

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA
REVESTIMENTO EXTERNO UTILIZADAS NA CIDADE DE BELÉM-PA**

Ludmila Ribeiro da Silva de Mattos

Orientadora: Prof^a Dr^a Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Co-orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Porto Alegre

2001

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador, co-orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^a Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dr^a pela Universidade de São Paulo
Orientadora

Prof. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro
Dr. pela Universidade de São Paulo
Orientador

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Cláudio de Souza Kazmierckzak (UNISINOS)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. José Antônio Nascimento Pinto (UNISINOS)
Dr. pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ronaldo Bastos Duarte (UFRGS)
Ph.D. pela University of Edinburgh

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA
REVESTIMENTO EXTERNO UTILIZADAS NA CIDADE DE BELÉM-PA**

Ludmila Ribeiro da Silva de Mattos

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia**

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Co-orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro

Porto Alegre

2001

Com amor
ao meu pai, Guanair (in memoriam)
e à minha mãe, Carmen Lúcia
ao Paulo Sérgio

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, por ter me dado o dom da vida e onde sempre encontrei o apoio necessário para as situações mais difíceis.

À Prof^a Denise Dal Molin, por quem tenho a maior admiração, pela orientação precisa e segura.

Ao Prof. Arnaldo Carneiro, pela valiosa contribuição não somente para este trabalho, bem como para a minha vida profissional.

À minha mãe, Carmen Lúcia, pelo apoio, dedicação e amor sempre demonstrados, principalmente durante este período de ausência.

Aos meus pais, irmão, sobrinha, tios (Socorro, Rosa, Antônio e Edil), primos e afilhados, pelo incentivo, amor e carinho que sempre deram ao longo de minha vida, fundamentais para a realização deste trabalho.

Ao Paulo Sérgio, pelo amor, carinho, compreensão e paciência, demonstrados em todos os momentos, bem como pela contribuição profissional.

À Tamara e ao *Luizito*, pela amizade e apoio, imprescindíveis para a minha ambientação em Porto Alegre, ao me receberem com alegria e gentileza em sua casa.

Aos professores e colegas do NORIE, pelo convívio, incentivo e amizade demonstrados durante este período.

À Prof^a Ângela Masuero, pela amizade e auxílio durante a revisão bibliográfica e realização dos ensaios.

Às empresas participantes da pesquisa exploratória e aos fornecedores dos materiais, que possibilitaram a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Pará, principalmente ao Departamento de Construção Civil, pelo apoio recebido durante a realização da parte experimental. Em especial aos professores Hélio Alvarez Elarrat e Luiz Alberto Penna de Carvalho, pelo incentivo e amizade sempre demonstrados.

A toda equipe do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFPA, pelo auxílio durante a realização da parte experimental.

À equipe do Laboratório de Solos da UFRGS, em especial ao Prof. Bressani, pela contribuição durante os ensaios de caracterização do saibro.

Ao Prof. Tony Costa (UFPA), pelos esclarecimentos sobre mecânica dos solos e sobre a formação geológica da cidade de Belém-PA.

Ao Prof. José Luiz Duarte Ribeiro (UFRGS), pela orientação na análise estatística do experimento.

Ao Prof. Fernando Avancini Tristão (UFES), pelo auxílio na análise dos dados.

À Prof. Helena Carasek (UFG), pelo material fornecido para o desenvolvimento da revisão bibliográfica.

À bibliotecária June Magda Scharnberg (UFRGS), pela competente revisão e organização das referências bibliográficas.

Aos professores do Núcleo de Habitação da Amazônia – NUHAM/UFPA, pelo incentivo e apoio demonstrados desde a minha vida acadêmica.

À Claudinha, secretária do NUHAM, e à Lúcia, funcionária do NORIE, pela amizade e apoio.

Aos meus amigos Kátia, Celso, Sylvia Galeno, Maricele, Ana Paula, Therence, Isabelle, Sílvia, Eduardo, Sandro, Raika, Andréssio, Zé, Allan, *Caffé* (desculpe, *Antônio*), Marcelo, João e Lílian. Nossa amizade e companheirismo ultrapassou os limites da sala de aula, estando cada vez mais consolidada pela distância e pelo tempo.

À CAPES, pelo apoio financeiro imprescindível para o desenvolvimento deste trabalho.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de mais uma etapa da minha vida profissional.

Ludmila

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 HIPÓTESES.....	4
1.4 ABRANGÊNCIA DA PESQUISA.....	4
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	5
2 ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTOS.....	6
2.1 FUNÇÕES DOS REVESTIMENTOS.....	6
2.2 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS.....	9
2.2.1 Cimento Portland.....	12
2.2.2 Areia.....	14
2.2.3 Água....	19
2.2.4 Aditivos.....	22
2.2.5 Adições minerais em argamassas.....	28
2.2.5.1 Saibro.....	29
2.2.5.1.1 Origem e formação dos saibros.....	30
2.2.5.1.2 Influência do saibro nas propriedades das argamassas.....	36
2.2.5.2 Sílica ativa.....	45
2.2.5.2.1 Ação química e física da sílica ativa.....	47
2.2.5.2.2 Utilização da sílica ativa em argamassas.....	48
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	52
3.1 MÉTODO PARA A EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO.....	52
3.2 MÉTODO PARA A EXECUÇÃO DOS ENSAIOS.....	54
3.2.1 Caracterização dos materiais.....	55
3.2.1.1 Cimento Portland.....	55
3.2.1.2 Agregado miúdo.....	56
3.2.1.3 Saibro.....	58
3.2.1.4 Sílica ativa....	61
3.2.1.5 Aditivo.....	63
3.2.2 Conversão dos traços em volume para massa e determinação dos traços estudados..	64
3.2.3 Produção das argamassas e preparo dos corpos-de-prova.....	65
3.2.4 Propriedades estudadas e métodos de ensaio adotados.....	68
3.2.4.1. Ensaio com a argamassa no estado fresco.....	68

