0	37,08
Média				37,33
Desvio-padrão				0,21

TABELA 11 - IRA bloco cerâmico - ASTM C67-97 Face de revestimento

Amostra (n°)	Mse (g)	Mf (g)	Af (cm ²)	IRA (g)
1	4380	4450	551	24,59
2	4300	4400	551	35,13
3	4250	4350	550	35,19
4	4000	4100	550	35,19
5	4300	4400	551	35,13
6	4300	4400	551	35,13
7	4250	4350	551	35,13
8	4300	4400	550	35,19
9	4100	4200	551,5	35,10
10	4200	4300	551	35,13
11	4300	4400	550	35,19
12	4300	4400	551	35,13
13	4300	4400	550	35,19
14	4200	4300	551	35,13
15	4150	4250	551	35,13
Média				34,44
Desvio-padrão				2,73

A norma ASTM C67-97 prevê a utilização de, no mínimo, 10 amostras (com base na quantidade de blocos utilizados na confecção das paredes-teste). Repetiu-se a amostragem realizada para o ensaio de absorção de água (utilizaram-se 15 blocos). Realizaram-se dois tipos de análise, pois há o contato da argamassa de assentamento no bloco antes do revestimento final sobre o substrato.

Área em contato com a argamassa de assentamento do bloco = (09 x 29) cm ~ 261 cm².

Área em contato com a argamassa de revestimento do bloco = (19 x 29) cm ~ 551 cm².

Os valores obtidos no ensaio estão em consonância com a bibliografia: Galegos (1995) *apud* Carvalho Jr. (2005) aponta valores do ensaio IRA variáveis entre 10 e 160 gramas no caso de materiais cerâmicos. O material possui características de presença de poros capilares, e há aumento da possibilidade de agulhamento na face do substrato e, conseqüentemente, ganho de resistência mecânica por tração.

5.3 Massa específica: análise de densidade por picnômetro a hélio na amostra do bloco cerâmico

TABELA 12 - Análise de densidade por picnômetro a gás

Análise de densidade por Picnômetro a Gás			
Id. da Amostra:	Cerâmica Vermelha		
Amostra:	HM149/2005	VA (cm ³):	82,838
Operador(a):	João/Ilda	VC (cm ³):	181,982
Data:	24/5/2005	Volume (cm ³):	47,348
Massa (g):	132,82	Densidade média (g/cm ³):	2,81
Gás:	He		

Para se obter a densidade do material a ser analisado, retirou-se uma amostra do bloco. Portanto, a densidade obtida refere-se ao material já queimado e formatado. O valor de 2,81g/cm³ está de acordo com os valores relatados na literatura, e o material analisado possui uma densidade na faixa de 2,3 a 3,2 g/cm³. O resultado se justifica, já que se trata de argila calcinada, cujo teor de finos é preponderante para a alta aglomeração das partículas e a conseqüente alta densidade.

5.4 Área superficial específica - adsorção de nitrogênio (BET) na amostra de bloco cerâmico

A determinação da área superficial específica pelo método BET (Brunauer, Emmett e Teller) apresentou um resultado bastante satisfatório se for relacionada com os materiais cerâmicos em geral. Alcançou-se a área superficial específica de 8,3m²/g. Foi também realizada a porosimetria por adsorção/condensação de nitrogênio; ficou evidenciada a presença de nanoporos, de acordo com a distribuição obtida pela análise. Esta acusou a presença de poros que variavam de 1,75 a 77,2 nanômetros de diâmetro.

5.5 Espectrometria de fluorescência de raios-x (FRX) na amostra de bloco cerâmico

A análise realizada no aparelho de espectrometria de fluorescência de raios-X evidenciou alto teor de silício (Si) e alumínio (Al), médio teor de ferro (Fe) e baixos teores de potássio (K) e magnésio (Mg). Foram identificados também traços de zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), manganês (Mn), cromo (Cr), titânio (Ti), cálcio (Ca), fósforo (P) e enxofre (S). Os elementos encontrados reforçam os resultados obtidos através de MEV/EDS.

5.6 Difração de raios-X (DRX) na amostra de bloco cerâmico

A análise realizada no aparelho de difração de raios-X identificou o quartzo (SiO_2) como o mineral preponderante na amostra, seguido de microclina (KAlSi_3O_8). Constatou-se também a presença de hematita (Fe_2O_3), responsável pela tonalidade avermelhada da amostra ensaiada. Também ficou evidenciada a presença de quantidade relativamente elevada de fase amorfa (fase vítrea). A análise reafirmou os resultados obtidos na espectrometria de fluorescência de raios-X. Porém, esperava-se detectar a fase mineral mulita e a não-deteção desta fase está relacionada à composição química e ao tratamento térmico realizado. Provavelmente a temperatura de queima do material não alcançou a 1200°C , impossibilitando o seu aparecimento. A microclina deve-se à presença de alumínio e potássio, que favoreceram a sua formação. O alumínio, o silício e o ferro, em grande quantidade, favorecem a formação de fase vítrea. Portanto, a formação de microclina e de vidro inibiram o aparecimento da mulita, na faixa de temperatura usada na queima do bloco cerâmico.

5.7 Microscópio eletrônico de varredura (MEV) na amostra do bloco cerâmico

A seguir apresentam-se os estudos realizados no MEV/EDS e disponibilizam-se as fotos a ser analisadas.

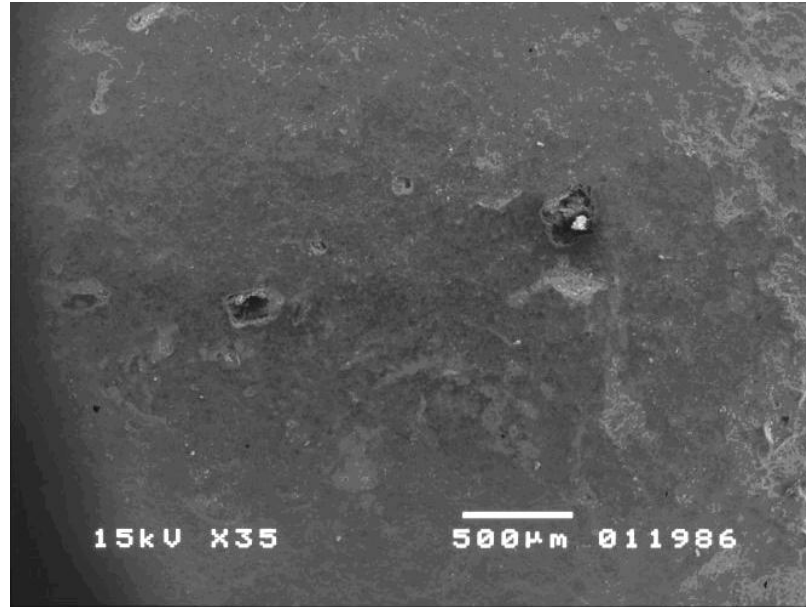


FIGURA 37 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, face externa (seção longitudinal).
Imagem de elétrons secundários.

Na FIG. 37, com aumento baixo, observa-se uma superfície aparentemente irregular, na qual estão incrustados pequenos fragmentos, possivelmente de quartzo. A diferença de tonalidades é provavelmente originada pela diferente metalização da amostra estudada.

A heterogeneidade do material calcinado possivelmente influi no processo de conformação da superfície em questão, uma vez que não há nenhum tratamento de polimento nos substratos cerâmicos (blocos) comercializados no mercado da construção civil.

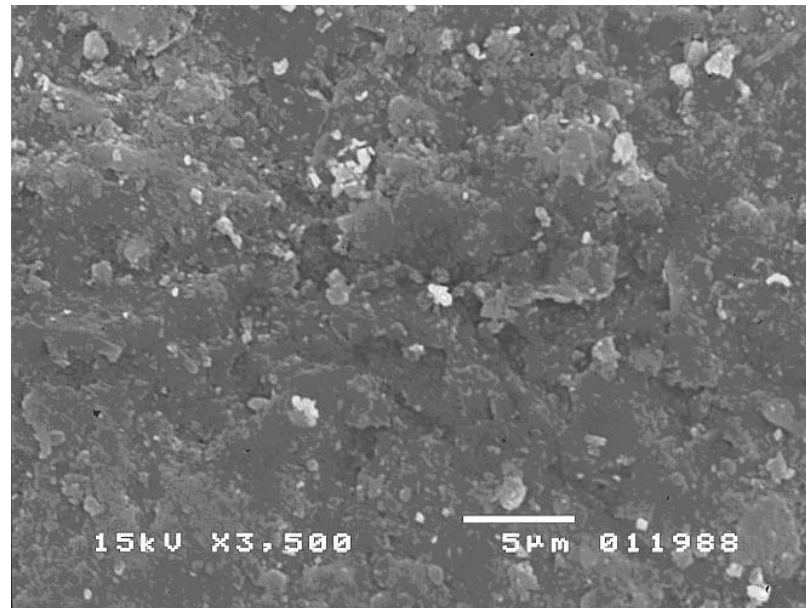


FIGURA 38 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, face externa (seção longitudinal).
Imagem de elétrons secundários.

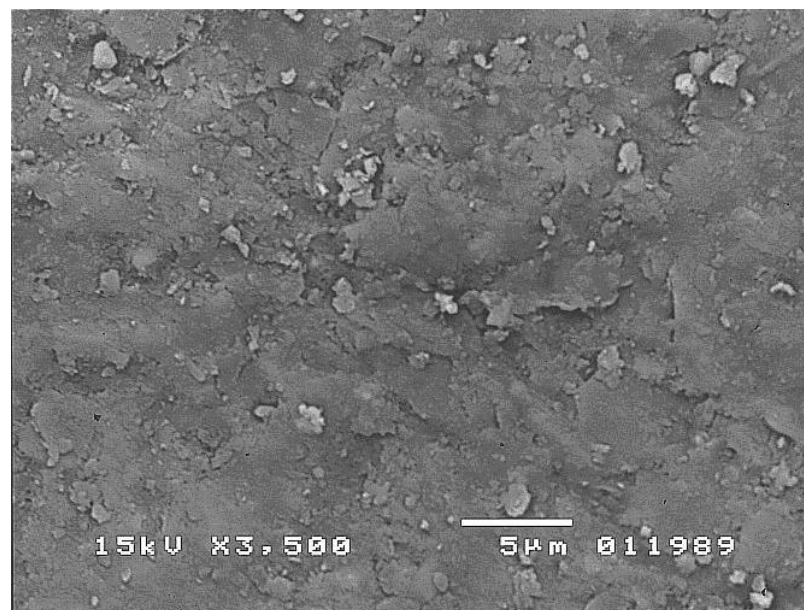


FIGURA 39 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, face externa (seção longitudinal).
Imagem de elétrons retroespalhados.

As FIGS. 38 e 39 mostram a mesma área, diferindo apenas o tipo de imagem eletrônica: elétrons secundários e retroespalhados. Como o aumento é elevado, observa-se uma superfície bastante irregular, na qual estão incrustados pequenos fragmentos, possivelmente de quartzo. O aspecto mais marcante é a presença de escamas, que são a manifestação morfológica da laminação, ou formação e destacamento parcial de lâminas

da massa argilosa, durante a extrusão do bloco. Esta heterogeneidade da superfície se mantém até o produto final.

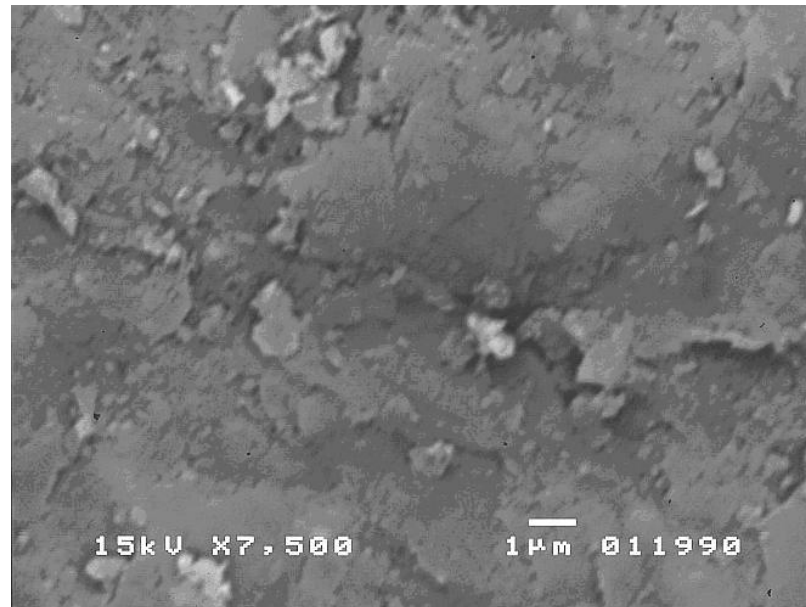
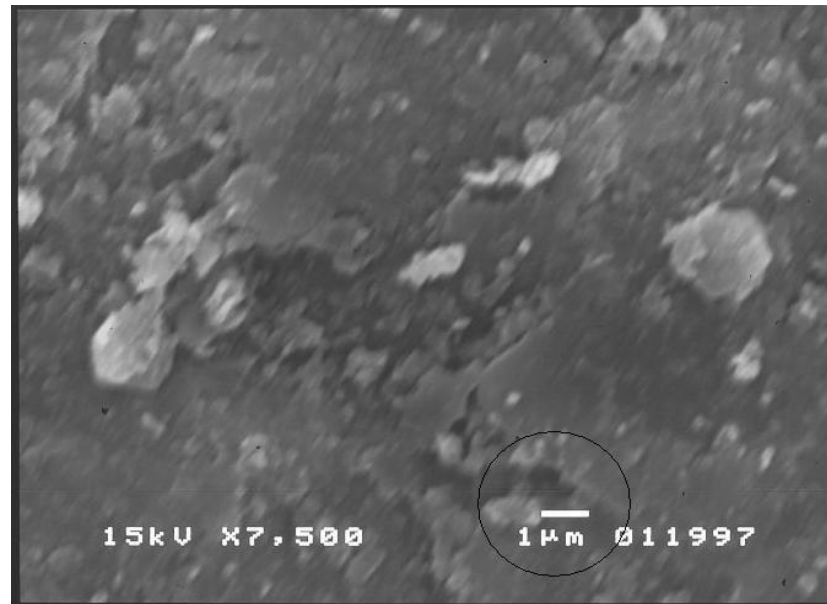


FIGURA 40 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, face externa (seção longitudinal). Imagem de elétrons secundários.

A FIG. 40 é uma ampliação da parte central das fotos anteriores e ilustra os aspectos morfológicos mencionados.

A presença de poros foi evidenciada nas FIGS. 41 e 42, porém, o material possui inúmeros poros com diâmetros bem inferiores aos visualizados aqui, detectados pela porosimetria de adsorção/condensação de nitrogênio.



FIGURAS 41 e 42 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, face externa (seção longitudinal), com detalhes dos poros. Imagem de elétrons secundários.

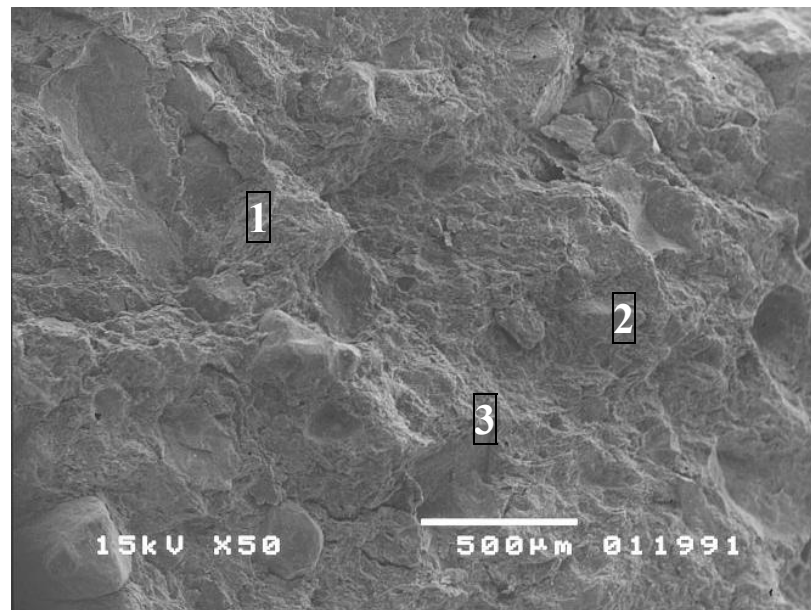


FIGURA 43 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, fratura (seção transversal). Imagem de elétrons secundários. Os números indicam miniáreas submetidas a microanálise EDS.

Na FIG. 43 observa-se a presença de cavidades e uma variação acentuada no relevo, porque a fratura lateral foi feita sem o controle de instrumento de precisão para corte.

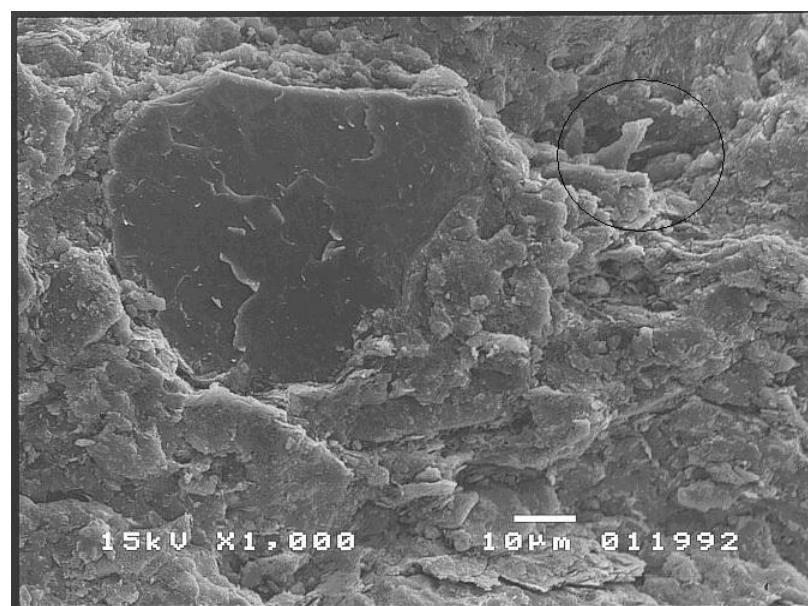


FIGURA 44 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, fratura (seção transversal). Imagem de elétrons secundários.

Na FIG. 44 evidenciam-se variações no relevo mais acentuadas e também alguns poros, fissurais e de arranjo de elementos da massa argilosa original, no processo de fabricação. A FIG. 45, que é um detalhe da FIG. anterior, acentua esses aspectos.

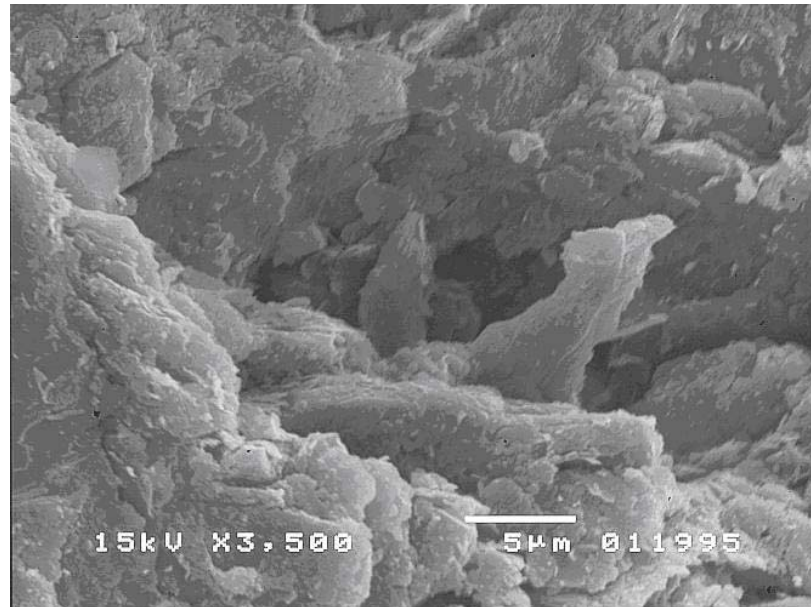


FIGURA 45 - Fotomicrografia do substrato cerâmico, fratura (seção transversal), detalhe de área com topografia irregular e presença de poros. Imagem de elétrons secundários.

5.8 Microanalisador EDS (espectrômetro de raios-X dispersivo em energia) no bloco cerâmico

Para efeito comparativo, microanálises EDS foram realizadas no bloco cerâmico puro (bloco sobre o qual não houve nenhuma aplicação de revestimento argamassado). As miniáreas analisadas estão marcadas na FIG. 43 do item 5.7.