3.2.4.1. Ensaio com a argamassa no estado endurecido.....	68
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	71
4.1 RESULTADOS OBTIDOS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO.....	71
4.2 RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL.....	73
4.2.1 Trabalhabilidade.....	74
4.2.2 Massa específica no estado fresco.....	76
4.2.3 Retenção de água.....	82
4.2.4 Resistência mecânica.....	87
4.2.5 Massa específica no estado endurecido.....	97
4.2.6 Absorção de água por imersão e índice de vazios.....	104
4.2.7 Absorção de água por capilaridade.....	110
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
5.1 ESTUDO EXPLORATÓRIO.....	118
5.2 ESTUDO EXPERIMENTAL.....	119
5.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	124
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

ANEXOS

ANEXO A – PESQUISA EXPLORATÓRIA

A.1 QUESTIONÁRIO UTILIZADO DURANTE O LEVANTAMENTO DA PESQUISA EXPLORATÓRIA.....	136
A.2 RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO QUESTIONÁRIO.....	137

ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Tabela B.1	Composição granulométrica dos grãos de saibro inferiores a 0,075 mm.....	138
Tabela B.2	Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T1 (14,8 % saibro e 85,2 % areia).....	138
Tabela B.3	Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T2 (12,6 % saibro e 87,4 % areia).....	139
Tabela B.4	Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T3 (25,6 % saibro e 74,4 % areia).....	139
Tabela B.5	Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado fresco.....	140
Tabela B.6	Resultados do ensaio de teor de ar incorporado das argamassas aditivadas.....	141
Tabela B.7	Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado endurecido.....	142
Tabela B.8	Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado endurecido.....	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Variação da resistência de aderência para diversas argamassas (ROBINSON & BROWN, 1988).....	26
Figura 2.2	Representação gráfica das unidades fundamentais da estrutura dos argilominerais (CAPUTO, 1988).....	32
Figura 2.3	Representação gráfica do modelo estrutural da caulinita (GRIM, 1962).....	33
Figura 2.4	Representação dos estados de consistência dos solos.....	34
Figura 2.5	Difratograma de raios-x de amostra de saibro proveniente do distrito de Outeiro, a 25 km de Belém (COSTA et al., 1991).....	35
Figura 2.6	Influência do teor, em relação à quantidade total de agregado, e da natureza de diversos materiais plastificantes no consumo de água, em argamassas de cimento e areia, traço 1:3 (UNIKOWSKI, 1982).....	37
Figura 2.7	Representação simbólica da influência dos argilominerais na estrutura da pasta aglomerante (JOISEL, 1981).....	40
Figura 3.1	Distribuição granulométrica da areia.....	58
Figura 3.2	Distribuição granulométrica do saibro.....	60
Figura 3.3	Difratograma de raios-x da amostra de saibro.....	61
Figura 3.4	Comparação entre as distribuições granulométricas das misturas saibro-areia, do saibro e da areia.....	61
Figura 3.5	Comparação da distribuição granulométrica da sílica ativa utilizada com outras pozolanas.....	63
Figura 4.1	Variação do índice de consistência das argamassas com a relação água/aglomerante.....	74
Figura 4.2	Variação da relação água/aglomerante com a relação agregado/aglomerante.....	76
Figura 4.3	Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado fresco – grupo I.....	77
Figura 4.4	Massa específica no estado fresco em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.....	77
Figura 4.5	Massa específica no estado fresco das argamassas do grupo I.....	78
Figura 4.6	Variação da massa específica no estado fresco com a relação saibro/areia.....	79
Figura 4.7	Variação da massa específica no estado fresco com a relação água/aglomerante – grupo I.....	79
Figura 4.8	Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado fresco – grupo II.....	80
Figura 4.9	Massa específica no estado fresco em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	80
Figura 4.10	Massa específica no estado fresco das argamassas do grupo II.....	81
Figura 4.11	Variação da massa específica no estado fresco com a relação água/aglomerante – grupo II.....	82
Figura 4.12	Comportamento das argamassas quanto à retenção de água, em função dos traços analisados – grupo I.	83
Figura 4.13	Retenção de água das argamassas do grupo I.....	83
Figura 4.14	Variação da retenção de água com a relação saibro/areia, para as argamassas T1, T2 e T3.....	84

Figura 4.15	Variação da retenção de água com a relação aglomerante/agregado – grupo I.....	85
Figura 4.16	Comportamento das argamassas quanto à retenção de água – grupo II.....	86
Figura 4.17	Retenção de água em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	86
Figura 4.18	Retenção de água das argamassas do grupo II.....	86
Figura 4.19	Variação da retenção de água com a relação aglomerante/agregado – grupo II.....	87
Figura 4.20	Comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão – grupo I.....	88
Figura 4.21	Resistência à compressão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.....	88
Figura 4.22	Resistência à compressão das argamassas do grupo I.....	89
Figura 4.23	Variação da resistência à compressão com a relação saibro/areia.....	90
Figura 4.24	Variação da resistência à compressão – grupo I.....	90
Figura 4.25	Comportamento das argamassas quanto à resistência à tração por compressão diametral – grupo I.....	91
Figura 4.26	Resistência à tração por compressão diametral em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.....	91
Figura 4.27	Correlação da resistência à tração por compressão diametral com a resistência à compressão, para o grupo I.....	92
Figura 4.28	Variação percentual da relação entre as resistências à tração e à compressão para as argamassas do grupo I.....	92
Figura 4.29	Comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão – grupo II.....	93
Figura 4.30	Resistência à compressão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	93
Figura 4.31	Resistência à compressão das argamassas do grupo II.....	94
Figura 4.32	Variação da resistência à compressão – grupo II.....	95
Figura 4.33	Comportamento das argamassas quanto à resistência à tração por compressão diametral – grupo II.....	96
Figura 4.34	Resistência à tração por compressão diametral em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	96
Figura 4.35	Correlação da resistência à tração por compressão diametral com a resistência à compressão, para o grupo II.....	97
Figura 4.36	Variação percentual da relação entre as resistências à tração e à compressão, para as argamassas do grupo II.....	97
Figura 4.37	Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado endurecido – grupo I.....	98
Figura 4.38	Massa específica no estado endurecido em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.....	98
Figura 4.39	Massa específica no estado endurecido das argamassas do grupo I.....	99
Figura 4.40	Variação da massa específica no estado endurecido com a relação água/aglomerante – grupo I.....	100
Figura 4.41	Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado endurecido – grupo II.....	101
Figura 4.42	Massa específica no estado endurecido em função da interação entre os	

	fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	102
Figura 4.43	Massa específica no estado endurecido das argamassas do grupo II.....	102
Figura 4.44	Variação da massa específica no estado endurecido com a relação água/aglomerante – grupo II.....	103
Figura 4.45	Comportamento das argamassas quanto à absorção por imersão – grupo I.....	104
Figura 4.46	Absorção de água das argamassas do grupo I.....	105
Figura 4.47	Variação da absorção por imersão com a relação saibro/areia.....	105
Figura 4.48	Variação da absorção por imersão com a relação água/materiais secos – grupo I.....	106
Figura 4.49	Variação do índice de vazios com a relação água/materiais secos – grupo I.....	107
Figura 4.50	Comportamento das argamassas quanto à absorção por imersão – grupo II.....	108
Figura 4.51	Absorção por imersão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	108
Figura 4.52	Absorção de água das argamassas do grupo II.....	108
Figura 4.53	Variação da absorção por imersão com a relação água/materiais secos – grupo II.....	109
Figura 4.54	Variação do índice de vazios com a relação água/materiais secos – grupo II.....	110
Figura 4.55	Relação entre o coeficiente de absorção capilar e a absorção superficial de água por capilaridade, aos 4320 minutos (72 horas) – grupo I.....	111
Figura 4.56	Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar – grupo I.....	112
Figura 4.57	Coeficiente de absorção capilar em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.....	112
Figura 4.58	Coeficiente de absorção capilar das argamassas do grupo I.....	112
Figura 4.59	Variação do coeficiente de absorção capilar com a relação água/aglomerante – grupo I.....	113
Figura 4.60	Relação entre o coeficiente de absorção capilar e a absorção superficial de água por capilaridade, aos 4320 minutos (72 horas) – grupo II.....	114
Figura 4.61	Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar grupo II.....	115
Figura 4.62	Coeficiente de absorção capilar em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.....	115
Figura 4.63	Coeficiente de absorção capilar das argamassas do grupo II.....	115
Figura 4.64	Variação do coeficiente de capilaridade com a relação água/aglomerante – grupo II.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Relação das propriedades do conjunto argamassa e base com a respectiva função do revestimento (CINCOTTO et al., 1995).....	9
Tabela 2.2	Características dos poros em argamassa de cimento e areia (JIANG, citado por CARNEIRO, 1999).....	21
Tabela 2.3	Composição química média da sílica ativa, em porcentagem (GUTT & NIXON, citados por WOLF, 1991).....	46
Tabela 3.1	Caracterização das empresas participantes da pesquisa exploratória.....	53
Tabela 3.2	Argamassas para revestimento externo – traços em volume.....	54
Tabela 3.3	Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos utilizados.....	56
Tabela 3.4	Características do agregado miúdo – areia.....	57
Tabela 3.5	Características físicas do saibro utilizado.....	59
Tabela 3.6	Características químicas e físicas da sílica ativa utilizada.....	62
Tabela 3.7	Determinação dos traços em massa a serem estudados.....	64
Tabela 3.8	Traços utilizados para o estudo das argamassas – em massa.....	65
Tabela 3.9	Características e consumo de materiais por m ³ das argamassas.....	67
Tabela 3.10	Teor de ar das argamassas com aditivo incorporador de ar no estado fresco.....	68
Tabela 3.11	Propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.....	70
Tabela 4.1	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica aparente no estado fresco – grupo I...	76
Tabela 4.2	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica aparente no estado fresco – grupo II..	79
Tabela 4.3	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na retenção de água – grupo I.....	82
Tabela 4.4	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na retenção de água – grupo II.....	85
Tabela 4.5	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à compressão – grupo I.....	88
Tabela 4.6	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à tração por compressão diametral – grupo I.....	91
Tabela 4.7	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à compressão – grupo II.....	93
Tabela 4.8	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à tração por compressão diametral – grupo II.....	95
Tabela 4.9	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica aparente no estado endurecido – grupo I.....	98
Tabela 4.10	Variação percentual da massa específica do estado fresco para o endurecido, para o grupo I.....	100
Tabela 4.11	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica aparente no estado endurecido – grupo II.....	101

Tabela 4.12	Varição percentual da massa específica do estado fresco para o endurecido, para o grupo II.....	103
Tabela 4.13	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na absorção por imersão – grupo I.....	104
Tabela 4.14	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na absorção por imersão – grupo II.....	107
Tabela 4.15	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, no coeficiente de absorção capilar – grupo I.....	111
Tabela 4.16	Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, no coeficiente de absorção capilar – grupo II.....	114

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO EXTERNO UTILIZADAS NA CIDADE DE BELÉM-PA

Ludmila Ribeiro da Silva de Mattos

RESUMO

O saibro é uma adição mineral utilizada na cidade de Belém-Pa com o objetivo de proporcionar plasticidade às argamassas, sendo utilizado indiscriminadamente e sem critérios técnicos. A ocorrência de fissuras apresenta-se como uma das mais frequentes manifestações patológicas, sendo muito comum o meio técnico local apontar como principal causa a elevada permeabilidade destas argamassas. Devido ao desempenho insatisfatório apresentado e à ausência de pesquisas na área, tem sido comum a substituição deste material por aditivos químicos plastificantes nas grandes empresas de construção civil. Este trabalho tem o objetivo de caracterizar os materiais e identificar os traços mais utilizados, para o estudo do comportamento das argamassas para revestimentos externos desta cidade. Desta forma, para avaliar o comportamento de argamassas produzidas com saibro e com aditivo incorporador de ar, bem como a influência dos dois tipos de cimento mais usados na região, a análise das argamassas foi realizada através de ensaios no estado fresco (consistência, retenção de água e massa específica) e no estado endurecido (resistência mecânica, massa específica, absorção de água por imersão e por capilaridade). Na busca de alternativas que melhorem o desempenho destas argamassas, também utilizou-se a adição de 10% de sílica ativa, em relação à massa de cimento, em uma argamassa com saibro e em outra argamassa com aditivo químico. Os resultados obtidos indicam que existe influência significativa do tipo de cimento empregado e do teor de saibro, em relação à quantidade total de agregado. A substituição do saibro pelo aditivo químico, assim como a adição de sílica ativa, nem sempre apresentaram bons resultados.

IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTO EXTERNO UTILIZADAS NA CIDADE DE BELÉM-PA

Ludmila Ribeiro da Silva de Mattos

ABSTRACT

Saibro is a mineral addition used in the city of Belém that providing plasticity to mortars. The occurrence of fissures comes as one of the most frequent pathological manifestations, being very common the technicals point as main cause the high permeability of these mortars. Due to this unsatisfactory performance and to the absence of researches in the area, some companies of civil construction are substituting this material for chemical admixtures. The main purpose of this work is to characterize the materials and to identify the mixes commonly used, for the study of the behavior of mortars for external rendering of this city. This way, to evaluate the behavior of mortars produced with saibro and with air-entraining admixture, besides the influence of the two cement types commonly used in the city, lab tests were carried out in the fresh state (consistency, water retention and bulk density) and in the hardened state (mechanical strenght, bulk density, capillary absorption and for immersion). Trying to improve the performance of these mortars, 10% of sílica fume was also used, by weight of cement, in a mortar with saibro and in other mortar with air-entraining admixture. The obtained results show significant influence of the type of cement employed and of saibro content, in relation to the total amount of aggregate. The substitution of saibro for the chemical admixture, as well as the addition of silica fume, not always presented good results.

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DA PESQUISA

A função de vedação, de uma forma geral, é constituir uma separação entre o edifício e o meio exterior ou entre diversos ambientes (CARDOSO, 1987). Desta forma a construção dará condições para que seus ocupantes desenvolvam suas atividades de forma satisfatória.

Um dos sistemas de vedação mais utilizados em nosso país constitui-se de paredes de alvenaria revestidas com argamassa, tanto interna como externamente. Segundo MARTINELLI (1989), as argamassas de assentamento e revestimento são responsáveis por 4% a 7% do custo das obras, representando um consumo em torno de 0,10 a 0,15 m³ por m² de área construída.

Embora este consumo seja elevado, nota-se constantemente a ausência de critérios para a utilização de argamassas, podendo resultar em desempenho insuficiente e no surgimento de manifestações patológicas com custos de reparo significativos.

A melhoria do desempenho das argamassas de revestimento, segundo CARNEIRO (1993) citando diversos documentos técnicos, está diretamente relacionada ao cumprimento satisfatório de suas funções, como:

- contribuir para a estanqueidade à água das fachadas;
- contribuir para o conforto térmico e acústico no ambiente construído;
- contribuir para a segurança ao fogo e para um bom aspecto da edificação.

O cumprimento destas funções, por parte das argamassas, deve ser obtido através de uma dosagem racional, que considere fatores como: finalidade da aplicação, características dos materiais constituintes e tipo de ambiente de exposição.

Segundo PAES et al. (1999), na dosagem de argamassas utiliza-se materiais finos com o objetivo de melhorar algumas propriedades, principalmente no estado fresco. Estes materiais finos podem ser provenientes de aglomerantes (cimento e cal), de argilominerais (saibros) ou de outros materiais inertes (pó calcário, por exemplo), os quais proporcionam plasticidade às argamassas, devido à elevada área específica.

A cal é um material consagrado como constituinte das argamassas, por ser normalizado e geralmente possuir características uniformes e controladas, além de ser um aglomerante, apresentando qualidade superior aos demais. Contudo, em várias regiões do

Brasil observa-se a utilização de adições argilominerais no lugar da cal, com o objetivo de proporcionar plasticidade às argamassas.

Entretanto, estas adições são usadas sem critérios técnicos, devido ao desconhecimento de suas características e propriedades. Os materiais são dosados com base na experiência prática de mestres e operários, através de avaliações empíricas de algumas propriedades das argamassas no estado fresco, reconhecidas de forma tátil e visual. Deste modo, segundo CARASEK et al. (1995 a), ocorre com maior frequência a incidência de manifestações patológicas no revestimento tais como: pulverulência, fissuração excessiva, formação de bolor, entumescimento e descolamento.

Com relação às adições argilominerais, o saibro constitui-se como um dos mais adotados para a composição de argamassas. Segundo a NBR 13.529 (ABNT, 1995), o saibro pode ser definido como “solos provenientes de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenosos ou siltosos, com baixo teor de argila e de cor variada”.

A fração de argila no saibro influi sobremaneira na qualidade final da argamassa, visto que, de acordo com a quantidade e a composição mineralógica, os minerais argilosos estão sujeitos a variações de volume com a umidade, podendo originar o aparecimento e/ou a abertura de fissuras, assim como a desagregação dos constituintes das argamassas.

De acordo com OLIVEIRA (1989) e CARASEK et al. (1995 b), existem dificuldades em se determinar traços gerais com bom desempenho, devido à variabilidade das características físicas, químicas e mineralógicas do saibro, não somente de uma jazida para outra como até mesmo dentro de uma mesma jazida, visto que o solo se encontra parcialmente decomposto.

Deste modo, o uso de adições argilominerais nem sempre é reconhecido pelo meio técnico, considerando-o como um material que pode comprometer a qualidade e a durabilidade das argamassas. Entretanto, autores como SELMO e BUCHER (1990), CARNEIRO e CINCOTTO (1995), NEVES et al. (1995, 1997), ARAÚJO (1996) e CARVALHO e CAVALCANTI JR. (1997), entre outros, destacam a necessidade de se considerar a disponibilidade dos materiais e a cultura tecnológica local, no sentido de estabelecer parâmetros e critérios para a dosagem de argamassas com o uso destas adições.