TABELA 13 - EDS, pontos 1, 2 e 3 da Figura 45

Miniárea ou ponto	Na (%)	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (%)	Fe (%)	Σ (%)
1	0,53	0,59	25,14	49,45	3,78	1,79	1,47	17,24	100,0
2	0,22	0,21	25,10	47,28	3,86	2,13	1,25	19,94	100,0
3	0,68	0,63	24,71	47,59	2,96	1,92	1,74	19,78	100,0

Observa-se que o bloco cerâmico puro apresentou teores elevados de silício, alumínio e ferro, médios de potássio baixos de magnésio e sódio. Os valores relativamente baixos de cálcio encontrados levam a crer que este elemento provém naturalmente deste material. Estes dados concordam com os demais obtidos através das análises realizadas com espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX).

Este baixo teor de cálcio original viabiliza a identificação da presença da argamassa nos poros da base, pelo aumento da concentração do cálcio nas análises por fluorescência de raios-X na amostra retirada a 0,5mm de profundidade.

5.9 Resultados dos ensaios de caracterização dos aglomerantes

5.9.1 Ensaio de caracterização do cimento

O CP II-E 32 foi usado na confecção das argamassas rodadas no canteiro de teste assim como na argamassa industrializada. A TAB. 14 apresenta a média dos ensaios realizados nesse material entre 10/09/2006 e 10/10/2006 (dados fornecidos pelo fabricante).

TABELA 14 - Ensaios de caracterização do cimento

Físicos	Resíduo na peneira # 200 (ou 0,075mm) (%) NBR 11579		3,48
	Blaine (cm ² /g) NBR 7224		4060 (ou 406,0 m ² /kg)
	A/C (%)		26,2
	Tempo de pega (min.) NBR 11581	Início	178
		Fim	272
	Resistência à compressão (MPa) NBR 7215	3 dias	23,7
7 dias		31,2	
28 dias		40,1	
Químicos	CO ₂ (%) NBR 11583		4,83
	Perda ao Fogo 500°C (%)		0,42
	Perda ao fogo 1000°C (%) NBR 5743		5,39
	Resíduos insolúveis (%) NBR 5744		1,69
	SO ₃ (%) NBR 5745		1,46

Fonte: Fabricante do cimento.

Todos os resultados apresentados estão dentro dos limites preconizados pela ABNT e aceitos pela ABCP (2002).

5.10. Resultados dos ensaios de caracterização dos agregados

Foram estudados dois tipos de areia, já que para a parametrização dos valores é necessário o conhecimento da influência do material inerte na composição da argamassa

5.10.1. Ensaios de caracterização da areia

5.10.1.1 Areia natural

A areia utilizada para confecção do traço 1:7 (areia natural) apresentou as características granulométricas de areia fina. O TAB. 15 apresenta o relatório de ensaio realizado.

Tabela 15 - Resultados de análise da areia natural

Análise Granulométrica - Areia Natural						
Amostra	Origem		Lote		Nota Fiscal	
MA065	SB		1-061108		**	
Placa do Caminhão	Data da Amostra		Hora da Amostra		Data da Análise	
***	14/10/2006		11:35		14/10/2006	
MALHA	P1	P2	□□P	%	XP	ACM.%
# 8 - 2,40mm	567,00	567,00	0,00	0,0	0,00	0,0
# 16 - 1,20mm	399,67	400,19	0,52	0,4	3,58	0,4
# 30 - 0,60mm	394,75	406,68	11,93	10,3	164,06	10,7
# 50 - 0,30mm	391,96	438,15	46,19	39,7	1190,98	50,4
# 100 - 0,15mm	361,67	402,38	40,71	35,0	1749,46	85,4
# 200 - 0,075mm	371,84	384,67	12,83	11,0	1102,71	96,4
# 325 - 0,045mm	322,42	322,42	0,00	0,0	0,00	0,0
FUNDO	438,47	442,64	4,17	3,6	716,80	100,0
			116,35	100,0	4927,58	343,4
Malha média passante: Módulo de finura: Dimensão máxima característica (mm): Teor de argila (lama) %vol.			Obtido	Avaliação		
			49,3	Ok		
			3,4	Ok		
			2,40	Ok		
			ISENTO	Ok		
Amostra - Traço 1:7 Areia Natural						
CURVAS TÍPICAS PARA # 65						
Malha	Min.	Máx.	Obtido	Avaliação - Curva Ideal		
#16	0	2,5	0,4	Ok		
# 30	15	37	10,7	Abaixo		
# 50	48	75	50,4	Ok		

A areia utilizada no traço 1:7 (areia natural) foi avaliada quanto aos quesitos teor de argila em torrões e materiais friáveis (segundo a norma *ABNT NBR 7218. Agregado - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis*), teor de materiais pulverulentos (segundo a norma *ABNT NBR 7219. Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio*) e teor de impurezas orgânicas (segundo norma *ABNT NBR 7220. Agregado – Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo*), tendo sido recomendada para utilização em argamassas e concretos por se enquadrar em todos os parâmetros requeridos.

5.10.1.2 Areia artificial

A areia utilizada para a confecção da argamassa de reboco pronto e no traço 1:7 (areia calcária) apresentou as características granulométricas de areia fina. A TAB. 16 apresenta o relatório de ensaio realizado.

Tabela 16 - Resultados de análise da areia calcária

Análise Granulométrica - Areia Calcária						
Amostra	Origem		Lote		Nota Fiscal	
Calcária	MFB		8-061018		113253	
Placa do Caminhão	Data da Amostra		Hora da Amostra		Data da Análise	
LIM9514	18/10/2006		11:56		18/10/2006	
Malha	P1	P2	□□P	%	XP	ACM. %
# 8 - 2,40mm	567,00	567,00	0,00	0,0	0,00	0,0
# 16 - 1,20mm	399,67	400,69	1,02	0,8	6,29	0,8
# 30 - 0,60mm	394,75	431,20	36,45	28,1	449,45	28,9
# 50 - 0,30mm	391,96	424,20	32,24	24,8	745,38	53,7
# 100 - 0,15mm	361,67	378,45	16,78	12,9	646,58	66,7
# 200 - 0,075mm	371,84	405,58	33,74	26,0	2600,18	92,7
# 325 - 0,045mm	322,42	322,42	0,00	0,0	0,00	0,0
FUNDO	438,47	448,00	9,53	7,3	1468,87	100,0
			129,76	100,0	5916,74	342,7
Malha média passante: Módulo de finura: Dimensão máxima característica (mm): Teor de argila (lama) % vol.			Obtido	Avaliação		
			59,2	Ok		
			3,4	Ok		
			2,40	Ok		
			isento	Ok		
Amostra - Traço Reboco Pronto E 1:7 Areia Artificial						
CURVAS TÍPICAS PARA # 65						
Malha	Min.	Máx.	Obtido	Avaliação - Curva Ideal		
#16	0	2,5	0,8	Ok		
# 30	15	37	28,9	Ok		
# 50	48	75	53,7	Ok		

A areia natural utilizada no traço para reboco pronto e 1:7 (areia artificial) foi avaliada quanto aos quesitos teor de argila em torrões e materiais friáveis (segundo a norma *ABNT NBR 7218 - Agregado - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis*), teor de materiais pulverulentos (segundo norma *ABNT NBR 7219 - Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio* ⁶) e teor de impurezas orgânicas (segundo a norma *ABNT NBR 7220 - Agregado – Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo* ⁷). E, por se enquadrar em todos os parâmetros requisitados, foi recomendada para utilização em argamassas e concretos.

5.11 Resultados dos ensaios de caracterização das argamassas no estado plástico

5.11.1 Consistência

A seguir apresentam-se os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção do índice de consistência padrão das argamassas estudadas, segundo a *NBR 13277 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água - Método de ensaio* (TAB. 17).

TABELA 17 - Índice de consistência padrão segundo a NBR 13277

Tipo de argamassa	Índice de consistência padrão (mm)
Reboco pronto	279,3
Argamassa convencional/areia artificial	252,0
Argamassa convencional areia natural	279,0

Analisando os resultados, percebe-se que os valores obtidos referem-se às argamassas próprias para reboco sobre alvenaria (reboco pronto e convencional com areia natural) e assentamento de blocos cerâmicos (convencional com areia artificial). Avaliando-se individualmente, pode-se perceber que a argamassa de maior índice foi a de reboco

⁶ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 7219 - Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio* que foi cancelada e substituída por: *NBRNM46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem*.

⁷ Na realização dos testes foi utilizada a *NBR 7220 - Agregado – Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo* que foi cancelada e substituída por: *NBRNM49 - Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas*.

pronto, uma vez que possui aditivos que melhoram as suas características físicas no estado fresco, dentre elas a consistência. A reação favorece a interação da pasta com o agregado (efeito lubrificante desse aditivo). Os aditivos utilizados retêm a água de amassamento e incorporam ar respectivamente, fatores que aumentam o índice de consistência. Conseqüentemente, apresentam uma crescente e controlada acentuação da fluidez da argamassa.

Na seqüência, decrescem os valores obtidos na argamassa de areia natural e na argamassa de areia artificial, respectivamente, por causa da diminuição da fluidez da pasta, decorrente da menor interação e do maior atrito entre as partículas presentes na mistura (fator em que o tipo de agregado interfere), reduzindo sua capacidade de escorregamento sobre a mesa de teste (*flow table*).

Os menores valores obtidos nas argamassas de traço 1:7 (cimento/areia artificial) em relação ao reboco pronto eram esperados porque o reboco pronto apresentava aditivo retentor de água e o incorporador de ar. Como o traço em volume era o mesmo propositalmente, observou-se um efeito conjugado dos dois aditivos, dando um efeito plastificante, ou seja, a tensão superficial da pasta de aglomerante diminuiu, contribuindo para um maior índice de consistência na mistura industrializada.

Analisando a relação entre as duas argamassas sem aditivo, observou-se que a maior angulosidade do material artificial (proveniente de britagem) acarreta menor índice com a mesma quantidade de água. Essas observações são comprovadas quando se analisam as argamassas no momento da aplicação sobre os painéis.

TABELA 18 – Limites de consistência segundo finalidade das argamassas

Finalidade da argamassa	Índice de consistência (mm) NBR 13276 ⁸
• Para assentamento de tijolos cerâmicos	240 – 270
• Para revestimento interno (base p/ pintura) • Para revestimento interno (base p/ assentamento de azulejos ou cerâmicas) • Para emboço externo (base para assentamento de cerâmicas) • Para revestimento externo (base para pinturas de baixa permeabilidade)	280 – 320
• Para contrapiso (assentamento de peças cerâmicas internas e externas)	180 – 200
• Para chapisco	> 350
• Para base de assentamento de carpete	160 – 180 (consistência de terra úmida)
• Industrializada para assentamento de cerâmicas e azulejos	330 – 350

Fonte: FERREIRA *et al.*, 1996.

5.11.2. Retenção de água

A seguir apresentam-se os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção do índice de retenção de água das argamassas estudadas segundo a *NBR 13277 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água - Método de ensaio*.

TABELA 19 - Retenção de água segundo NBR 13277

Tipo de argamassa	Retenção de água (%)
Reboco pronto	95,4
Argamasssa convencional / areia artificial	87,5
Argamassa convencional / areia natural	92,3

Os maiores valores encontrados foram os das argamassas com areia artificial de reboco pronto e traço 1:7 (cimento/areia artificial), porque apresentaram em sua composição um agregado calcário com menor módulo de finura (maior área de contato). Contudo, o

⁸ *NBR13276 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.*

reboco pronto apresentou maior índice de retenção, pois como já citado, apresenta em sua composição um carga de aditivo.

De maneira geral, esperavam-se menores valores de retenção de água da argamassa no traço 1:7 (cimento/areia natural), devido à ausência de algum aditivo que promovesse a melhoria dessa propriedade. Além de menor área específica de umidecimento, a areia proveniente da jazida natural não possui a curva granulométrica desenvolvida para melhorar as propriedades físicas, como no caso da areia calcária utilizada por fábricas de argamassas industrializadas.

5.11.3 Massa específica

Vejam-se a seguir os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção da massa específica das argamassas estudadas, segundo a norma *ABNT NBR 13278 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio*.

TABELA 20 - Massa específica segundo a NBR 13278

Tipo de argamassa	Massa específica (g/cm³)
Reboco pronto	2,671
Argamassa convencional/areia artificial	2,634
Argamassa convencional areia natural	2,589

A presença do aditivo no reboco não alterou relevantemente o valor da massa específica na formulação industrializada em relação às demais estudadas. Pode-se observar a diferença de valores quando se comparam diferentes agregados. Percebe-se maior grau de compacidade nas argamassas com areia de origem calcária (reboco pronto e 1:7 (cimento/areia artificial) em relação ao traço com areia natural. Como a areia artificial é disponibilizada com uma curva granulométrica preparada, há maior interação entre as partículas do agregado miúdo.

5.11.4 Teor de ar incorporado

Apresentam-se na TAB. 21 os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção do teor de ar incorporado das argamassas estudadas, segundo a *NBR 13278 - Argamassa*

para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio

TABELA 21 - Teor de ar incorporado segundo NBR 13278

Tipo de argamassa	Ar incorporado (%)
Reboco pronto	14,1
Argamassa convencional/areia artificial	4,1
Argamassa convencional/areia natural	6,3

Credita-se o melhor valor do teor de ar incorporado obtido para o reboco pronto pela presença do aditivo incorporador de ar em sua composição. Porém, esse valor não deve exceder os índices preconizados: historicamente, quando se excede esses valores, existe a perda da resistência mecânica.

O aumento da compacidade da argamassa 1:7 (cimento/areia artificial) no estado fresco leva a uma porcentagem menor de ar incorporado, conseqüentemente a diminuição da trabalhabilidade na mistura e na aplicação. Comparando-se a mesma quantidade em peso, o rendimento também diminui, ou seja, necessita-se de uma quantidade maior da mistura para cobrir a mesma área a ser argamassada.

A argamassa 1:7 (cimento/areia natural) também apresentou um valor de ar incorporado menor e o conseqüente aumento de compacidade, fato explicado pelo fator forma do agregado, que favorece a interação entre as partículas da composição granulométrica. A pasta interage bem com a parte inerte da mistura.

5.12 Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa no estado endurecido

Para a caracterização das argamassas no estado endurecido, foram retidas amostras, de acordo as três variações de argamassas sugeridas na matriz de trabalho apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais*.

5.12.1 Resistência à compressão

Apresentam-se na TAB. 22 os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção da resistência à compressão das argamassas estudadas, segundo a norma *ABNT NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio*.

TABELA 22 - Resistência à compressão segundo a NBR 13279

Tipo de argamassa	Média da resistência à compressão em 4 CPs (MPa)
Reboco pronto	6,25
Argamassa convencional/areia artificial	8,68
Argamassa convencional/areia natural	4,55

Os resultados estão coerentes com os maiores valores de resistência à compressão coincidindo com os traços em que há o maior compacidade das misturas. A presença do agregado artificial com uma curva mais homogênea leva a um maior grau de compacidade, diretamente proporcional a uma maior resistência à compressão, se houver a mesma quantidade de pasta na mistura. Observa-se que, onde há o maior índice de ar incorporado, há menor valor de compressão. Mesmo assim, há um valor excelente para reboco sobre a alvenaria cerâmica. A quantidade de ar incorporado na medida certa reduz o efeito de retração hidráulica.

A resistência mecânica à compressão deve ser analisada em conjunto com outras propriedades, porque, no caso de rebocos, uma rigidez excessiva reflete na perda de absorção das deformações térmicas do conjunto estrutura/argamassa/alvenaria cerâmica. São materiais com coeficientes de dilatação térmica diferentes, portanto com comportamento heterogêneo.

5.12.2 Módulo de elasticidade dinâmico

Apresentam-se na TAB. 23 os resultados obtidos nos testes realizados para obtenção do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas estudadas, através do método de avaliação de frequência ressonante. (A tabela completa encontra-se no ANEXO II.)

TABELA 23 - Valore dos módulos de elasticidade dinâmico

Tipo de argamassa	Módulo de elasticidade dinâmico – E_d Média de 15 medições - (GPa)
Reboco pronto (CP 01)	8
Reboco pronto (CP 02)	9
Reboco pronto (CP 03)	9
Argamasssa convencional/areia artificial(CP 01)	20
Argamasssa convencional /areia artificial (CP 02)	17
Argamasssa convencional /areia artificial (CP 03)	16
Argamasssa convencional /areia natural (CP 01)	12
Argamasssa convencional /areia natural (CP 02)	12
Argamasssa convencional /areia natural (CP 03)	11

As argamassas que possuem em sua composição cimento e areia apresentam módulo de elasticidade maior do que a argamassa que possui algum tipo de aditivação. No caso da argamassa analisada, a presença dos aditivos na argamassa industrializada (reboco pronto), contribuiu para um menor módulo de elasticidade em comparação com as argamassas convencionais (areia natural e calcária), indicando um grau baixo de fissurabilidade.

Já entre os dois tipos de traços convencionais, obtém-se uma elevação no módulo de elasticidade nas argamassas com areia artificial e natural. Este módulo de elasticidade elevado, tende ao aparecimento de pequenas fissuras comparando com argamassas que contém a mesma quantidade cimento. Estas argamassas apresentaram médio (areia natural) e alto (areia calcária) grau de fissurabilidade, comparado com os valores das recomendações do CSTB (1982). Tal fenômeno ocorreu devido à presença de finos em sua composição e pela falta de algum tipo de adição para aumentar a retenção de água na mistura.

A importância da aditivação ficou evidente, pois quanto maior o teor de finos sem aditivação (areia calcária possui maior porção retida na malha 200 que a areia artificial), maior foi o módulo de elasticidade e maior a tendência fissurar. Visualmente foi possível observar o aparecimento de microfissuras nos painéis de argamassas convencionais sem aditivação (fissuras entre 0,1 e 0,3mm).

- Baixa Fissurabilidade ($E_d \leq 7000$ MPa ou 7,0 GPa);
- Média Fissurabilidade ($7000 \text{ MPa} \leq E_d \leq 12000 \text{ MPa}$ ou $7,0 \text{ GPa} \leq E_d \leq 12,0 \text{ GPa}$).
- Alta Fissurabilidade ($E_d \geq 12000 \text{ MPa}$ ou 12,0 GPa).

5.13 Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base

Para a obtenção dos resultados de caracterização das argamassas aplicadas sobre os painéis foram avaliadas as três variações sugeridas na matriz de trabalho apresentada na seção 4.2 *Combinações de traços e materiais*.

5.13.1 Resistência de aderência à tração da argamassa segundo a NBR 13528



FIGURA 46 - Amostra retirada após teste de resistência à tração.

Apresentam-se na TAB. 24 os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção dos valores de resistência de aderência das argamassas estudadas, segundo a norma *ABNT NBR 13528 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração*.

TABELA 24 - Resistência de aderência à tração segundo NBR 13528

Tipo de argamassa	Condição	Ensaio de arrancamento realizados com idade mínima de 28 dias (MPa)	
		Média (de 6 ensaios)	Desvio-padrão (de 6 ensaios)
		Bloco cerâmico	Bloco cerâmico
Reboco pronto	Painel 1	0,39	0,10
	Painel 2	0,39	0,12
	Painel 3	0,56	0,12
Argamassa 1:7 (cimento: areia artific.)	Painel 4	0,37	0,05
	Painel 5	0,42	0,07
	Painel 6	0,35	0,12
Argamassa 1:7 (cimento: areia natural)	Painel 7	0,38	0,04
	Painel 8	0,36	0,04
	Painel 9	0,42	0,08

As planilhas completas com a análise da face de ruptura estão no ANEXO III.

Os valores médios atingidos por todos os painéis analisados estão de acordo com os parâmetros de análise esperados. Seria incoerente analisar somente os valores de tração, sem ter a análise do substrato, pois os desvios refletem exatamente a diferença das áreas de ruptura, mostrando a tendência dos menores valores aparecerem no bloco cerâmico, se cada painel for analisado separadamente. Os maiores valores encontrados foram na argamassa reboco pronto (painéis 1, 2 e 3), com picos de resistência que variam entre 0,50 e 0,73 MPa. Observa-se a perda de resistência nos pontos onde a ruptura aconteceu em maior porcentagem no substrato cerâmico.

Em seguida os dos tipos de argamassas confeccionados convencionalmente apresentaram médias coerentes e de certa forma semelhantes, variando na faixa de 0,35 a 0,42 MPa. Os desvios-padrão estão em uma faixa aceitável, e o comportamento das zonas de ruptura variou entre o substrato cerâmico e a parte argamassada.