Dentro deste contexto, a utilização do saibro na cidade de Belém-PA não é muito diferente do que se constata nacionalmente, sendo baseada principalmente na experiência de pedreiros, mestres e engenheiros. O uso desta adição faz parte da cultura tecnológica local, devido à grande disponibilidade e baixo custo do material, onde SOUZA (1994) relata que

existe uma grande variação de traços entre as empresas para as argamassas em geral, resultando, na maioria dos casos, num produto final de baixa qualidade, com grande incidência de manifestações patológicas. Dentre estas manifestações patológicas, a ocorrência de fissuras apresenta-se como uma das mais freqüentes, sendo muito comum o meio técnico local apontar como principal causa a elevada permeabilidade das argamassas com saibro.

Como conseqüência de tal situação, aliada à falta de pesquisas na área, observa-se que, nos últimos três anos, algumas construtoras de Belém estão substituindo o saibro por aditivos químicos comercializados nacionalmente. Esta substituição vem sendo feita sem nenhum estudo prévio do seu desempenho com a utilização dos materiais da região.

Atualmente, observa-se no mercado diversos tipos de aditivos de base orgânica substitutos da cal hidratada, com o objetivo de melhorar as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido. Entretanto, segundo JOHN et. al. (1994), a simples substituição da cal hidratada pelo aditivo, mantendo-se a relação cimento e areia, resulta em argamassas com desempenho diferente das argamassas mistas de cimento e cal, sendo muitas vezes inadequadas para revestimentos.

Mesmo considerando-se que, no Brasil, são recentes as pesquisas tecnológicas sobre argamassas, em relação aos estudos desenvolvidos internacionalmente, a maioria dos trabalhos são realizados em argamassas mistas de cimento, cal e areia, não se encontrando pesquisas publicadas realizadas com materiais da região amazônica. Sendo assim, faz-se necessário o domínio sobre as técnicas e os materiais empregados na execução de argamassas em Belém, visando uma melhoria da qualidade e o desenvolvimento tecnológico da construção civil nesta cidade.

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem por objetivo geral identificar e caracterizar as argamassas mais comumente utilizadas para revestimentos externos, na cidade de Belém-PA. Estas argamassas apresentam como peculiaridade o emprego de saibro ou de aditivos químicos, com a finalidade de conferir plasticidade à mistura.

Com relação aos objetivos específicos para esta pesquisa, tem-se:

- a) caracterizar os materiais e identificar os traços mais utilizados em Belém-PA;

- b) analisar o comportamento das argamassas mais utilizadas para revestimentos externos, por meio de ensaios comparativos nos estados fresco e endurecido realizados em laboratório, entre as argamassas produzidas com saibro e as produzidas com aditivos químicos;
- c) utilizar sílica ativa no proporcionamento destas argamassas como uma alternativa para a melhoria de seu desempenho.

1.3 HIPÓTESES

Para a realização desta pesquisa, estabeleceu-se o pressuposto que não existem critérios técnicos consistentemente registrados, na maior parte dos casos, para a utilização de argamassas na cidade de Belém – PA. Quanto às hipóteses, definiu-se que:

- a) com base na bibliografia consultada e no seu crescente uso na cidade, as argamassas com o emprego de aditivos químicos podem apresentar melhor desempenho, em relação às argamassas produzidas com saibro;
- b) com base na bibliografia consultada, a adição de sílica ativa pode contribuir para a melhoria das principais propriedades das argamassas produzidas com saibro ou com aditivo, tanto no estado fresco como no estado endurecido, principalmente no que se refere à permeabilidade e durabilidade do revestimento.

1.4 ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Optou-se por realizar somente os ensaios mais comuns de caracterização das argamassas nos estados fresco e endurecido em função das limitações de recursos e tempo, visto que todos os ensaios com argamassas foram executados nos laboratórios da UFPA¹, bem como devido à ausência de pesquisas com os materiais da região amazônica. Como na cidade de Belém o número de empresas de grande porte também é reduzido, o levantamento de campo foi realizado em empresas de tipologias diferentes, com o objetivo de caracterizar uma ampla faixa representativa do setor.

¹ Universidade Federal do Pará.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Esta pesquisa encontra-se dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo são apresentadas as justificativas que motivaram a realização deste trabalho, os objetivos gerais e específicos, assim como os pressupostos e hipóteses levantadas. Também são apresentadas a estrutura e as limitações decorrentes do programa de trabalho utilizado.

No segundo capítulo são discutidos os principais aspectos existentes na bibliografia que aborda as argamassas para revestimento, sendo enfocados, de modo resumido, as definições encontradas na normalização brasileira, os requisitos de desempenho e principais funções dos revestimentos. De maneira mais detalhada, também são discutidos os principais aspectos relacionados à influência dos materiais constituintes no desempenho das argamassas, com maior ênfase para os efeitos dos aditivos e das adições minerais empregadas, mais especificamente o saibro e a sílica ativa.

O terceiro capítulo trata da apresentação do programa experimental realizado, onde são descritas as etapas de realização do levantamento dos materiais e traços utilizados nas empresas de construção civil de Belém-PA, bem como da metodologia adotada para a execução dos ensaios em laboratório.

No quarto capítulo é feita a apreciação dos resultados obtidos em campo e em laboratório. Os resultados laboratoriais são discutidos com base em procedimentos estatísticos.

No quinto e último capítulo, são apresentadas as principais conclusões obtidas, sendo também relacionadas as sugestões para o prosseguimento do trabalho.

2 ARGAMASSAS PARA REVESTIMENTOS

Neste capítulo, apresenta-se uma revisão do estado da arte das argamassas, com ênfase maior para argamassas utilizadas em revestimentos externos, as quais são objeto de estudo neste trabalho.

A seguir, no item 2.1, analisa-se resumidamente definições e classificação dos sistemas de revestimento em argamassa, de acordo com a normalização vigente. Também são realizadas considerações a respeito das funções dos revestimentos. No item 2.2, são colocados alguns aspectos da influência dos materiais constituintes no desempenho das argamassas.

2.1 FUNÇÕES DOS REVESTIMENTOS

O revestimento em argamassa é considerado, segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), como o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, de modo a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.

Tradicionalmente, define-se argamassa como a mistura de aglomerante(s), agregado(s) e água, podendo ainda ser adicionados produtos específicos. Entretanto, definições como esta são abrangentes demais, visto que existem diversos tipos de argamassas utilizadas na construção civil. Dentre estes tipos, encontra-se a argamassa de revestimento, que segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995) é a “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”, onde o revestimento externo constitui-se como o revestimento de fachadas, muros, ou de qualquer outro elemento construtivo exposto ao meio externo da edificação.

Conforme mencionado anteriormente, as argamassas podem apresentar diferenças nas propriedades nos estados fresco e endurecido, de acordo com as funções que estiverem desempenhando. A NBR 13530 (ABNT, 1995) classifica as argamassas com relação à natureza, tipo e número de aglomerantes, propriedades especiais, função no sistema de revestimento e forma de preparo ou fornecimento. Os revestimentos, ainda segundo esta norma, são classificados segundo o número de camadas aplicadas, o ambiente de exposição, comportamento frente à umidade, a radiações e ao calor, bem como em relação ao acabamento da superfície.

Encontra-se na bibliografia nacional diversos trabalhos, tais como os desenvolvidos por SELMO (1989), MARTINELLI (1989), CARNEIRO (1993), CINCOTTO et al. (1995) e ARAÚJO (1996), que discutem a respeito dos requisitos de desempenho e das funções dos revestimentos em argamassa, assim como sobre os fatores intervenientes no seu desempenho. Já foram realizados em nosso país três simpósios nacionais (1995, 1997 e 1999) direcionados para a tecnologia de argamassas, sendo que o mais recente reuniu trabalhos de aproximadamente 90 autores de diversas regiões, demonstrando um grande avanço sobre o tema. No entanto, mesmo havendo alguns trabalhos sobre argamassas anteriores a este período (OLIVEIRA, 1959; PINTO, 1986) ainda existe uma defasagem de aproximadamente 25 anos das pesquisas realizadas no Brasil em relação ao resto do mundo, visto que instituições como CSTB, CSTC, BRE e PCA² já desenvolvem estudos sistemáticos sobre argamassas para revestimento desde a década de 60.

De acordo com o CSTB (1993), as exigências ou requisitos de uso dos revestimentos externos encontram-se relacionadas à segurança e habitabilidade, à compatibilidade entre o revestimento e a base, bem como à compatibilidade entre o revestimento e o acabamento final. CARNEIRO (1993), citando diversos documentos técnicos, conclui que as principais funções do revestimento externo em argamassa, em resumo, referem-se à contribuição para a estanqueidade à água, para o conforto térmico e acústico, para a segurança ao fogo e para o bom aspecto do envelope da edificação.

Considera-se como estanqueidade à água a propriedade dos elementos da edificação ou de materiais componentes do revestimento não permitirem a infiltração de água, para determinadas condições de exposição (IPT, 1981). Como a penetração de água pode ocorrer através dos poros ou de fissuras no revestimento, para o alcance desta propriedade, deve-se ter um revestimento de baixa permeabilidade que, segundo o CSTB (1982), no caso do uso de argamassa, deve possuir baixa capilaridade e elevada massa específica, devendo ser executado em camadas de pequena espessura. De acordo com a BS 5262 (BSI, 1976), esta proteção à penetração de água evita problemas na interface revestimento/base como a perda de aderência, assim como evita o surgimento e/ou o aumento de fissuras já existentes, a desintegração do revestimento e a dissolução de sulfatos presentes no próprio revestimento ou no meio ambiente.

² CSTB = Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
CSTC = Centre Scientifique et Technique de la Construction.
BRE = Building Research Establishment.
PCA = Portland Cement Association.

Quanto ao conforto térmico, CARNEIRO (1993) conclui que o isolamento térmico do envelope da edificação deve ser assegurado em conjunto tanto pela base como pelo revestimento. Este isolamento térmico pode ser alcançado em consequência da baixa condutibilidade térmica dos elementos e pela garantia de seu não umedecimento, pois uma parede leve isolante (de baixa condutibilidade térmica) pode ser mantida seca pelo revestimento em argamassa (BSI, 1976). RIVERO (1986) coloca que o valor da condutibilidade térmica do revestimento está diretamente relacionado à sua massa específica. De acordo com a DIN 18550 – parte 1 (DIN, 1985), os revestimentos devem possuir condutibilidade térmica máxima igual a 0,2 W/mK para contribuir no isolamento térmico do envelope da edificação, com massa específica inferior a 600 kg/m³.

Com relação ao conforto acústico, ARAÚJO (1996), citando D'HAVÉ, coloca que o revestimento contribui para o isolamento de ruídos provenientes de impactos e transmitidos pelo ar, no entanto, este mesmo autor, citando RAES, indica que os revestimentos em argamassa só possuem bom desempenho no isolamento acústico de paredes delgadas de alvenaria. Por outro lado, na BS 5262 (BSI, 1976) é admitido que os revestimentos podem reduzir a transmissão de ruídos transmitidos pelo ar, em substratos de elevada porosidade.

CARNEIRO (1993), citando BERTO, relata que paredes revestidas em argamassa resistem ao fogo por mais tempo do que paredes sem revestimento algum. Ao citar diversos autores, conclui que o revestimento constitui-se da primeira barreira de proteção ao fogo, não devendo produzir chamas nem possuir na sua composição substâncias tóxicas.

Na contribuição dos revestimentos para o bom aspecto da edificação, encontram-se duas funções distintas: a regularização de eventuais falhas e a decoração das fachadas. A regularização de falhas com relação ao prumo e ao nível do substrato deve ser encarada de forma criteriosa para não se tornar mais uma fonte de patologias na edificação.