Fazendo um paralelo entre os três tipos de argamassa, vê-se uma tendência de melhor adesão do produto ao bloco cerâmico da argamassa com o incremento de aditivos (reboco pronto). A passagem da pasta para o poro cerâmico é facilitada e acarreta um melhor contato na zona de transição argamassa/substrato. Nos pontos em que a interação foi intensa e houve o teste, o material cerâmico resistiu menos que a

argamassa, porém sem comprometimento, uma vez que os valores alcançados foram satisfatórios.

Essa análise baseou-se nos valores médios e no comportamento de ruptura nas interfaces do revestimento argamassado com o substrato cerâmico e, se for avaliada juntamente com a microestrutura da face do bloco, gera um diagnóstico preciso da interação pasta/poro do substrato estudado.

Os valores médios de resistência de aderência são referenciados na norma *ABNT NBR 13749 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação* e estão reproduzidos na TAB. 25.

TABELA 25 - Resistência de aderência à tração valores da NBR 13749

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

5.13.2 Permeabilidade à água

A seguir apresentam-se os resultados obtidos nos testes de permeabilidade realizados de acordo com as recomendações do CSTC (1982), que preconiza o método do cachimbo para a avaliação *in situ* da permeabilidade em superfícies verticais.

TABELA 26 - Permeabilidade no reboco pronto - CSTC

Tempo (min)	Ponto 1 (cm ³)	Ponto 2 (cm ³)	Ponto 3 (cm ³)
1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,1	0,2
3	0,3	0,2	0,3
4	0,3	0,3	0,5
5	0,4	0,4	0,6
6	0,5	0,5	0,7
7	0,6	0,6	0,9
8	0,6	0,7	1,0
9	0,7	0,8	1,1
10	0,8	0,9	1,2
11	0,9	1,1	1,2
12	1,0	1,2	1,3
13	1,2	1,3	1,4
14	1,3	1,3	1,5
15	1,3	1,4	1,6

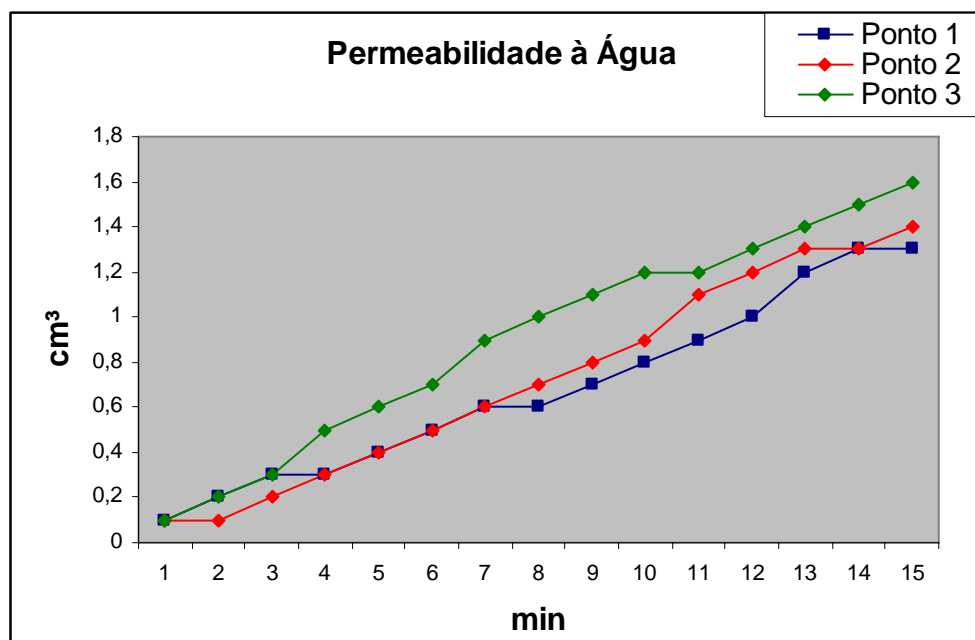


FIGURA 47 - Comparativo dos pontos analisados da permeabilidade no reboco pronto.

TABELA 27 - Permeabilidade 1:7 (cimento/areia artificial)

Tempo (min)	Ponto 1 (cm ³)	Ponto 2 (cm ³)	Ponto 3 (cm ³)
1	0,1	0,2	0,1
2	0,2	0,2	0,3
3	0,3	0,3	0,4
4	0,5	0,4	0,6
5	0,6	0,5	0,7
6	0,7	0,6	0,9
7	0,8	0,7	1,0
8	0,9	0,7	1,1
9	0,9	0,9	1,2
10	1,0	1,1	1,3
11	1,0	1,2	1,4
12	1,1	1,3	1,6
13	1,2	1,5	1,7
14	1,4	1,6	1,8
15	1,6	1,7	1,9

Fonte: CSTC (1982).

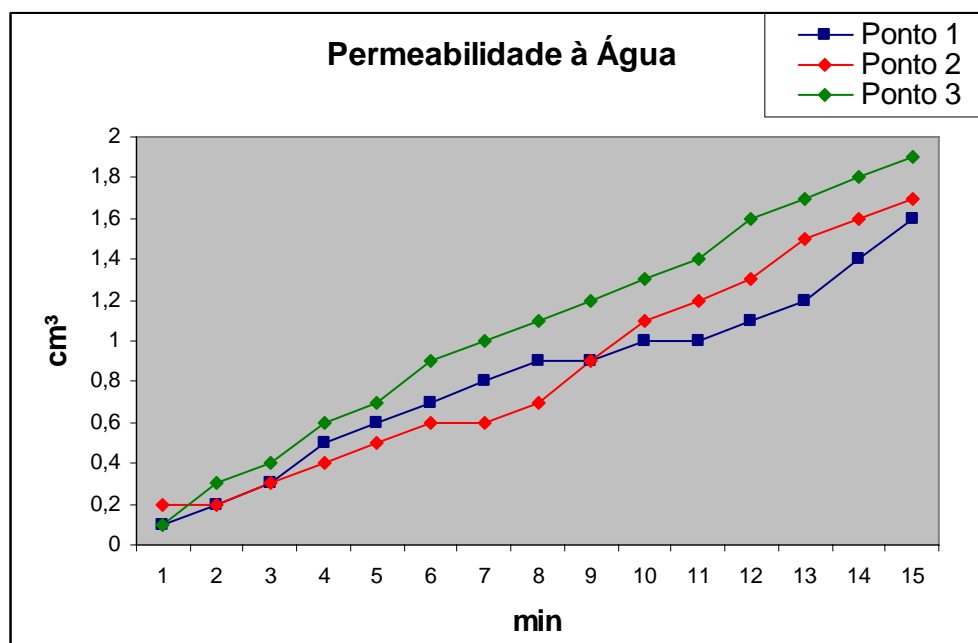


FIGURA 48 - Comparativo dos pontos analisados da permeabilidade na argamassa 1:7 (cimento/areia artificial).

TABELA 28-Permeabilidade 1:7 (cimento/areia natural)

Tempo (min)	Ponto 1 (cm ³)	Ponto 2 (cm ³)	Ponto 3 (cm ³)
1	0,1	0,1	0,1
2	0,3	0,2	0,3
3	0,4	0,4	0,4
4	0,5	0,6	0,6
5	0,8	0,9	1,1
6	0,9	1,0	1,2
7	1,1	1,1	1,3
8	1,3	1,3	1,5
9	1,6	1,4	1,6
10	1,7	1,5	1,8
11	1,9	1,7	2,1
12	2,1	1,8	2,2
13	2,2	1,9	2,3
14	2,4	2,0	2,4
15	2,4	2,1	2,5

Fonte: CSTC (1982).

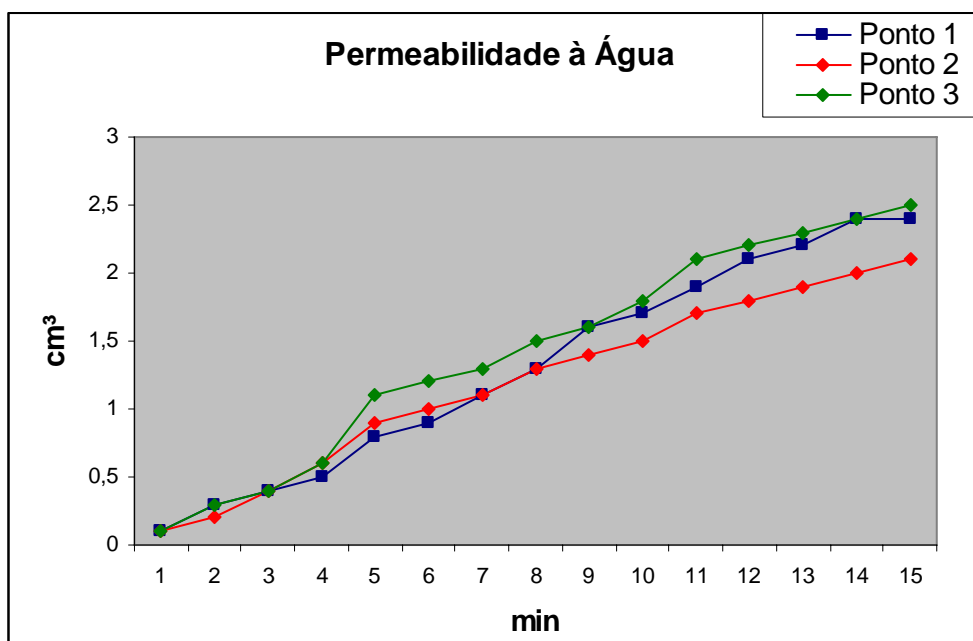


FIGURA 49 - Comparativo dos pontos analisados da permeabilidade na argamassa 1:7 (cimento/areia natural).

TABELA 29 - Maior valor da permeabilidade à água *in situ* segundo o CSTC (1982)

Tipo de argamassa	Maior valor da permeabilidade - medido aos 15 minutos de contato da água presente no cachimbo com a superfície da argamassa (cm ³)
Reboco pronto	1,6
1:7 cimento/areia artificial	1,9
1:7 cimento/areia natural	2,6

Analisando-se os três resultados dos cachimbos de permeabilidade colocados no mínimo a um metro de distância de cada ponto por painel, pode-se evidenciar a melhor interação entre as partículas argamassadas no estado endurecido do reboco pronto; seguida das argamassas com areia artificial e por último às argamassas com areia natural. Esses valores estão coerentes com as demais propriedades avaliadas e com os parâmetros mínimos de absorção. Com maior compactidade e menor porosidade, esperava-se que o reboco pronto tivesse menor absorção de água na face desempenada. A quantidade de ar incorporado na medida certa não afetou o fechamento dos poros.

5.14 Resultados das análises de caracterização microestrutural no conjunto argamassa substrato

5.14.1 Análises utilizando-se o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e microanalisador EDS no conjunto argamassa/substrato

Apresenta-se o estudo microestrutural do conjunto argamassa/substrato realizado por MEV/EDS. Nas fotomicrografias e nas análises pelo EDS, as amostras foram metalizadas com uma fina película de ouro ou, em alguns casos, com carbono. As fotomicrografias mostradas são todas imagens de elétrons secundários (IES). As amostras foram retiradas dos painéis onde foram identificados os melhores resultados de resistência à tração apresentados na seção 5.7.1 *Resistência de aderência à tração da argamassa segundo a NBR 13528*.

5.14.1.1 Argamassa de reboco pronto (industrializada)

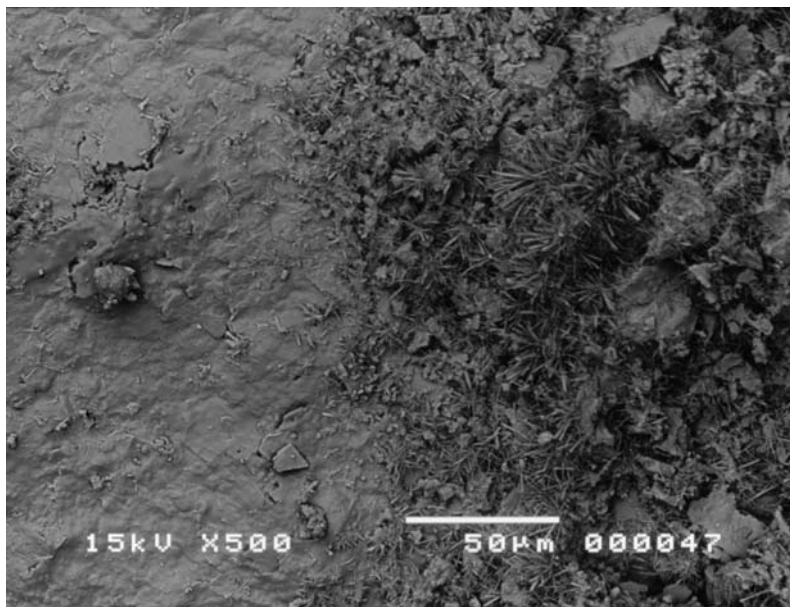


FIGURA 50 - Fotomicrografia da interface bloco cerâmico / reboco pronto (área onde há intenso agulhamento na face do substrato). MEV-IES.

Na FIG. 50, percebe-se claramente o intenso agulhamento na área de contato do reboco com o bloco cerâmico. A grande maioria das agulhas são cristais de etringita:

$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (trissulfoaluminato de cálcio hidratado), provenientes da hidratação do cimento.

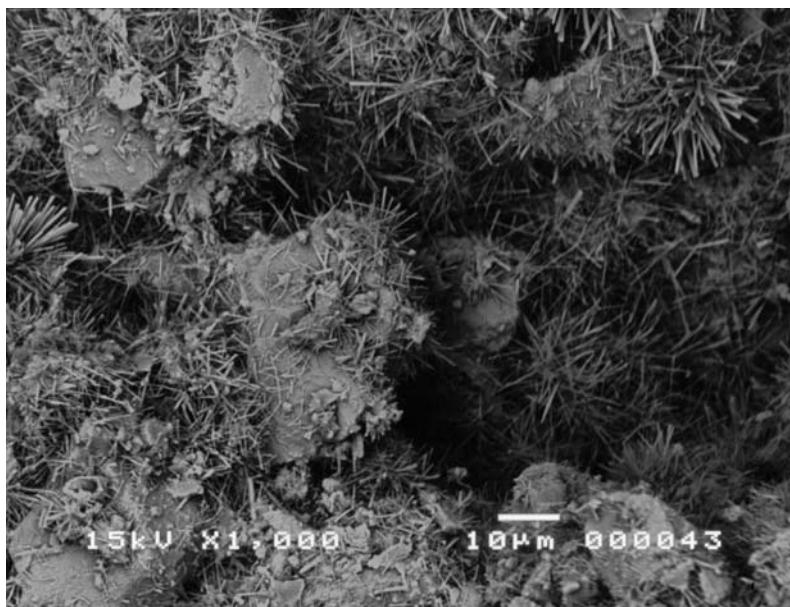


FIGURA 51 – Fotomicrografia do bloco cerâmico próximo à interface junto ao reboco pronto (vista frontal do bloco cerâmico após a retirada do reboco pronto) MEV-IES/EDS.

A FIG. 51 mostra detalhe do reboco pronto, junto à interface. Pela morfologia típica, isto é, fitas euédricas, conclui-se que a fase acicular abundante é a etringita. São também observadas algumas placas recobertas com fibras de etringita; estas placas são provavelmente portlandita: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de cálcio).

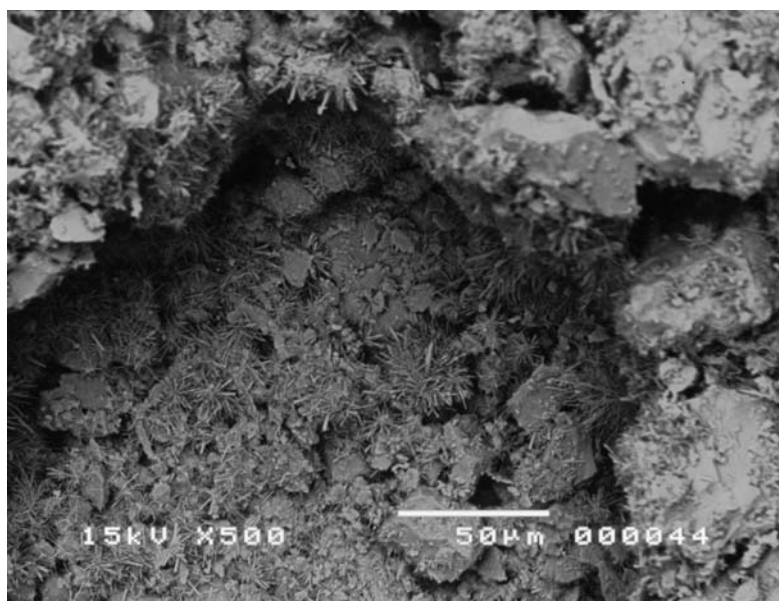


FIGURA 52 - Fotomicrografia do bloco cerâmico: cavidade onde há agulhamento intenso (vista frontal do bloco cerâmico após a retirada do reboco pronto). Evidência de interconexão de poros, como já se viu na análise do bloco cerâmico puro. MEV-IES.

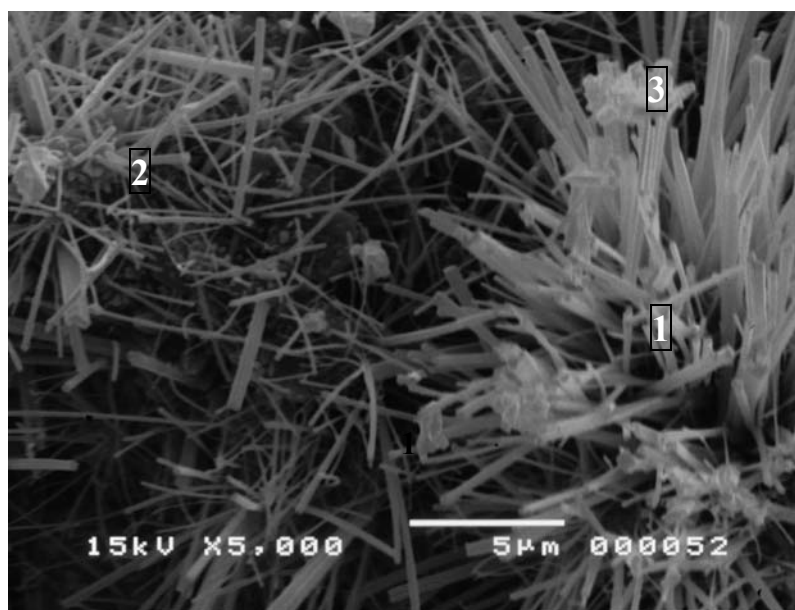


FIGURA 53 - Fotomicrografia da face bloco cerâmico (vista frontal do bloco cerâmico após a retirada do reboco pronto). Detalhe das fitas de etringita. MEV-IES/EDS.

A intensa formação de agulhas na interface também está claramente visualizada na FIG. 52.

Tabela 30 - Microanálises EDS, pontos 1, 2 e 3 da FIG. 53

Miniárea ou ponto	Al (%)	Si (%)	S (%)	K (%)	Ca (%)	Fe (%)	Na (%)	Ti (%)	Σ (%)
1	9,09	19,49	10,18	3,75	51,66	3,62	0,90	0,72	100,0
2	6,72	21,24	8,77	4,33	54,49	2,73	0,97	0,75	100,0
3	10,31	4,49	13,48	4,25	64,17	2,56	0,50	0,44	100,0

Teores elevados de cálcio, alumínio e enxofre, associados à forma de fibras emaranhadas na FIG. 53, indicam que estas são etringita. Algumas poucas áreas não fibrosas são provavelmente silicatos de cálcio hidratados (CSH). Os teores significativos de silício, potássio, ferro e titânio são oriundos do bloco cerâmico, situado abaixo da camada rica em etringita, pois o feixe de elétrons atravessou esta camada e excitou esses elementos do bloco.

5.14.1.2 Argamassa 1:7 (cimento: areia calcária)

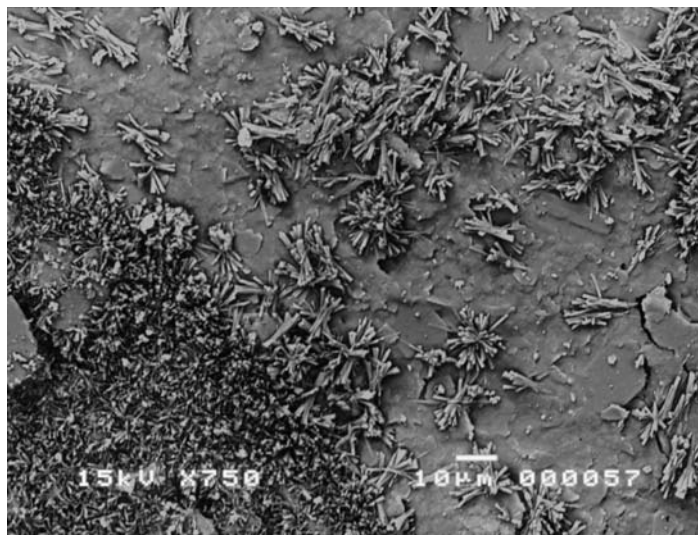


FIGURA 54 – Fotomicrografia com visão geral da face bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia calcária) -vista frontal do bloco cerâmico após a retirada da argamassa convencional. MEV-IES.