ARAÚJO (1996), citando D'HAVÉ, coloca que a aparência de uma fachada está vinculada com o conforto visual, sendo necessário que a mesma apresente-se sem irregularidades e manchas, assim como deve possuir cor e textura uniformes e contínuas, de acordo com o uso de tintas e/ou com o tipo de tratamento superficial.

Como pode ser visto, as funções dos revestimentos encontram-se diretamente relacionadas com as diversas propriedades que as argamassas devem apresentar nos estados fresco e endurecido. Embora exista uma série de requisitos de desempenho, conforme citados na publicação n° 64 do CIB³ (1982), CINCOTTO et al. (1995) elegem alguns requisitos mais importantes para argamassas de

³ International Council for Research and Innovation in Building and Construction

revestimento, mostrados na tabela 2.1, sendo que as autoras ainda observam que o desempenho das argamassas depende das condições de produção do revestimento, das condições de uso e do ambiente de exposição da edificação.

Tabela 2.1 Relação das propriedades do conjunto argamassa e base com a respectiva função do revestimento (CINCOTTO et al., 1995).

Requisitos	Propriedades da argamassa e base
Segurança	Resistência mecânica (resistência à tração e compressão, resistência ao desgaste superficial, resistência ao impacto, resistência ao fogo)
Habitabilidade	Estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico
Compatibilidade com a base	Consistência, plasticidade, trabalhabilidade, aderência, permeabilidade e índice de sucção
Compatibilidade entre os materiais	Durabilidade

CARNEIRO (1999) resume que a durabilidade do revestimento em argamassa é função de seu desempenho em propriedades no estado fresco, no estado endurecido e na interação com a base. CINCOTTO et al. (1995), com base em dados da literatura, observam que muitas das prováveis causas para as manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa estão relacionadas às características ou ao proporcionamento dos materiais constituintes.

2.2 INFLUÊNCIA DOS MATERIAIS CONSTITUINTES NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

A busca pela melhoria do desempenho, da qualidade e, conseqüentemente, pela maior durabilidade dos revestimentos em argamassa, tem levado ao estabelecimento de diversos requisitos de desempenho a serem cumpridos. Entretanto, as pesquisas e discussões para o estabelecimento de critérios de desempenho, mais especificamente de valores a serem atingidos, ainda se encontram em estágio inicial, havendo ainda um longo caminho a ser percorrido, principalmente pelo fato da diversidade dos materiais utilizados e das condições de uso da edificação influenciarem significativamente no seu desempenho.

As propriedades das argamassas para revestimento dependem das características dos materiais constituintes, da proporção entre os mesmos e do processo de mistura e execução do revestimento, assim como também podem interferir a natureza da base e as condições do meio

ambiente. Desta forma, algumas propriedades devem ser avaliadas em conjunto com a base, assim como, de acordo com a função que irão desempenhar e das condições de exposição, algumas propriedades podem ser mais importantes do que outras.

Com relação às propriedades no estado fresco, deve-se considerar a trabalhabilidade, a massa específica aparente e o teor de ar incorporado, a retenção de água e de consistência, a exsudação de água e a capacidade de adesão inicial.

A trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco, sendo definida como a facilidade do pedreiro em trabalhar com a argamassa. Em argamassas de revestimento, o conceito de trabalhabilidade também inclui a capacidade de proporcionar uma boa aderência ao substrato e facilidade de acabamento superficial, influenciando deste modo em propriedades no estado endurecido. A trabalhabilidade é resultante de outras propriedades como a consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, onde alguns autores ainda consideram a exsudação, tempo de pega e adesão inicial.

Quanto à massa específica aparente, é um parâmetro de fornece indiretamente informações qualitativas acerca da compacidade da mistura, visto que, de um modo geral, ao serem comparadas argamassas constituídas de materiais de massa específica iguais, mas com volume de vazios distintos, a argamassa de menor volume de vazios apresenta maior massa específica. Quanto maior o teor de ar incorporado, maior a trabalhabilidade da argamassa, porém, em excesso, pode reduzir a resistência de aderência dos revestimentos.

Em argamassas para revestimento, a retenção de água influencia no tempo disponível para sua aplicação, regularização e desempenho, assim como afeta algumas propriedades no estado endurecido ao influenciar nas reações dos aglomerantes durante a cura, porém, esta propriedade pode variar em função das condições do ambiente e das características de absorção da base. A retenção de água está relacionada com a retenção de consistência, porque a argamassa tende a conservar a água necessária para molhar a superfície dos materiais, possibilitando que as reações de hidratação dos aglomerantes se processem.

A retenção de água também influencia na retração por secagem, que é uma das principais causas de fissuração das argamassas no estado endurecido, devido à velocidade de evaporação da água de amassamento, prejudicando a estanqueidade e a durabilidade do revestimento (CARNEIRO, 1999).

Com relação à exsudação de água, esta geralmente ocorre em argamassas de consistência plástica a fluida. SELMO (1989) coloca que a exsudação pode influenciar na

capacidade de adesão inicial da argamassa e TRISTÃO (1995) também afirma que a exsudação influencia na trabalhabilidade, ao exigir remistura freqüente para homogeneizar a argamassa.

A adesão inicial da argamassa à base está relacionada com a reologia da pasta aglomerante, sendo influenciada pela trabalhabilidade da argamassa e pela textura ou porosidade da base, sendo também afetada pela presença ou não de tratamento prévio com o objetivo de melhorar a superfície de contato entre estes materiais (CINCOTTO et al., 1995).

No estado endurecido, tem-se como propriedades importantes a resistência mecânica, módulo de deformação, permeabilidade e estabilidade volumétrica.

A resistência mecânica pode não ser considerada uma propriedade fundamental, como para o concreto, porém sua análise é necessária, visto que pode avaliar indiretamente outras propriedades e características (OLIVEIRA, 1989), como a capacidade de deformação da argamassa, a qual é fundamental para argamassas de revestimento, ou o grau de hidratação da pasta de cimento. No que se refere à resistência de aderência da argamassa à base, CARASEK (1996) relata que esta propriedade é influenciada por um conjunto de características tanto do revestimento como da base. No revestimento tem-se a espessura, retenção de água da argamassa e granulometria do agregado. Na base, considera-se como características mais importantes a textura e a absorção inicial.