Na fotomicrografia da FIG. 54, observa-se o agulhamento e os produtos de hidratação do cimento formados sobre o substrato cerâmico.

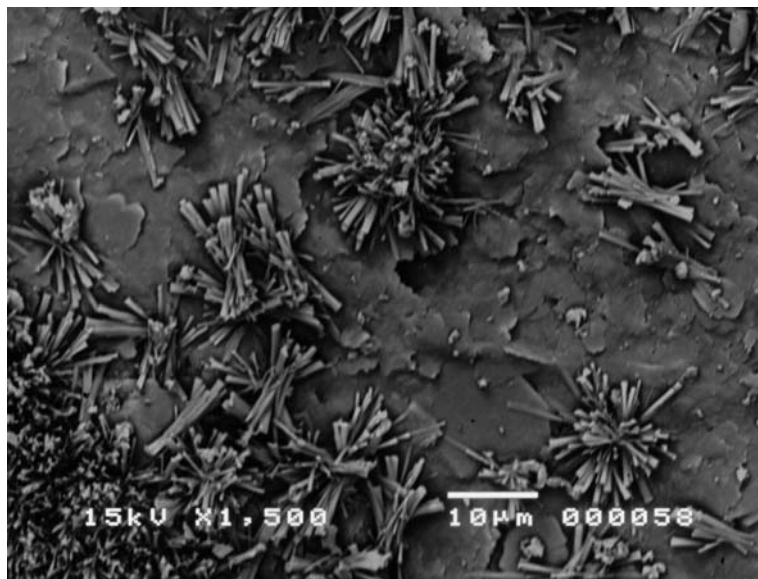


FIGURA 55 – Esta fotomicrografia é uma ampliação da imagem anterior: face bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia calcária) - vista frontal do bloco cerâmico após a retirada da argamassa convencional. MEV-IES.

As agulhas de etringita distribuem-se geralmente em agregados radiais, localmente paralelos. A densidade do agulhamento diminui diagonalmente na FIG. 55, mostrando regiões com pouco recobrimento, onde observa-se a superfície do bloco cerâmico. Algumas poucas placas de portlandita Ca(OH)_2 também estão presentes.

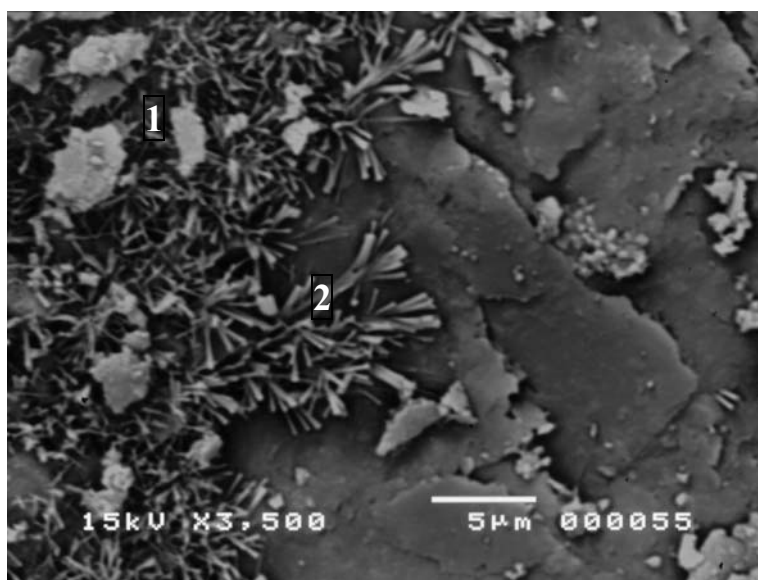


FIGURA 56 - Fotomicrografia da face bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia calcária) -vista frontal do bloco cerâmico após a retirada da argamassa convencional. MEV-IES.

Tabela 31 - Microanálises EDS, pontos 1 e 2 da FIG. 56

Miniárea ou ponto	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	S (%)	K (%)	Ca (%)	Fe (%)	Na (%)	Σ (%)
1	1,15	31,25	45,32	4,81	2,77	10,59	2,23	1,88	100,0
2	1,36	26,52	38,22	5,53	1,98	19,04	5,56	1,77	100,0

A microanálise constatou um decréscimo da presença de cálcio em relação ao reboco pronto. Visualmente é perceptível a menor concentração de produtos formados pela hidratação do cimento, porém as presenças de etringita e portlandita são evidentes na FIG. 56, principalmente na parte esquerda. Os valores de cálcio, enxofre e alumínio comprovam a existência desses compostos. Já os altos valores de silício e alumínio e os médios de ferro e potássio provêm do fundo cerâmico, pois o emaranhado de fitas não impede a passagem do feixe de elétrons.

5.14.1.3 Argamassa 1:7 (cimento: areia natural quartzosa calcária)

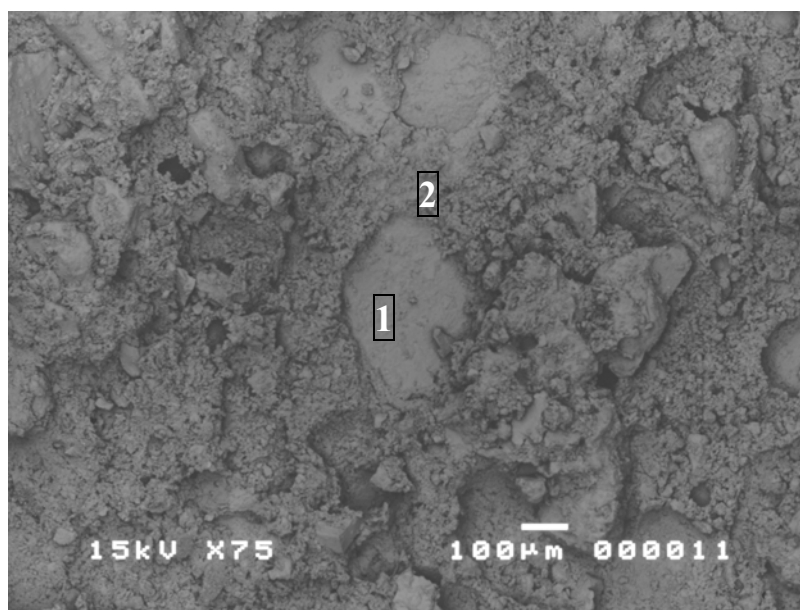


FIGURA 57 - Fotomicrografia da interface bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia natural); vista frontal do bloco cerâmico após a retirada da argamassa convencional. MEV-IES.

Tabela 32 - Microanálises EDS, pontos 1 e 2 da FIG. 57

Miniárea ou ponto	Al (%)	Ca (%)	Si (%)	K (%)	Mg (%)	Fe (%)	S (%)	Σ (%)
1	23,33	18,03	41,05	3,41	0,00	14,18	0,00	100,0
2	6,67	59,83	19,59	2,36	1,72	4,37	5,45	100,0

Os teores elevados de Si, Al, Fe e K associado à morfologia na área 1 da FIG. 57 indica que esta é parte do bloco cerâmico sem recobrimento. Na área 2, há predominância de Ca, associado a teores significativos de S, Al e Si indicando a presença de etringita e silicatos de cálcio hidratados (CSH). Assim, verifica-se que algumas áreas da interface ficaram recobertas pelo revestimento, enquanto em outras este foi removido.

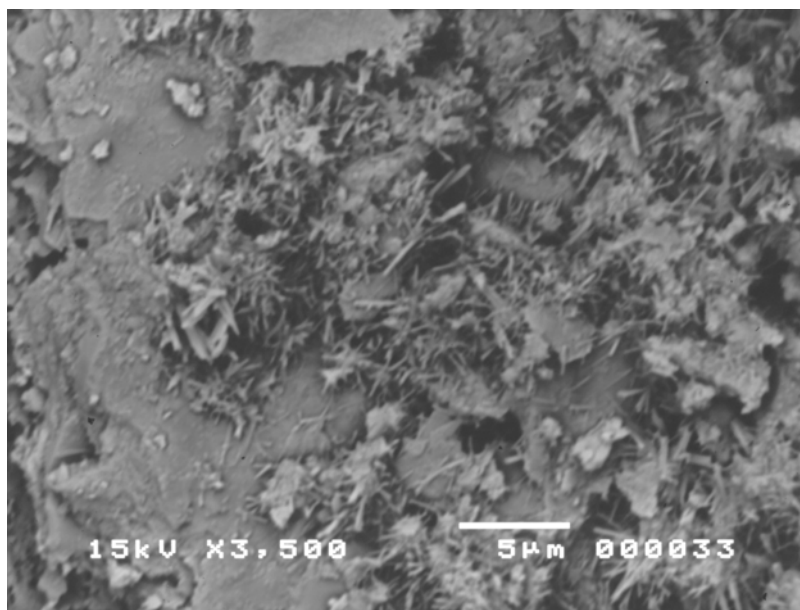


FIGURA 58 - Fotomicrografia da face bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia natural); vista frontal, com aumento maior, após a retirada da argamassa convencional. MEV-IES.

Na FIG. 58 percebe-se a presença das agulhas de etringita e de placas de portlandita, em imagem bastante semelhante à da argamassa com areia calcária. Observa-se uma evidente diminuição da concentração dos minerais oriundos da hidratação do cimento. Nessa imagem, assim como nas demais, aparecem alguns poros na base, que favorecem a ancoragem a esta. A superfície não foi totalmente preenchida, provavelmente pela má difusão da pasta.

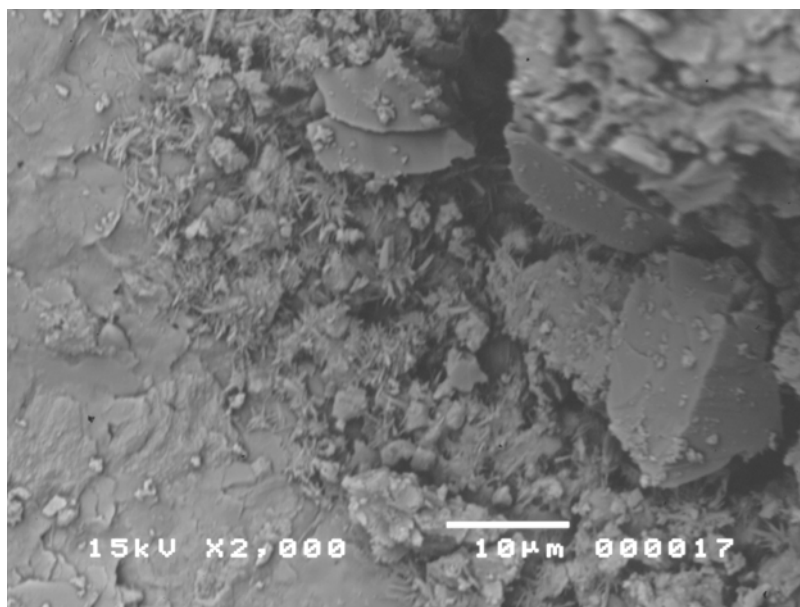


FIGURA 59 - Fotomicrografia da face bloco cerâmico / 1:7 (cimento:areia natural); vista frontal, com aumento médio, próxima a uma cavidade onde houve concentração de minerais provenientes da hidratação do cimento. MEV-IES.

Na FIG. 59 observa-se uma região com poros, fendas ou imperfeições do bloco cerâmico. Essas favorecem a interação da argamassa com o substrato, onde se nota concentração elevada de fases hidratadas do cimento.

5.14.2. Análise utilizando-se a fluorescência de raios-X (FRX) no conjunto argamassa/substrato

A TAB. 34 apresenta as relações dos valores dos elementos encontrados na zona de penetração de 0,5mm do substrato cerâmico em contato com as argamassas pesquisadas. Nesta relação, é colocado como parâmetro balizador o elemento cálcio, uma vez que é o mais abundante na mistura e está presente em concentração muito baixa na amostra cerâmica original.

Tabela 33 – Análise por fluorescência de raios-X

Argamassa/Substrato - ESPESSURA (0,05 mm)			
Amostra	Am. 043	Am. 044	Am. 045
Tipo	1:7 (Areia Natural)	1:7(Areia Artificial)	Reboco Pronto
Elemento			
Relação entre os elementos			
Ca/Si	0,18316	0,24375	0,33600
Ca/Al	0,33787	0,39410	0,55747
Ca/Fé	0,18731	0,22030	0,32330
Ca/S	2,92447	5,21860	6,39446
Ca/Ti	7,62205	10,10811	13,79104
Ca/K	2,65934	4,00714	4,94118

A análise feita através de espectrometria de fluorescência de raios-X apresenta resultados evidenciando a penetração dos elementos relatados, nos poros da base da

alvenaria utilizada neste trabalho. Comparando os gráficos percebe-se o mesmo comportamento, evidenciando a presença dos elementos mais abundantes das argamassas no interior dos poros do bloco, criando o sistema de ancoragem do conjunto estudado. Na análise realizada na interface argamassa/sustrato, no sistema onde a fluidez da pasta foi maior (Reboco Pronto), foram encontrados os maiores valores das relações do Ca para os vários elementos considerados, indicando uma maior penetração do Ca. Este fator pode ser explicado devido à presença de aditivos que incrementam a fluidez da pasta e colaboram para a diminuição da tensoatividade da mistura, como no caso da argamassa industrializada. A migração neste caso é mais intensa, provocando um travamento da alvenaria mais eficaz.

É possível observar a melhor interação da pasta com o agregado, também evidenciada nos resultados do conjunto por análise microestrutural, coincidindo com a tendência apontada pelas demais propriedades analisadas, principalmente os de resistência à tração.

Seguindo a análise com as argamassas convencionais, na escala que decresce os resultados, a argamassa com o traço mais coeso, 1:7 (areia artificial), apresentou um grau de penetração maior que a de traço 1:7 (areia natural). Os gráficos para melhor visualização estão no anexo V.

Para se minimizar a imprecisão das medidas realizadas, os resultados foram sempre apresentados em função da relação do cálcio com os principais elementos presentes no sistema argamassa/bloco cerâmico (no caso, silício, alumínio, ferro, enxofre titânio e potássio). Esse processo elimina (ou pelo menos reduz grandemente) erros de medida da fluorescência de raios-X, uma vez que se está expressando os valores sempre como uma relação entre medidas realizadas. Caso ocorram, os erros na determinação do teor de cálcio também estarão presentes na determinação do teor de silício, por exemplo. Como o valor apresentado será uma relação entre estas duas medidas, os erros se anulam, já que se está apresentando uma proporção. Seria como usar uma balança descalibrada para determinar a massa de dois corpos diferentes. As medidas de cada um deles poderiam estar a maior ou a menor da realidade; entretanto, a proporção de quanto um corpo é mais pesado que outro seria avaliada com boa confiabilidade.

5.15 Combinação dos resultados

Para que se possa aprofundar o entendimento da influência das propriedades mecânicas no comportamento microestrutural de argamassas com agregados distintos, deve-se analisar os resultados também em conjunto. Posteriormente pode-se dizer se as imagens e as análises microestruturais refletem realmente as tendências apresentadas nos resultados.

A TAB. 35 apresenta todos os valores obtidos na pesquisa, no que tange à análise da macroestrutura do revestimento

Tabela 34 - Análises argamassas estudadas no estado fresco e endurecido

Tipo de argamassa	ICP (mm)	RA (%)	ME (g/cm³)	TAI (%)	RC (Mpa)	MED (Gpa)	RT (MPa)	PA (cm³)
Reboco pronto	279,3	95,4	2,671	14,1	6,25	9,0	0,56	1,6
Convencional/areia artificial	252,0	87,5	2,634	4,1	8,68	18,0	0,42	1,9
Convencional/areia natural	279,0	92,3	2,589	6,3	4,55	12,0	0,42	2,6

Legenda:

ICP – Índice de consistência padrão

RA – Retenção de água

ME – Massa específica

TAI – Teor de ar incorporado

RC – Resistência à compressão

MED – Módulo de elasticidade dinâmico

RT – Resistência à tração

PA – Permeabilidade à água

Pode-se perceber que a argamassa de reboco pronto possui os resultados onde melhor se observam os requisitos mínimos de aplicação e desempenho de uma argamassa sobre um substrato sem a presença de chapisco.

Avaliando-se o seu desempenho em laboratório ou mesmo no campo de testes, percebe-se que o índice de consistência padrão se encaixa na faixa de argamassa para revestimento, retém água preservando a umidade depois da aplicação e possui um teor de ar incorporado dentro dos padrões exigidos sem comprometer o excelente resultado de resistência mecânica, tanto na compressão quanto na tração. O seu módulo de elasticidade apresenta um baixo grau de fissurabilidade, coerente com o índice de ar

incorporado e retenção de água, além da taxa de permeabilidade à água dentro dos padrões para revestimento posterior ou mesmo de proteção contra as intempéries.

O bom resultado obtido pelo reboco pronto não significa que os demais traços estudados não tenham tido um bom desempenho. Tanto a argamassa com areia natural quanto a argamassa com areia artificial (sem aditivo) tiveram bons resultados.

Pode-se diferenciar o traço industrializado nos quesitos em que o aditivo incorporado à formula do reboco pronto demonstra sua capacidade de amplificar algumas propriedades mecânicas, como no caso do teor de ar incorporado, da retenção de água e da consistência. Essas observações ficam evidentes no momento de aplicação da argamassa sobre o revestimento e quando se comparam os resultados.

Caso se faça um paralelo somente entre os dois traços 1:7 (areia natural e artificial ambos sem aditivo), pode-se verificar a influência do tipo de agregado sobre as propriedades e o que isso influencia sobre a resistência final e a durabilidade da alvenaria. Percebe-se uma argamassa com agregado artificial mais resistente à tração e à compressão, que em contrapartida não possui a mesma trabalhabilidade do agregado natural. Esse fato pode ser explicado se for considerada a angulosidade das partículas, ou mesmo o maior teor de finos presente na areia calcária. O fato de a areia calcária ter maior compactação faz com que tenha menor porosidade e, conseqüentemente, menor permeabilidade à água.

Quando se analisam as fotomicrografias e os resultados do EDS e FRX, percebe-se claramente o efeito dos aditivos sobre a pasta na interface do bloco cerâmico, dado o maior grau de concentração dos compostos hidratados na zona de transição estudada. Percebe-se uma melhor interação da pasta sobre a face do bloco também nas argamassas com agregado de origem calcária, principalmente no reboco pronto. Esse fenômeno tem explicação na melhor interação pasta/agregado promovida pelo aditivo presente no traço onde existe a diminuição dos espaços entre os silicatos hidratados e os cristais de etringita que se emaranham na zona de transição.

Percebe-se claramente, pelas imagens do MEV comprovadas pelas análises pontuais do EDS e pela análise da fração em pó feita pelo FRX, que o agulhamento é mais intenso

na argamassa industrializada de reboco pronto, seguida pelo traço 1:7 (areia artificial) e finalmente pela areia natural. Isso comprova a relação da interação química demonstrada microestruturalmente com os dados obtidos através das análises macroestruturais.

6 CONCLUSÃO

Os resultados se adequaram ao propósito desta pesquisa: verificar a influência dos constituintes no desempenho da mistura, apontando resultados equilibrados para argamassas com agregado calcário. É possível concluir que o material calcário interage melhor com a pasta, principalmente na presença de aditivos, principalmente quando se avaliou a combinação de resultados. Contudo, não significou que o agregado natural não tivesse atingido níveis aceitáveis dentro dos parâmetros avaliados.

A aplicação da argamassa sobre a base cerâmica sem a presença do chapisco não comprometeu o bom desempenho do conjunto argamassa/substrato quando solicitado mecanicamente.

O mais importante foi observar a evolução do comportamento macro/microestrutural quando há mudança do agregado e introdução de aditivo. A mesma quantidade de cimento nos traços estudados demonstrou uma melhora de desempenho para argamassas com areia calcária na resistência à compressão e à tração, sem prejuízo em propriedades importantes, como consistência e massa específica. Em relação ao módulo de elasticidade foi determinante a presença do aditivo para a redução do grau de fissurabilidade, muito importante no aspecto de durabilidade e absorção de tensões através de deformações.

Comprovou-se que a concentração do elemento cálcio nos 500 μ m é mais evidente nas argamassas com agregado de origem calcária, principalmente na presença de aditivos, que melhoram as propriedades da argamassa no estado fresco (tais como plasticidade e incorporação de ar).

Na profundidade estudada, observa-se a relação do comportamento microestrutural com MEV/EDS e FRX, que evidenciou através de imagens e análises químicas semiquantitativas, que a ancoragem na região da interface argamassa/substrato é mais contundente com materiais calcários inertes do que com material natural. A melhor performance de argamassas cujo agregado apresentou curva granulométrica contínua (maior linearidade), influenciou positivamente o envolvimento da pasta sobre o agregado miúdo.

A composição granulométrica do agregado, seu tipo e uma eficiente aditivação contribuem beneficamente para o melhor desempenho da argamassa. A análise de dados não visou escolher a melhor argamassa multiuso, e sim avaliar a melhor opção de argamassas com o melhor agregado para a devida situação onde será solicitada térmica ou mecanicamente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A avaliação do agregado ou mesmo dos componentes das argamassas de revestimento possui inúmeras variáveis a serem estudadas. Nesta pesquisa foi focada a influência do agregado sobre as propriedades mecânicas utilizando-se vários mecanismos de observação macro e microestrutural. Não foram contempladas nem a variação dos aglomerantes, nem as adições nas argamassas multiuso. Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se:

- Avaliação da penetração de pasta de aglomerante nas camadas do substrato cerâmico com argamassas com adição de sílica ativa ou metacaulim.
- Avaliação de diferentes argamassas industrializadas com areia calcária ou areia natural perante o mesmo substrato
- Avaliação do tipo do agregado variando a concentração de cimento na mistura com ou sem o incremento da cal.
- Incremento da resistência à tração através da introdução de aditivos plastificantes.

8 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. L. M, SILVA, V. S. Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, Easton. ASTM C 67 - 97; Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Easton, 1997. p. 43-44.

ARAÚJO, G. S.; TRISTÃO, F. A. Métodos de determinação de forma e área específica das areias para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 279-289.

ARROBAS, A. A. M. N.; DJANIKIAN, J. G. Argamassa dosada em central: o desempenho da plasticidade após 12 horas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGE/ANTAC, 1999. p. 73-83.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7. ed. São Paulo, 2002. 28 p. (BT-106).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 7217. Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13277. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13278. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13279. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13281. Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Especificação**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13528. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13749. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 13755. Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5732. Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5733. Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5735. Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 5736. Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7171. Bloco cerâmico para alvenaria - Especificação.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7200. Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7211. Agregado para concreto.** Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7215. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7218. Agregado - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7219. Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 7220. Agregado - Determinação das impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 8042. Bloco cerâmico para alvenaria - Formas e dimensões.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 8947. Telha cerâmica - Determinação da massa e da absorção de água - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 9778. Argamassas e concretos endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR NM 23. Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001.

BAUER, L. A. F., *Materiais de Construção*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos. 1994. v. 1. 435 p.

BISPO, L. H. O.; ALMEIDA, S. L. M. Obtenção de areia artificial a partir de finos de pedra: In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

BRANDÃO, P. R. G. *Métodos de Instrumentação e Análise*. Belo Horizonte: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas (CPGEM). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. Notas de aula.

CALHAU, E. L.; TRISTÃO, F. A. Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (PPGEC-UFES/ANTAC), 1999. p. 219-230.

CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo de base no desempenho dos revestimentos argamassados.** 1998. 198 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1998.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos; avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 1996. 285 fl. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Centro de Excelência em Tecnologias Avançadas/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (CETA/ANTAC), 1997. p. 133-146.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M. A.; DJANIKIAN, J. G. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Centro de Excelência em Tecnologias Avançadas/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (CETA/ANTAC), 1997. p. 469-483.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: Programa de Educação para a Comunicação da Ciência/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (PECC/ANTAC), 2001. p. 43-67.

CARVALHO JR. A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** 2005. 331 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

CARVALHO JR., A. N. **Técnicas de Revestimento.** Belo Horizonte: Departamento de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1999. Apostila do Curso de Especialização em Construção Civil.

CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: Centro de Excelência em Tecnologias Avançadas/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (CETA/ANTAC), 1997. p. 110-119.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

CUCHIERATO, G. O uso da fração fina da britagem. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

CUNHA, E. R.; TAVARES, L. M. M.; GONÇALVES, J. P.; FILHO, R. D. T.; SALVADOR L. M.; ALMEIDA, S. L. M. Produção de areia manufaturada em usina piloto. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

D'AGOSTINO, L. Z.; SOARES, L. O uso de finos de pedreira de rocha granítico-gnáissica em substituição às areias naturais na elaboração de argamassa. In: **Revista Geociência**, v. 22. n. 1, 2003.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994.

FRAZÃO, E. B.; QUITETE, E. B. Formato e rugosidade de partículas da britagem. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

FRIGULHA T.; SOARES L. **Características tecnológicas de areias produzidas a partir de britagem de rocha**. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Universidade Federal de Goiânia/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (UFG/ANTAC), 1995. p. 117-133.

GOLDSTEIN *et al.* **Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists**. 2. ed. New York: Plenum Press, 1992. 820 p.

GONÇALVES J. P.; FILHO, R. D. T.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L.; CUNHA, E. R. Argamassas produzidas com finos de britagem e areia industrial. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini; Fosroc, 1992.

JESUS FILHO, A. L. **A espectrometria de fluorescência de raios-x de energia dispersiva na medida de espessura de filmes poliméricos e filmes metálicos espessos**. 1999. 105 fl. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

KURODA, M.; WATANABE, T.; TERASHI, N. **Increase of bond strength at interfacial transition zone by use of fly ash**. **Cement and Concrete Research**, Elsevier Science Ltd. v. 30.[S.l.], 2000. p. 253-258.

LIMA, E. P.; HELENE, P. R. L. **Influência do volume de pasta na zona de transição pasta/agregado com relação às propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto**. Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 2001. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/lista.htm>>.

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

MOREIRA, H. P. FIGUEIREDO, E. P.; HELENE, P. **Avaliação da influência de alguns agentes agressivos na resistência à compressão de concretos amassados com diferentes tipos de cimentos brasileiros.** Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 2001. Disponível em: <<http://publicacoes.pcc.usp.br/lista.htm>>.

NEVILLE, A. M. **Concreto de alto desempenho: visão atual.** CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 39, 1997, São Paulo. São Paulo: Pini, 1997.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. Tradução de Salvador E. Giammusso. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997. In: CARASEK *et al.* Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001. p. 43-67.

OLIVEIRA, J. A. C., BAUER, E. Análise comparativa das alterações das propriedades dos revestimentos com polímeros base látex. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, III, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: Programa de Educação para a Comunicação da Ciência/Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (PECC/ANTAC), 1999. p. 281-292.

PADILHA A. F.; AMBROZIO FILHO, F. **Técnicas de Análise Microestrutural.** 1.ed. São Paulo: Hemus, 1985.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B.; TIECHER, F., PANDOLFO, A. Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2005. p. 53-58.

PEDROSA, R. J. **Influência de areias artificiais britadas na estrutura e nas propriedades de concretos de cimento Portland.** 2004. 182 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

PEREIRA, A. F. R.; ALMEIDA, S.L.M. **Obtenção de areia artificial da Pedreira Vigné.**[S.l.: s.d.: s.n.]

PETRUCCI, E. **Materiais de construção.** Rio de Janeiro; Globo, 1970.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil.** 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1995. 252p.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**: estudo técnico ET-91. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1998.

SABBATINI, F. H. **Argamassas**. São Paulo: Curso de Materiais de Construção Civil do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1981. Notas de aula.

SILVA, C. A. R. **Desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para caracterização e análise estrutural de concretos de cimento Portland**. 1998. 410 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. A influência do filler de areia britada de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. In: SEMINÁRIO SOBRE FINOS DE BRITAGEM, 2, 2005, São Paulo. **Anais em CD...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 2005.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2005. p. 12-22.

SILVA, P. F. A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. 1. ed. São Paulo: Pini; Serrana, 1995.

SILVA, V. S.; LIBÓRIO, J. B. L. Estudo da aderência de argamassas de revestimentos e chapiscos em estruturas de concreto armado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. **Anais em CD...** Belo Horizonte: IBRACON, 2002.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R.; VALDAMERI, C. Z.; MESACASA, C. Uso de areia industrial de basalto em argamassas. In: . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2005, Florianópolis. **Anais em CD...** Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2005.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar**. 4. ed. São Paulo: Pini; Sinduscon-SP, 2002.

ZAMPIERI, V. A. Cimento Portland aditivado com pozolanas de argilas calcinadas: fabricação, hidratação e desempenho mecânico. São Paulo: USP, 1993. 233 fl.. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1993. In: SILVA, C. A. R. **Desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para caracterização e análise estrutural de concretos de cimento Portland**. 1998. 410 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.

ANEXO I - Observações a respeito dos procedimentos de aplicação das argamassas nos painéis de alvenaria

Massa Única	Painel: 1	Data: 14/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 24 C°	U.R. do AR: 65%	Hora: 18:30
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: REBOCO PRONTO		Traço: CIMENTO:AREIA:ADITIVOS	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 18:30		Hora - Desempenamento: 19:10	
Hora - Sarrafeamento: 18:50		Hora - Fim do Reboco: 19:20	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 7,0 litros de água para a quantidade de 40 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 2	Data: 14/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 24 C°	U.R. do AR: 65%	Hora: 18:35
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: REBOCO PRONTO		Traço: CIMENTO:AREIA:ADITIVOS	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 18:35		Hora - Desempenamento: 19:24	
Hora - Sarrafeamento: 18:58		Hora - Fim do Reboco: 19:30	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 7,0 litros de água para a quantidade de 40kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 3	Data: 14/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 24 C°	U.R. do AR: 65%	Hora: 18:35
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: REBOCO PRONTO		Traço: CIMENTO:AREIA:ADITIVOS	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 18:50		Hora - Desempenamento: 19:45	
Hora - Sarrafeamento: 19:20		Hora - Fim do Reboco: 20:00	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 7,0 litros de água para a quantidade de 40 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 4	Data: 15/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 26 C°	U.R. do AR: 70%	Hora: 09:45
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)		Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 09:46		Hora - Desempenamento: 10:28	
Hora - Sarrafeamento: 10:02		Hora - Fim do Reboco: 11:39	

. Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 5	Data: 15/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 26 C°	U.R. do AR: 70%	Hora: 10:00
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)		Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 10:05		Hora - Desempenamento: 10:49	
Hora - Sarrafeamento: 10:30		Hora - Fim do Reboco: 11:00	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 6	Data: 15/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 26 C°	U.R. do AR: 70%	Hora: 10:30
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)		Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Calcária	
Hora - Aplicação: 10:32		Hora - Desempenamento: 11:10	
Hora - Sarrafeamento: 10:55		Hora - Fim do Reboco: 11:25	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 7	Data: 15/10/2006
Procedimento de Aplicação da Massa Única		
Clima: Estável	Temperatura: 25 C°	U.R. do AR: 65% Hora: 13:00
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria	Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)	Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica		
Cimento: CP II - E 32	Areia: Artificial Natural	
Hora - Aplicação: 13:00	Hora - Desempenamento: 14:25	
Hora - Sarrafeamento: 13:40	Hora - Fim do Reboco: 14:50	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 8	Data: 15/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 25 C°	U.R. do AR: 65%	Hora: 13:10
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)		Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Natural	
Hora - Aplicação: 13:12		Hora - Desempenamento: 14:30	
Hora - Sarrafeamento: 13:45		Hora - Fim do Reboco: 15:00	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

Massa Única	Painel: 9	Data: 15/10/2006	
Procedimento de Aplicação da Massa Única			
Clima: Estável	Temperatura: 25 C°	U.R. do AR: 65%	Hora: 13:10
Tipo de Bloco: Cerâmico/Alvenaria		Base: LIMPA E UMIDECIDA	
Argamassa: 1:7 (cimento:areia)		Traço: CIMENTO:AREIA	
Análise da Areia: Boa granulometria e isenta de matéria orgânica			
Cimento: CP II - E 32		Areia: Artificial Natural	
Hora - Aplicação: 13:25		Hora - Desempenamento: 14:30	
Hora - Sarrafeamento: 14:00		Hora - Fim do Reboco: 15:12	

Observações realizadas no trabalho de campo no momento da aplicação da argamassa no substrato padrão escolhido

A argamassa apresentava boa trabalhabilidade no momento da mistura. A mesma foi confeccionada manualmente, utilizando-se 3,5 litros de água para a quantidade de 20 kg por sacaria. Dados fornecidos junto aos operários que ali trabalhavam e executaram todo o serviço de aplicação da argamassa sobre o substrato padrão cerâmico, relataram que a argamassa no estado fresco apresentava "boa liga", "puxava bem" para o tempo necessário de sarrafeamento e desempenamento. Dados importantes, pois estas observações corriqueiras refletem a trabalhabilidade da argamassa utilizada. De acordo com os procedimentos utilizados, não foram observados grandes intervalos entre os processos de aplicação e suas etapas até o acabamento final.

ANEXO II - Planilha dos valores de módulo de elasticidade das argamassas

Módulo de Elasticidade Dinâmico									
Descrição da Amostra									
Data do Ensaio:		27/02/07			Faixa de Frequência		6 a 12		
Voltagem:		0,10 V			(Hz):		kHz		
Resultados Experimentais Obtidos									
CP PRP 41 Reboco S Adit 01					CP PRP 41 Reboco S Adit 02				
# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r	# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				9360	1				10940
2				9020	2				7040
3				1012	3				7080
4				1166	4				7080
5				9080	5				7060
6				8580	6				7040
7				9200	7				7060
8				8860	8				7120
9				8380	9				7040
10				8100	10				7060
11				10000	11				7040
12				8800	12				7100
13				9780	13				7100
14				9820	14				7080
15				9800	15				7120
Média				8064	Média				7331
CP PRP41 Reboco S Adit 03					CP Areia Natural Reboco Pronto 01				
# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r	# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				7000	1				6400
2				7000	2				6400
3				7020	3				6400
4				7000	4				6400
5				7000	5				6400
6				7000	6				6400
7				7020	7				6400
8				7020	8				6400
9				7020	9				6400
10				7000	10				6400
11				7000	11				6400
12				7020	12				6400
13				7000	13				6400
14				7000	14				6400
15				7000	15				6400
Média				7007	Média				6400

CP Areia Natural Reboco Pronto 02

# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				6560
2				6580
3				6560
4				6580
5				6380
6				6380
7				7140
8				6580
9				6240
10				7400
11				6400
12				6560
13				6240
14				6780
15				6380
Média				6584

CP Areia Natural Reboco Pronto 03

# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				6200
2				6200
3				6200
4				6200
5				6200
6				6200
7				6200
8				6200
9				6200
10				6200
11				6200
12				6200
13				6200
14				6200
15				6200
Média				6200

CP Reboco Pronto Saco Papel 01

# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				5260
2				5280
3				5260
4				5320
5				5280
6				5260
7				5320
8				5260
9				5280
10				5260
11				5320
12				5280
13				5260
14				5260
15				5280
Média				5279

CP Reboco Pronto Saco Papel 02

# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				5600
2				5600
3				5600
4				5600
5				5600
6				5600
7				5600
8				5600
9				5600
10				5600
11				5600
12				5600
13				5600
14				5600
15				5600
Média				5600

CP Reboco Pronto Saco Papel 03				
# Leitura	Q	F _{low}	F _{high}	F _r
1				5660
2				5640
3				5660
4				5660
5				5680
6				5660
7				5700
8				5660
9				5660
10				5680
11				5670
12				5700
13				5660
14				5680
15				5680
Média				5670

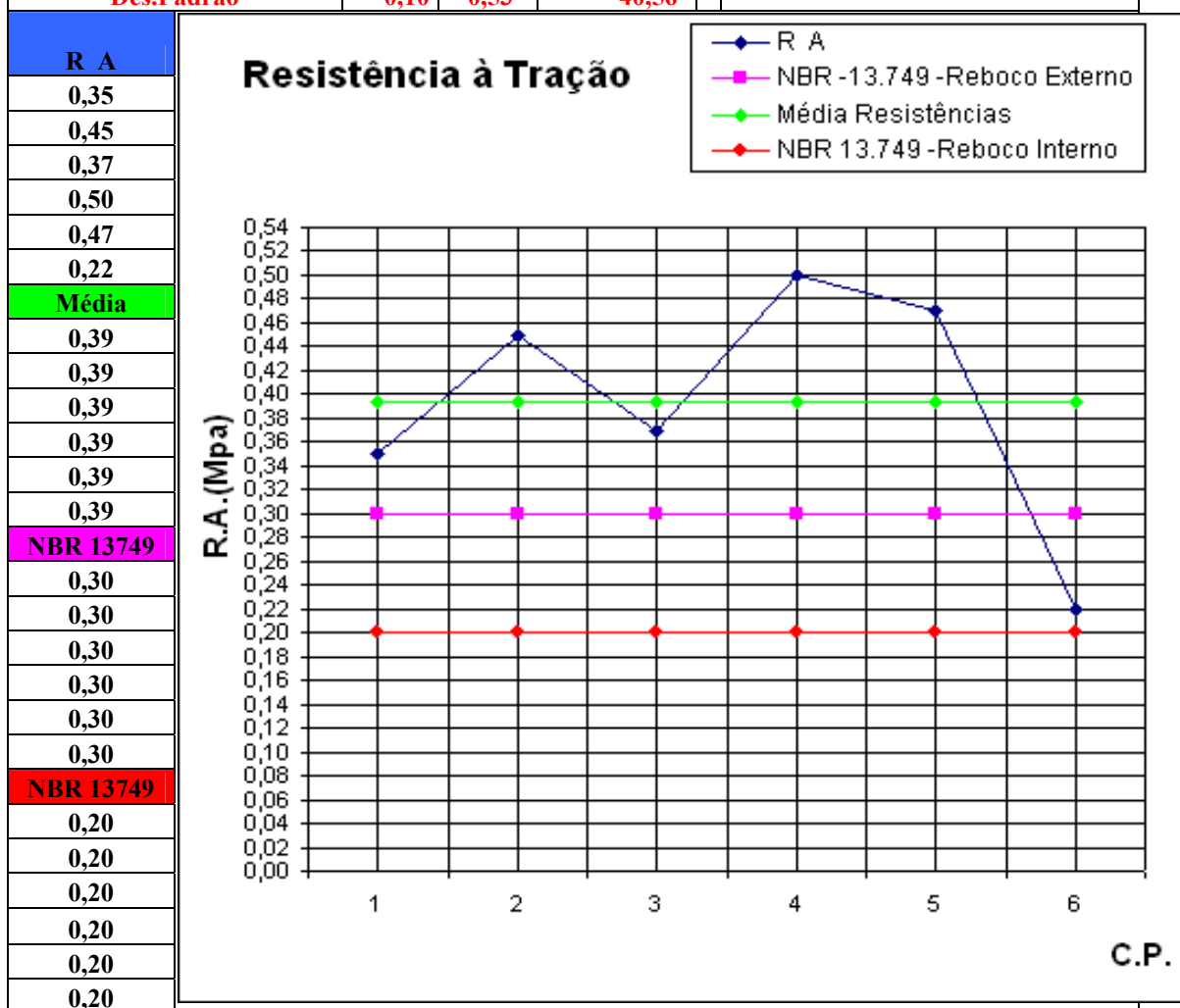
Tipo	Nº CP	Massa (kg)	L (m)	Φ (m)
1:7(artificial)	1	3,02	0,20	0,10
1:7(artificial)	2	3,02	0,20	0,10
1:7(artificial)	3	3,21	0,20	0,10
1:7 (natural)	1	2,82	0,20	0,10
1:7 (natural)	2	2,80	0,20	0,10
1:7 (natural)	3	2,82	0,20	0,10
reboco pronto	1	2,86	0,20	0,10
reboco pronto	2	2,90	0,20	0,10
reboco pronto	3	2,88	0,20	0,10

Tipo	A (m ²)	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	f (Hz)
1:7(artificial)	0,01	1,57E-03	1,92E+03	8064
1:7(artificial)	0,01	1,57E-03	1,92E+03	7331
1:7(artificial)	0,01	1,57E-03	2,04E+03	7007
1:7 (natural)	0,01	1,57E-03	1,80E+03	6400
1:7 (natural)	0,01	1,57E-03	1,78E+03	6584
1:7 (natural)	0,01	1,57E-03	1,80E+03	6200
reboco pronto	0,01	1,57E-03	1,82E+03	5279
reboco pronto	0,01	1,57E-03	1,85E+03	5600
reboco pronto	0,01	1,57E-03	1,83E+03	5670

Tipo	E _d (GPA)
1:7(artificial)	20
1:7(artificial)	17
1:7(artificial)	16
1:7 (natural)	12
1:7 (natural)	12
1:7 (natural)	11
reboco pronto	8
reboco pronto	9
reboco pronto	9

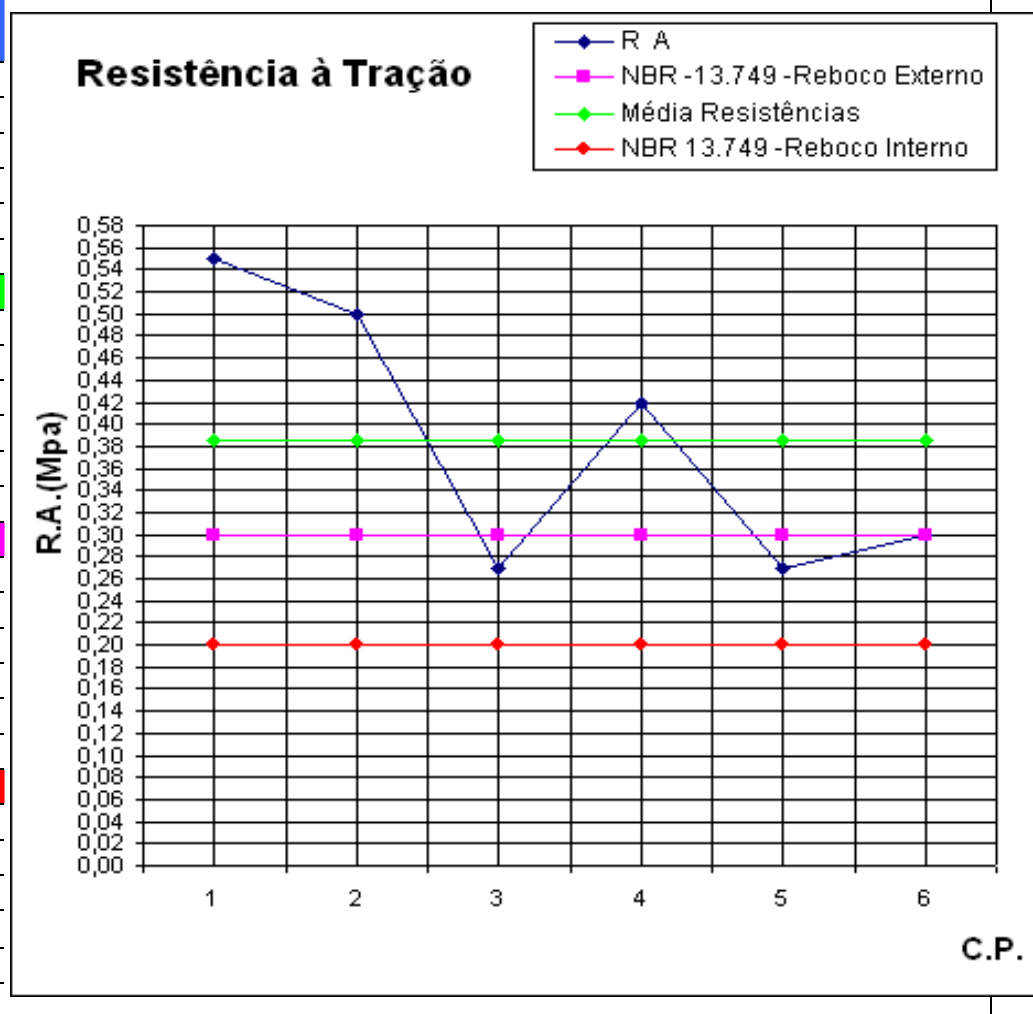
ANEXO III – Planilhas dos testes de resistência de aderência à tração

Testes de Tração		Painel: 1		Idade : 40 Dias					
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura: 29° C		U.R.: 65 %					
				Base: Ideal					
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura
				a	b	c	d	e	Média
1	0,35	48,30	1.831,32	x	100	x	x	x	2 cm
2	0,45	49,10	1.892,49	10	90	x	x	x	2 cm
3	0,37	48,00	1.808,64	5	95	x	x	x	2 cm
4	0,50	48,70	1.861,78	100	x	x	x	x	2 cm
5	0,47	47,60	1.778,62	80	x	x	x	x	2 cm
6	0,22	48,60	1.854,14	x	100	x	x	x	2 cm
Médias		0,39	48,38						1.837,83
Des.Padrão		0,10	0,53						40,56

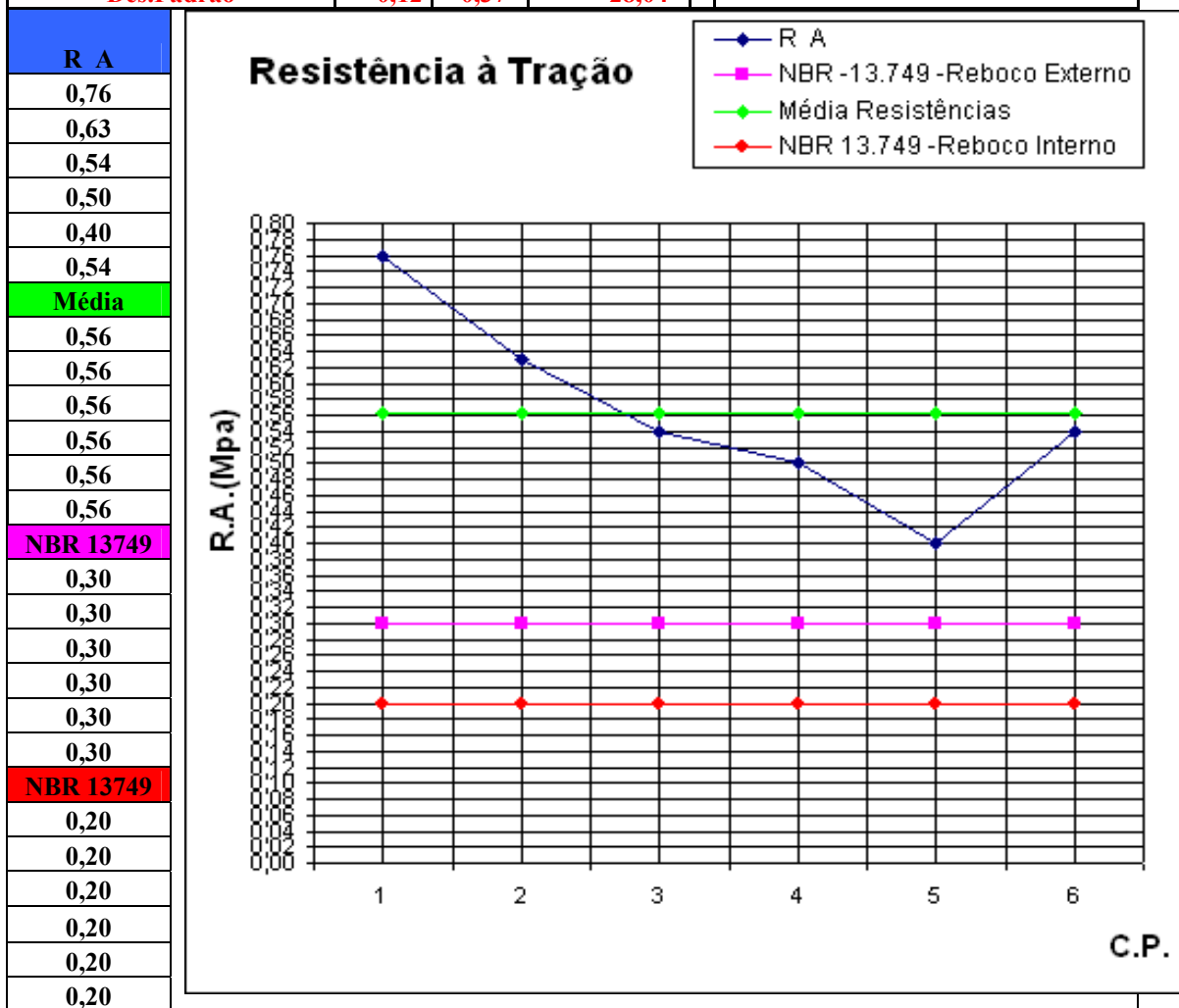


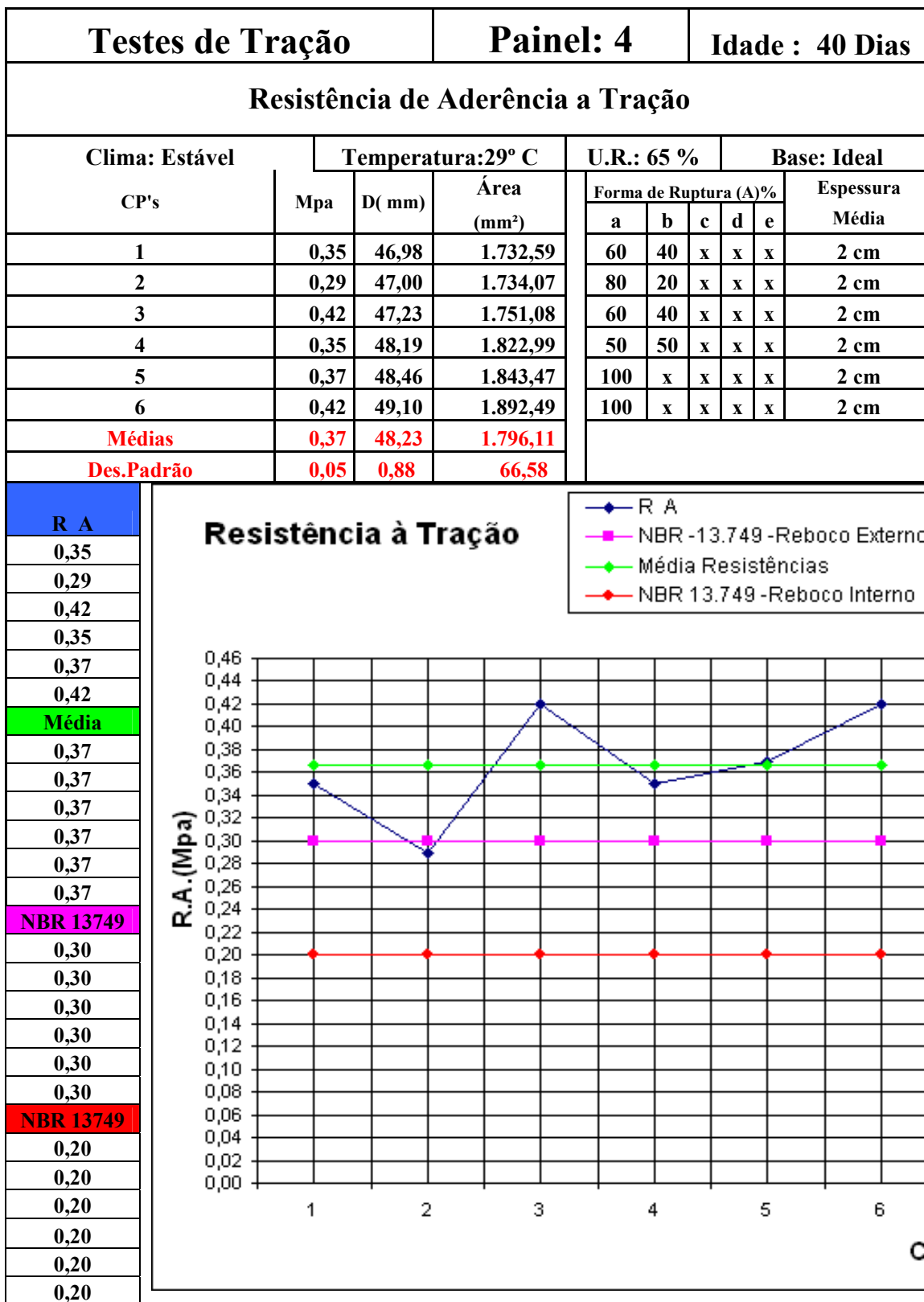
Testes de Tração		Painel: 2		Idade : 40 Dias					
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura: 29° C		U.R.: 65 %					
				Base: Ideal					
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura
				a	b	c	d	e	Média
1	0,55	48,20	1.823,74	80	20	x	x	x	2 cm
2	0,50	48,30	1.831,32	90	10	x	x	x	2 cm
3	0,27	49,10	1.892,49	5	95	x	x	x	2 cm
4	0,42	47,90	1.801,11	100	x	x	x	x	2 cm
5	0,27	48,00	1.808,64	50	50	x	x	x	2 cm
6	0,30	48,10	1.816,18	20	80	x	x	x	2 cm
Médias		0,39	48,23						1.828,91
Des.Padrão		0,12	0,43						32,92

R A
0,55
0,50
0,27
0,42
0,27
0,30
Média
0,39
0,39
0,39
0,39
0,39
0,39
NBR 13749
0,30
0,30
0,30
0,30
0,30
NBR 13749
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20

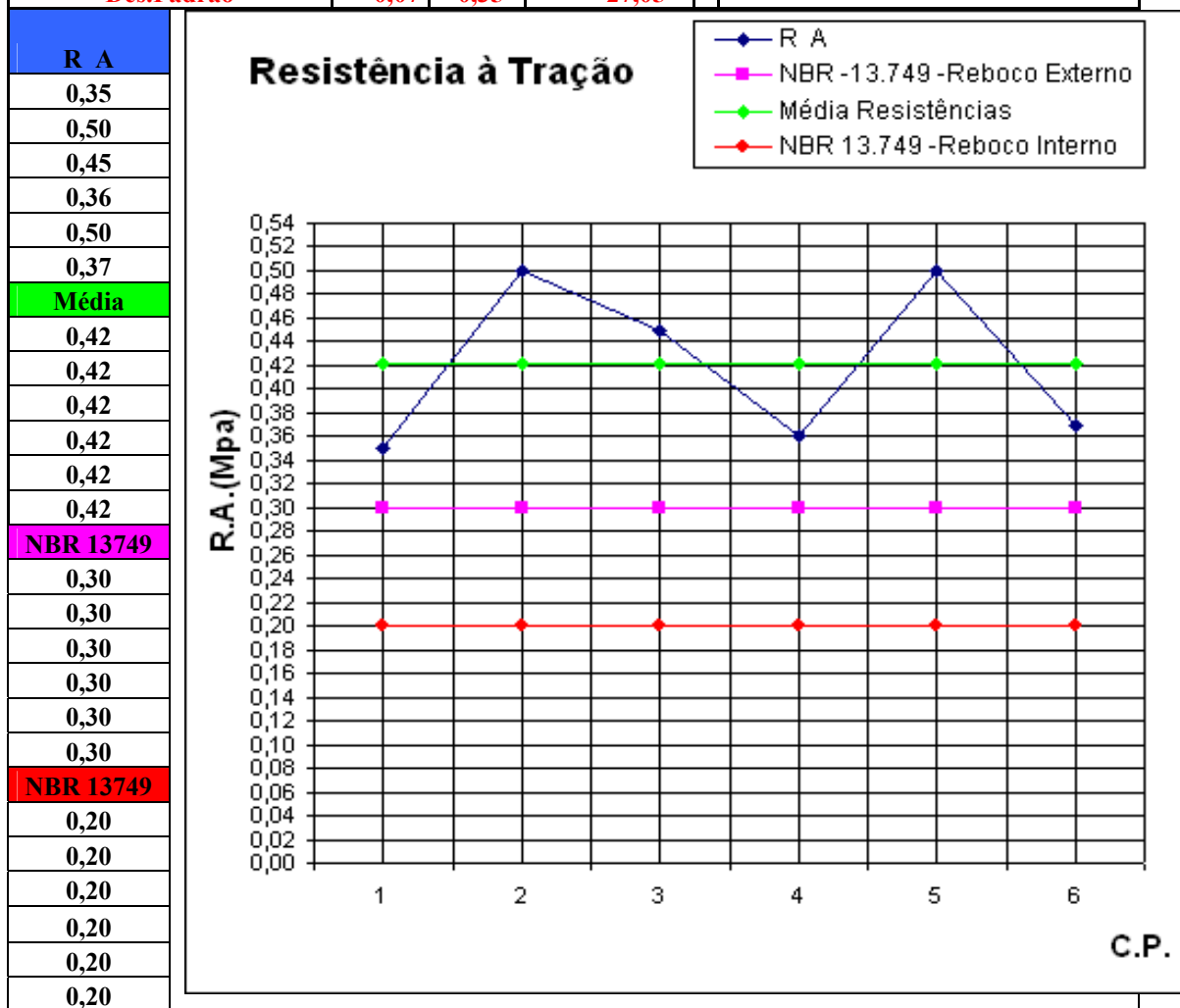


Testes de Tração		Painel: 3		Idade : 40 Dias					
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura:29° C		U.R.: 65 %	Base: Ideal				
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,76	48,12	1.817,69	100	20	x	x	x	2 cm
2	0,63	48,25	1.827,53	80	20	x	x	x	2 cm
3	0,54	48,70	1.861,78	70	30	x	x	x	2 cm
4	0,50	48,21	1.824,50	100	x	x	x	x	2 cm
5	0,40	49,00	1.884,79	50	50	x	x	x	2 cm
6	0,54	48,10	1.816,18	100	x	x	x	x	2 cm
Médias		0,56	48,23						
Des.Padrão		0,12	0,37						

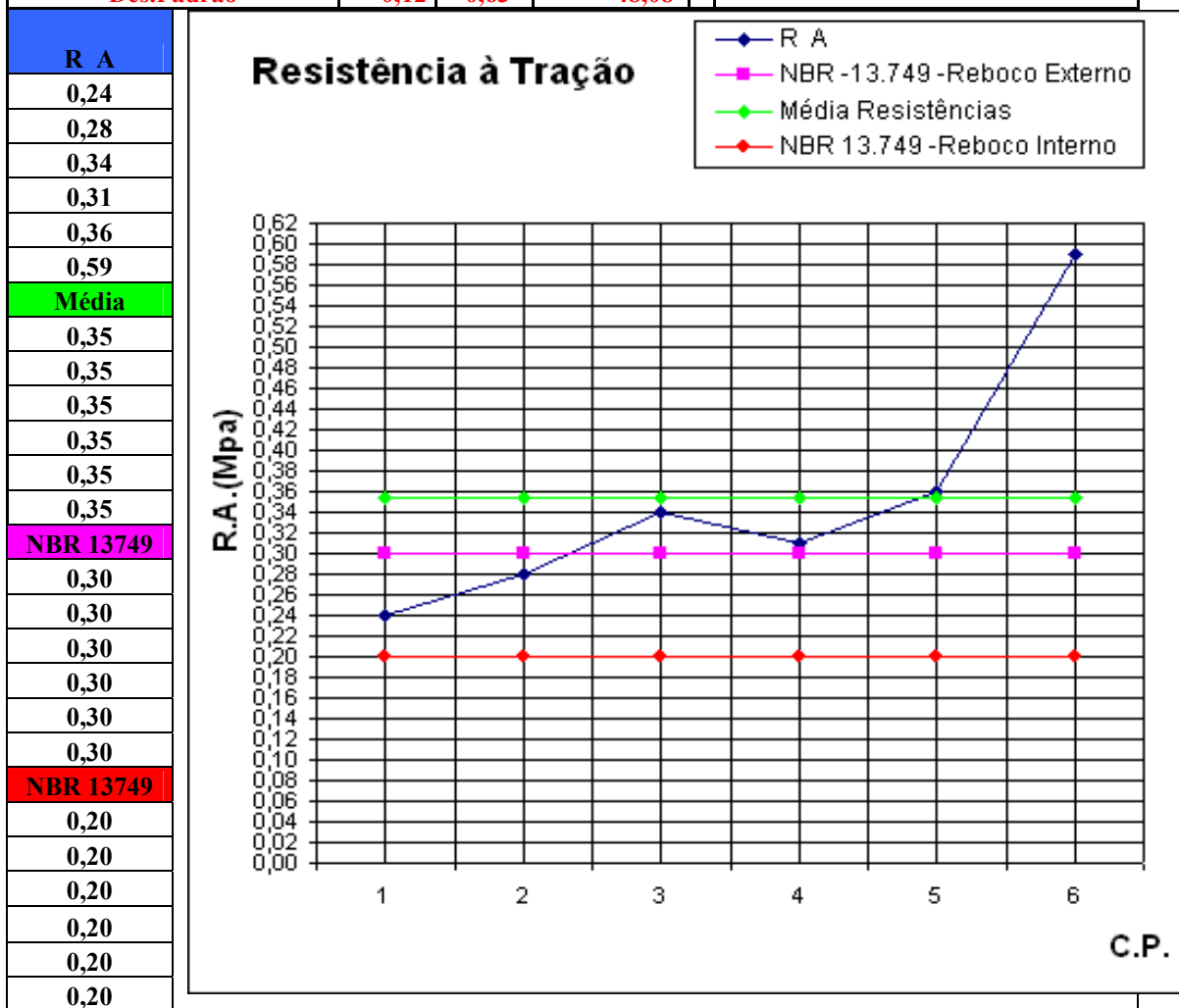




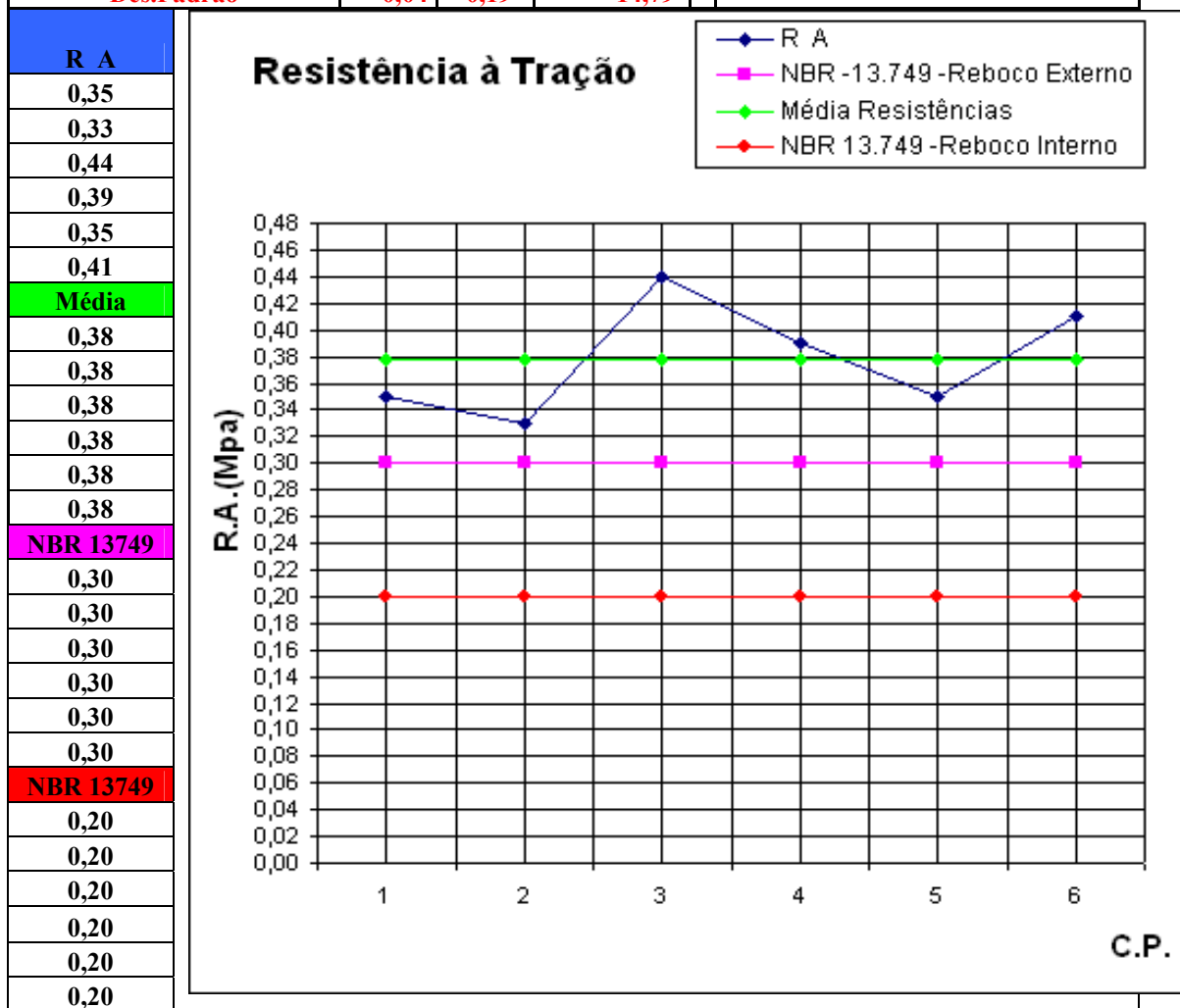
Testes de Tração			Painel: 5		Idade : 40 Dias				
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura: 29° C		U.R.: 65 %		Base: Ideal			
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,35	48,10	1.816,18	65	35	x	x	x	2 cm
2	0,50	48,54	1.849,56	95	5	x	x	x	2 cm
3	0,45	48,82	1.870,96	70	30	x	x	x	2 cm
4	0,36	49,00	1.884,79	20	80	x	x	x	2 cm
5	0,50	48,92	1.878,64	70	30	x	x	x	2 cm
6	0,37	48,34	1.834,35	50	50	x	x	x	2 cm
Médias		0,42	48,23						
Des.Padrão		0,07	0,35						



Testes de Tração			Painel: 6		Idade : 40 Dias				
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura: 29° C		U.R.: 65 %		Base: Ideal			
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,24	48,23	1.826,01	x	100	x	x	x	2 cm
2	0,28	48,19	1.822,99	70	30	x	x	x	2 cm
3	0,34	49,00	1.884,79	100	x	x	x	x	2 cm
4	0,31	49,50	1.923,45	10	90	x	x	x	2 cm
5	0,36	48,92	1.878,64	100	x	x	x	x	2 cm
6	0,59	49,70	1.939,02	100	x	x	x	x	2 cm
Médias		0,35	48,23						1.879,15
Des.Padrão		0,12	0,63						48,08



Testes de Tração			Painel: 7		Idade : 40 Dias				
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura: 29° C		U.R.: 65 %		Base: Ideal			
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,35	48,54	1.849,56	100	x	x	x	x	2 cm
2	0,33	48,39	1.838,15	100	x	x	x	x	2 cm
3	0,44	48,67	1.859,48	70	30	x	x	x	2 cm
4	0,39	48,39	1.838,15	50	50	x	x	x	2 cm
5	0,35	48,19	1.822,99	x	100	x	x	x	2 cm
6	0,41	48,17	1.821,47	20	80	x	x	x	2 cm
Médias		0,38	48,23						
Des.Padrão		0,04	0,19						



Testes de Tração			Painel: 8		Idade : 40 Dias				
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura:29° C		U.R.: 65 %		Base: Ideal			
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,40	48,16	1.820,72	100	x	x	x	x	2 cm
2	0,32	49,00	1.884,79	100	x	x	x	x	2 cm
3	0,30	48,76	1.866,37	70	30	x	x	x	2 cm
4	0,39	47,34	1.759,24	50	50	x	x	x	2 cm
5	0,34	48,13	1.818,45	x	100	x	x	x	2 cm
6	0,41	48,10	1.816,18	20	80	x	x	x	2 cm
Médias		0,36	48,23						
Des.Padrão		0,05	0,58						

R A
0,40
0,32
0,30
0,39
0,34
0,41
Média
0,36
0,36
0,36
0,36
0,36
NBR 13749
0,30
0,30
0,30
0,30
0,30
NBR 13749
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20

Resistência à Tração

CP's	R A (Mpa)	NBR-13.749 - Reboco Externo (Mpa)	Média Resistências (Mpa)	NBR 13.749 - Reboco Interno (Mpa)
1	0,40	0,30	0,36	0,20
2	0,32	0,30	0,36	0,20
3	0,30	0,30	0,36	0,20
4	0,39	0,30	0,36	0,20
5	0,34	0,30	0,36	0,20
6	0,41	0,30	0,36	0,20

C.P.

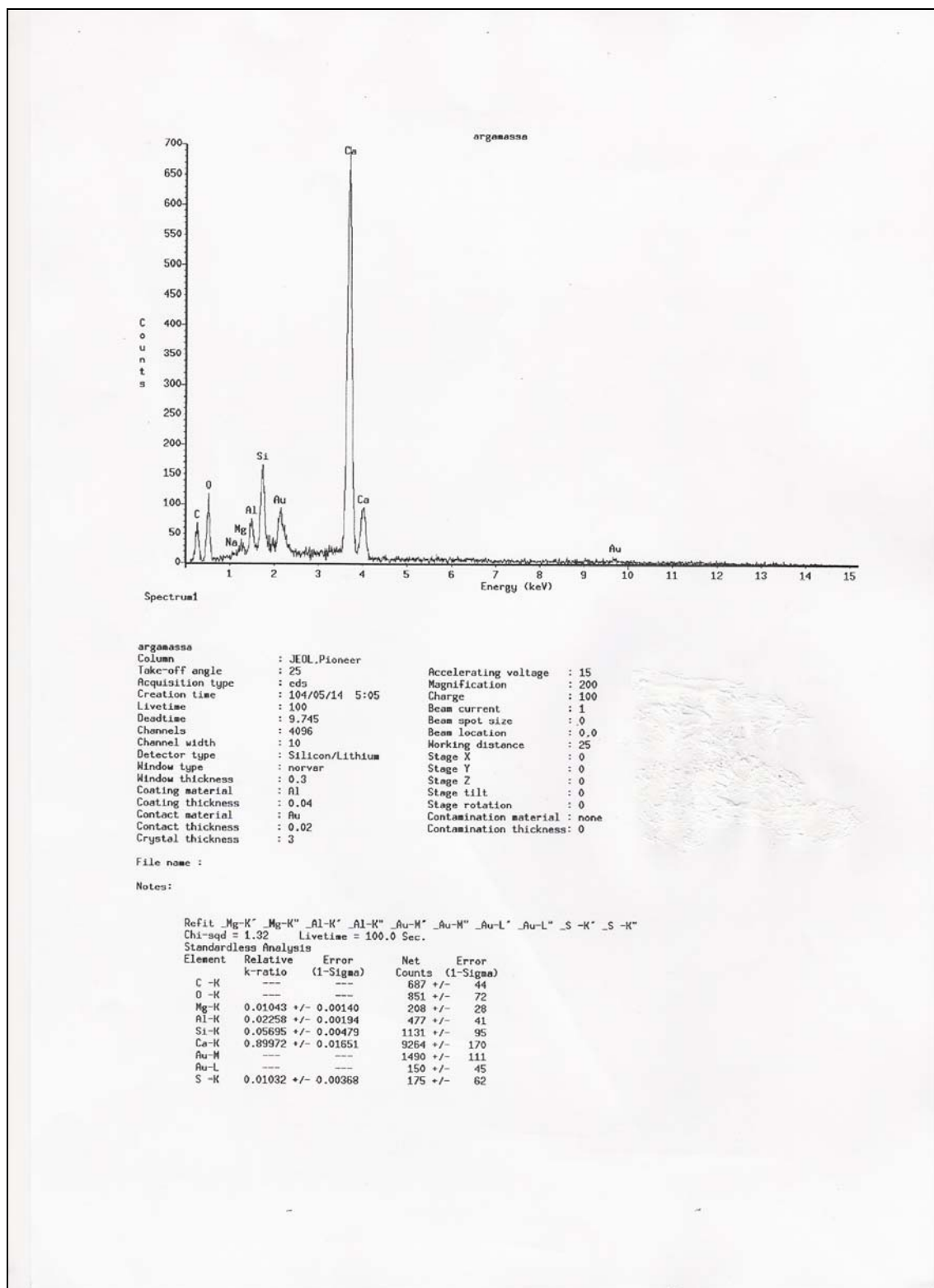
Testes de Tração			Painel: 9		Idade : 40 Dias				
Resistência de Aderência a Tração									
Clima: Estável		Temperatura:29° C		U.R.: 65 %		Base: Ideal			
CP's	Mpa	D(mm)	Área (mm ²)	Forma de Ruptura (A)%					Espessura Média
				a	b	c	d	e	
1	0,33	47,87	1.798,86	85	15	x	x	x	2 cm
2	0,44	49,15	1.896,34	40	60	x	x	x	2 cm
3	0,46	48,54	1.849,56	35	65	x	x	x	2 cm
4	0,34	48,59	1.853,38	100	x	x	x	x	2 cm
5	0,33	48,00	1.808,64	60	40	x	x	x	2 cm
6	0,36	47,20	1.748,85	20	80	x	x	x	2 cm
Médias		0,38	48,23						
Des.Padrão		0,06	0,68						

R A
0,33
0,44
0,46
0,34
0,33
0,36
Média
0,38
0,38
0,38
0,38
0,38
0,38
NBR 13749
0,30
0,30
0,30
0,30
0,30
0,30
NBR 13749
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20
0,20

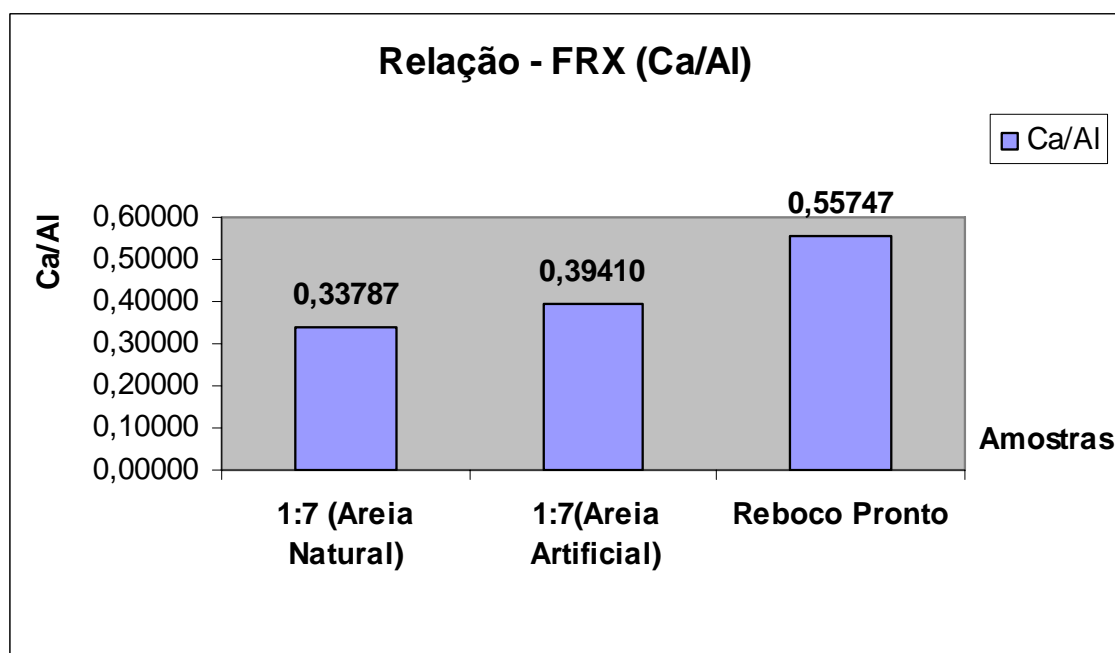
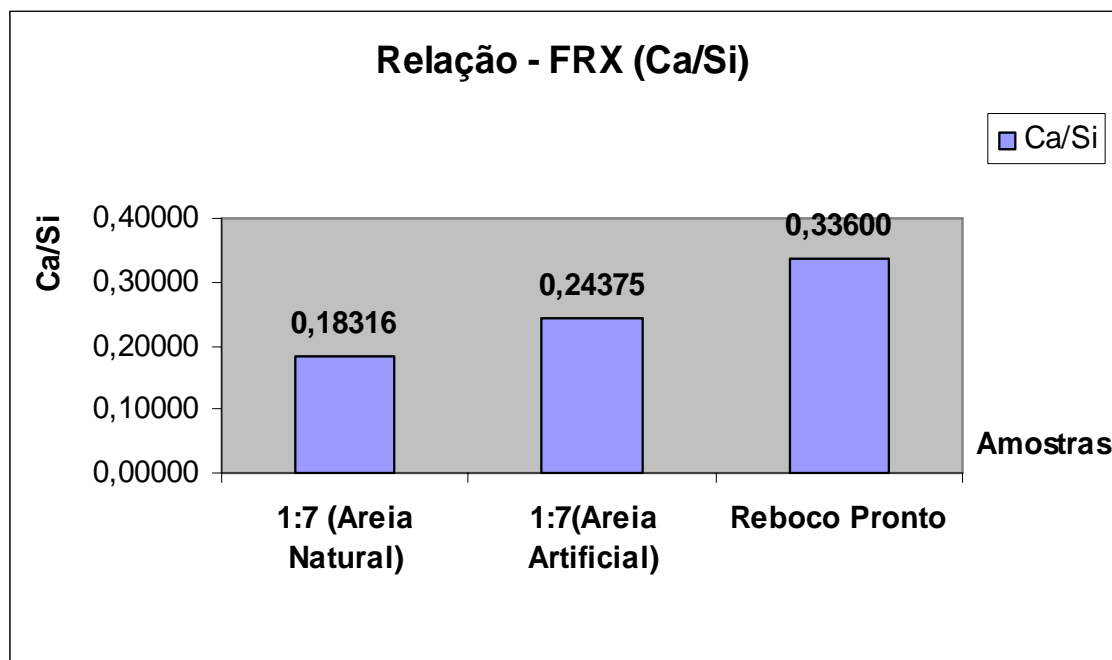
Resistência à Tração

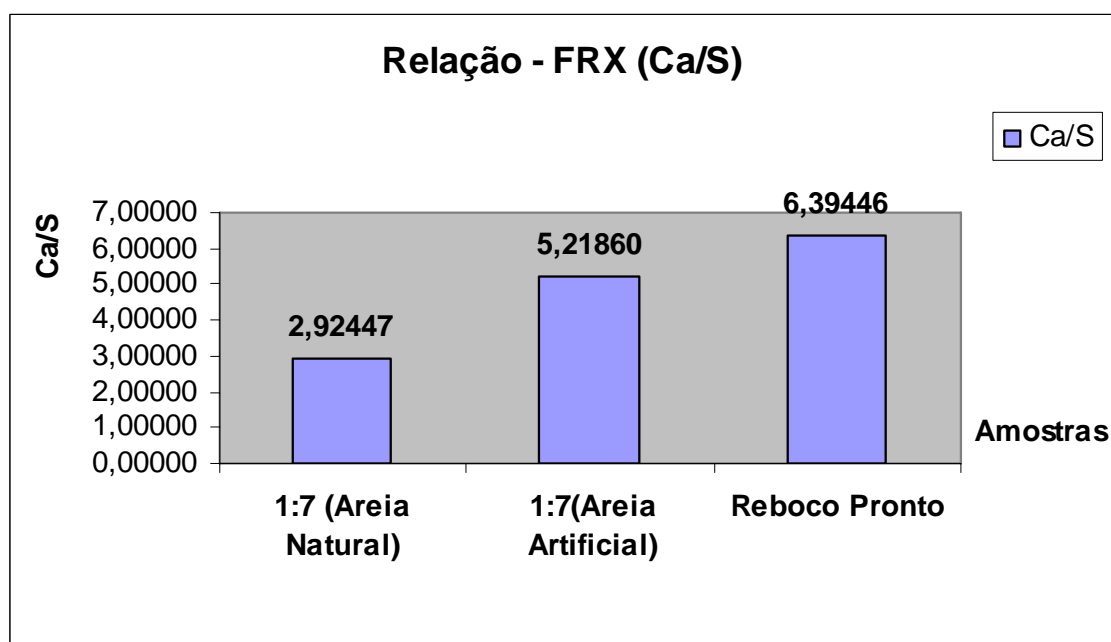
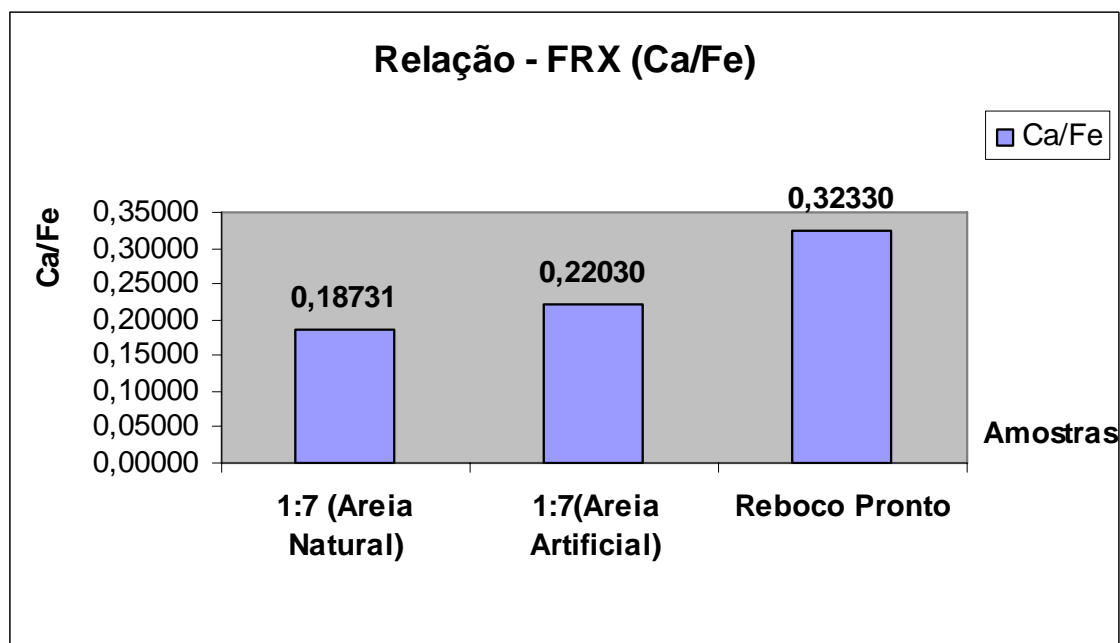
C.P.

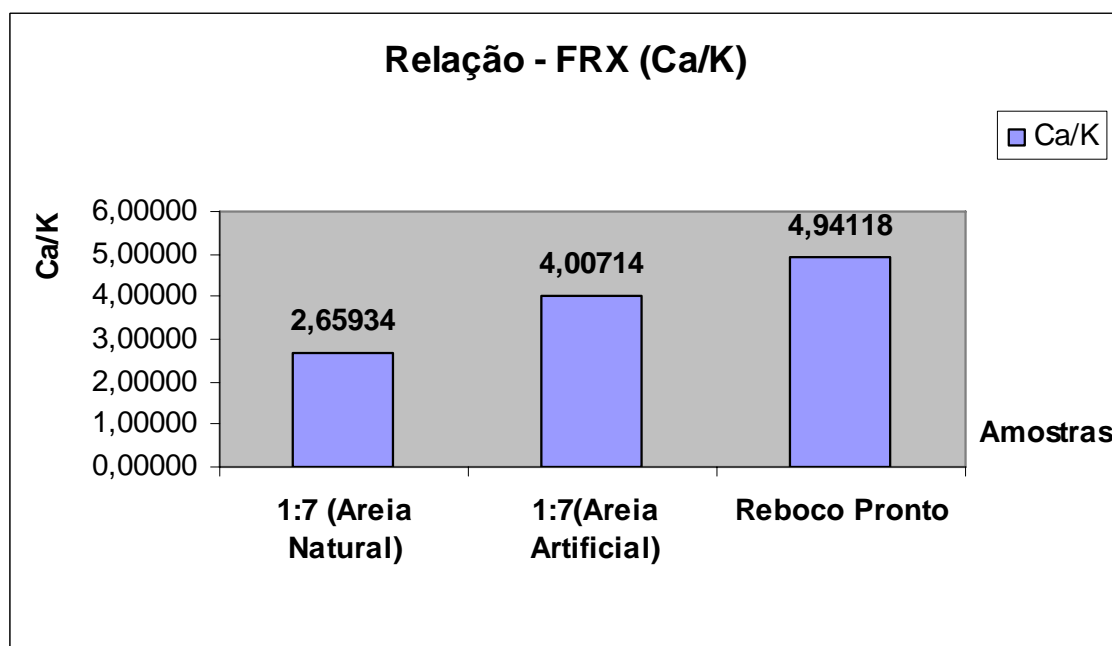
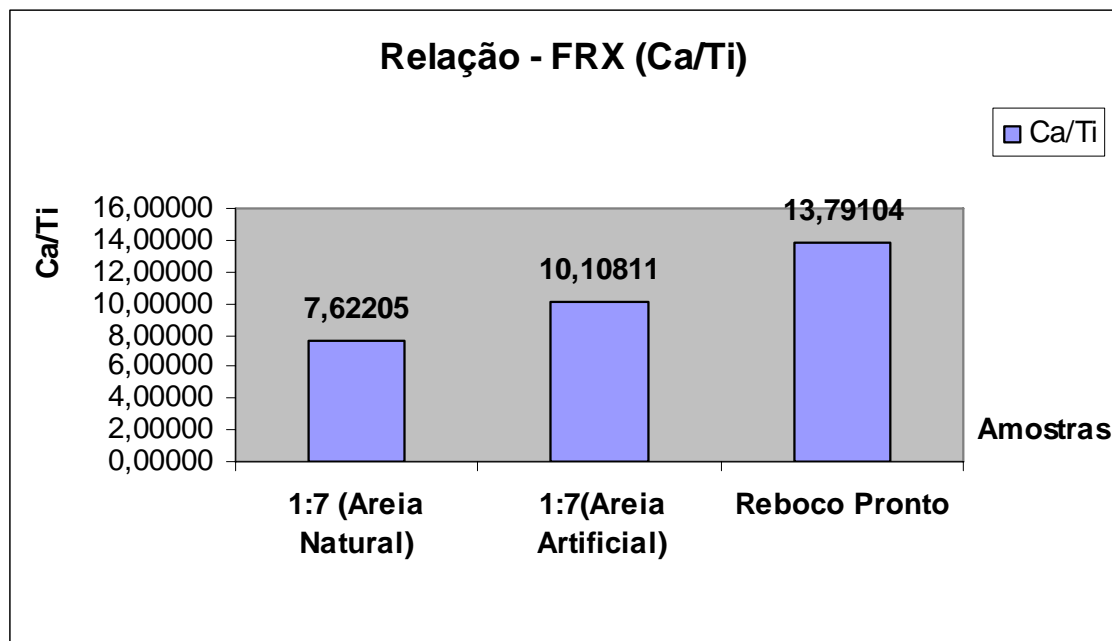
ANEXO IV - Imagens dos espectros e resultados gerados pelo programa de computador na análise realizada no microanalisador EDS



ANEXO V – Gráficos comparativo da presença dos elementos químicos nas análises realizadas pela FRX encontrados na faixa 0,5mm

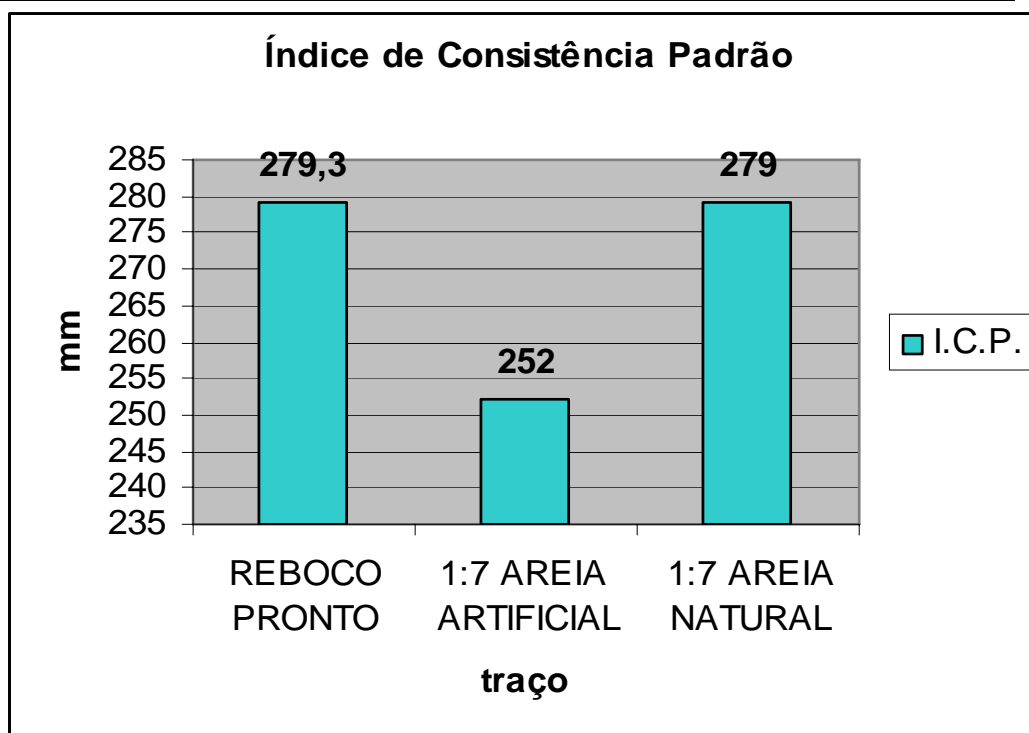




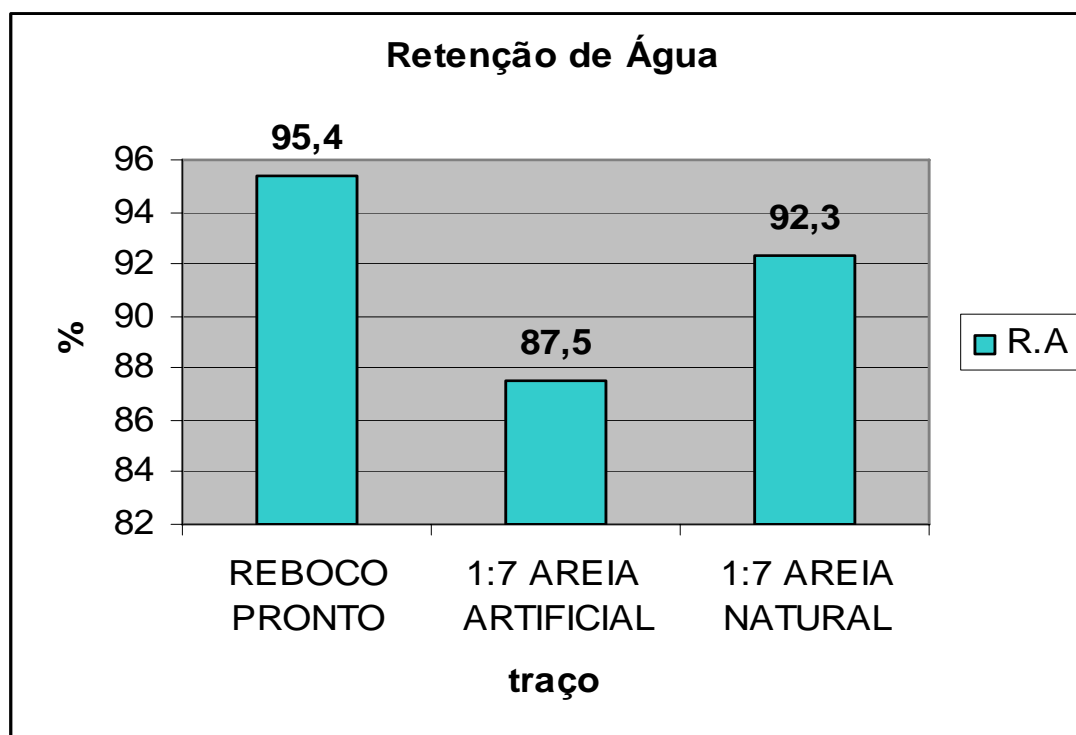


ANEXO VI – Gráficos dos resultados das análises no estado fresco e endurecido

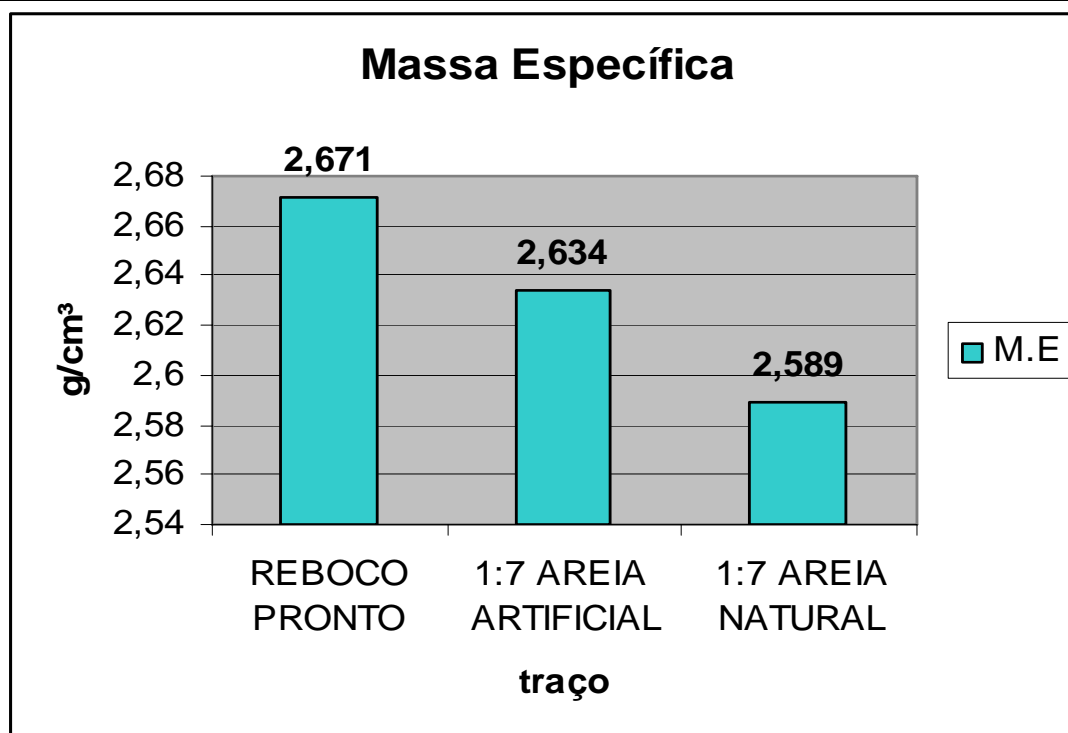
Estado Plástico	Ensaio Laboratorial	Data: 25/10/2006
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries – Índice de Consistência Padrão		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	I.C.P. (mm) - NBR-13276	Os testes de Índice de Consistência Padrão foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto	279,3	
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)	252	
Argamassa 1:7 (Areia Natural)	279	



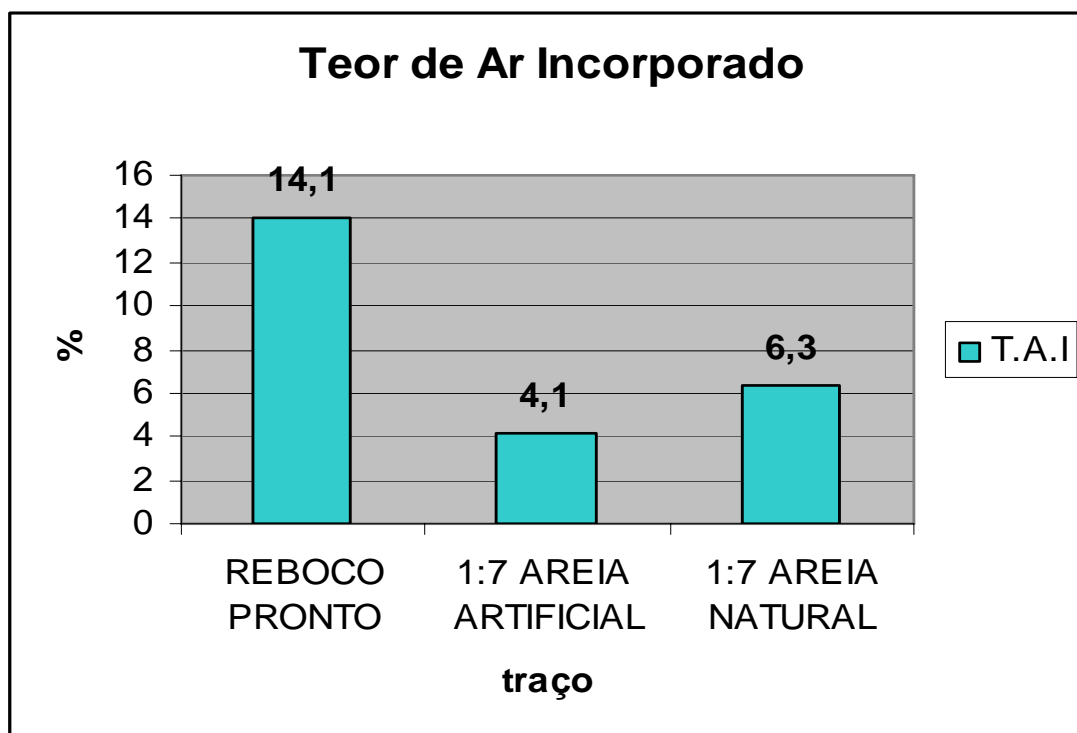
Estado Plástico	Ensaio Laboratorial	Data:25/10/2006
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries		
Retenção de Água		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	R.A. (%) - NBR 13277	Os testes de Retenção de água foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto	95,4	
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)	87,5	
Argamassa 1:7 (Areia Natural)	92,3	



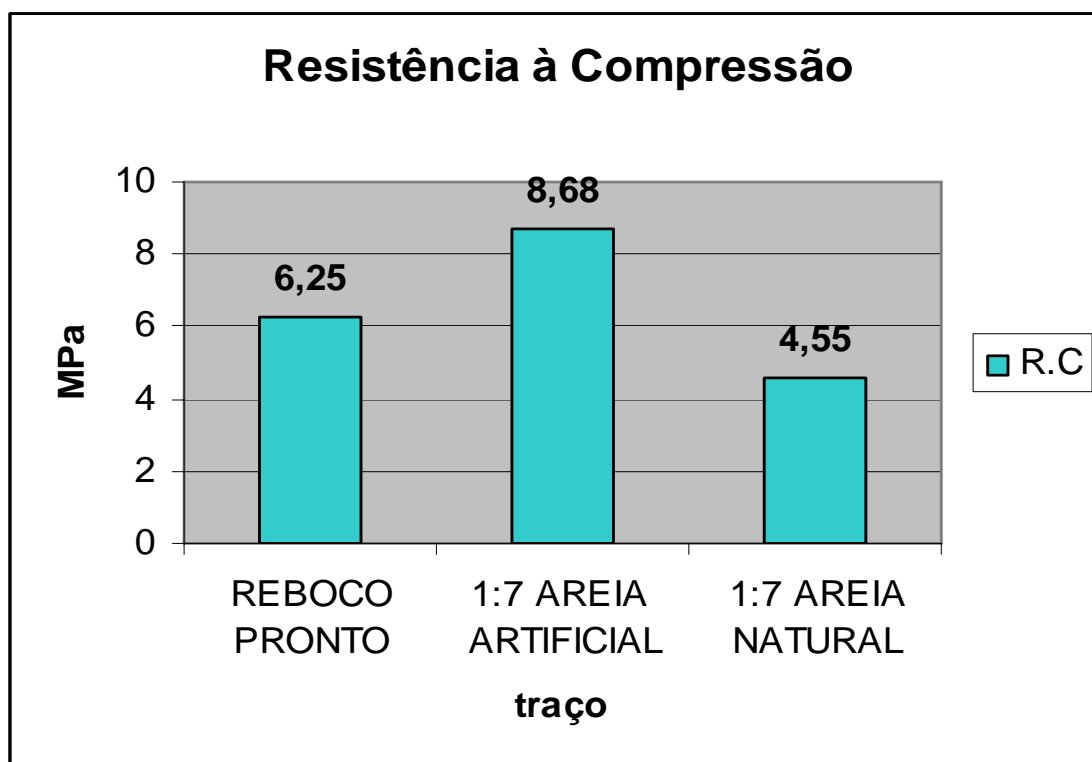
Estado Plástico	Ensaio Laboratorial	Data:25/10/2006
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries – Massa Específica		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	M.E. (g/cm ³) - NBR 13278	Os testes de massa específica foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto	2,671	
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)	2,634	
Argamassa 1:7 (Areia Natural)	2,589	



Estado Plástico	Ensaio Laboratorial	Data:27/10/2006
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries – Teor de Ar Incorporado		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	T.A.I. (%) - NBR 13278	Os testes de teor ar incorporado foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto	14,1	
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)	4,1	
Argamassa 1:7 (Areia Natural)	6,3	



Estado Plástico	Ensaio Laboratorial	Data:26/10/2006
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries – Resistência à Compressão		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	R.C. (MPa) - NBR 13279	Os testes de resistência à compressão foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto	6,25	
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)	8,68	
Argamassa 1:7 (Areia Natural)	4,55	



Estado Endurecido	Ensaio Laboratorial	Data:22/06/04
Procedimento de Correlação dos Resultados		
Traços para aplicação de massa única nos painéis em todas as séries – Módulo de Elasticidade Dinâmico Médio		
Argamassa: Reboco Pronto, 1:7 (Artificial e Natural)	Traço: Industrializado e Convencional	
Painéis (Base)	M.E. (GPa)	Os testes de módulo de elasticidade dinâmico foram realizados para todas as situações descritas e suas variações para cada tipo diferente de traço executado.
Reboco Pronto		
Argamassa 1:7 (Areia Artificial)		
Argamassa 1:7 (Areia Natural)		