A permeabilidade, pelo fato de estar relacionada à porosidade, e a estabilidade volumétrica, são fundamentais para o bom desempenho do revestimento, influenciando na sua estanqueidade e durabilidade. Em resumo, as argamassas para revestimento devem apresentar resistência suficiente para suportar os esforços provenientes do impacto, da abrasão superficial e das movimentações térmicas, higroscópicas e físico-químicas (oriundas de microrganismos), provenientes da base e do próprio revestimento, deformando-se sem ruptura ou com microfissuras. Estas solicitações, se não forem absorvidas pela resistência mecânica da argamassa, podem prejudicar a aderência e a estanqueidade do sistema de revestimento e, conseqüentemente, sua durabilidade.

A partir destas propriedades discutidas, o CSTB (1993) estabeleceu a classificação MERUC⁴, que resume as propriedades mais importantes, onde as argamassas se encontram divididas em seis classes com as respectivas faixas de valores a serem atingidos para cada

⁴ M – massa específica no estado endurecido (kg/dm³);
 E – módulo de elasticidade (MPa);
 R – resistência à tração na flexão (MPa);
 U – retenção de umidade (%);
 C – coeficiente de capilaridade (g/dm².t^{1/2}).

propriedade, havendo uma tendência de aceitação do estudo destes valores pelo meio técnico. O Grupo de Trabalho de Argamassas da ANTAC⁵ está recomendando aos tecnologistas em argamassas para que também adotem esta classificação, na expectativa de que futuramente sejam determinados valores mais adequados para o Brasil.

Assim, embora exista um grande número de variáveis interferindo em conjunto nas características do revestimento, a seguir, do item 2.2.1 ao 2.2.5, analisa-se os principais efeitos das características e da proporção dos materiais constituintes, nas propriedades das argamassas para revestimento externo.

2.2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é o principal responsável pela resistência mecânica das argamassas. Entretanto, para argamassas de revestimento, não há necessidade de elevadas resistências mecânicas, principalmente por este fato levar à redução da capacidade de deformação, da resistência ao impacto e até mesmo da capacidade de aderência (TRISTÃO, 1995). De acordo com FIORITO (1994), as argamassas com elevados consumos de cimento apresentam tensões de tração nove a doze vezes maiores do que as apresentadas pelas argamassas pobres, devido à retração, e maiores módulos de elasticidade. JOISEL (1981) e SABBATINI (1989) colocam que os cimentos de endurecimento mais lento, como os pozolânicos, podem contribuir para o aumento da capacidade de deformação das argamassas.

O aumento do consumo de cimento também aumenta as retrações térmica e por secagem, podendo ocorrer o surgimento de fissuras com a conseqüente redução da durabilidade. Por outro lado, baixos consumos podem reduzir a resistência à abrasão dos revestimentos, tornando-os pulverulentos. VARGAS e COMBA (1984), concluem que o aumento do consumo de cimento reduz a absorção por capilaridade das argamassas. Na bibliografia consultada observou-se que o consumo de cimento das argamassas comumente usadas situa-se entre 150 e 200 kg/m³, sendo que LARA et al. (1995) afirmam que para consumos superiores a 350 kg/m³ sempre ocorrem fissuras por retração da argamassa.

Uma das características do cimento que tem importância no que se refere às argamassas é a finura, onde JOISEL (1981) e SABBATINI (1989) relatam que o aumento da finura do cimento contribui para o aumento da trabalhabilidade, devido ao maior volume de

⁵ Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

pasta que envolve o agregado, onde as partículas mais finas atuam como lubrificantes sólidos entre os grãos de agregado. CARASEK (1996), citando RIBAR e DUBOVOY, coloca que a finura do cimento influencia significativamente na resistência de aderência, ou seja, quanto mais fino o cimento, maior a resistência de aderência.

CARNEIRO (1993) coloca que o tempo de início de pega do cimento também deve ser um fator considerado, por influenciar no tempo necessário para o transporte e aplicação da argamassa, “sendo o ideal um início de pega retardado, seguido de um rápido aumento do endurecimento”. LARA et al. (1995) relatam que o ideal seria um tempo de início de pega acima de 2 horas.

SELMO (1989), citando diversos autores, coloca que os aglomerantes, a princípio, contribuem de forma significativa para a retenção de água, devido à tensão superficial da pasta e maior superfície específica quando comparados à areia, exceto nas argamassas com elevados teores de argila na sua composição. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), o aumento da relação agregado/aglomerante reflete na redução da retenção, para uma mesma relação cal/cimento. Entretanto, MARTINELLI (1989) coloca que a relação agregado/aglomerante tem pouca influência sobre a retenção de água.

Visto que a retenção de água é diretamente proporcional ao teor de finos (CARNEIRO, 1993), a maior finura do cimento contribui para o aumento da retenção de água, embora também aumente a retração da argamassa. Segundo CARNEIRO (1993) e GALLEGOS (1995), este problema pode ser evitado com o uso da cal hidratada, pois sua inclusão contribui para o aumento do teor de finos, melhorando a retenção de água, sem o inconveniente do aumento da retração, além de aumentar a capacidade de absorver deformações (SELMO, 1989). A cal possui grande poder de retenção de água pela capacidade adsorviva de seus cristais e pela elevada superfície específica.

No Brasil, com relação à influência das características do cimento em argamassas, encontra-se o trabalho de BOLORINO e CINCOTTO (1997), que avaliou a influência do tipo de cimento em argamassas de cimento, cal e areia (1:1:6, em massa), para revestimento. Foram analisadas argamassas produzidas com os cimentos CP II E, CP II F, CP III, CP V e CP V RS. Constatou-se que as propriedades no estado fresco não foram afetadas de forma significativa, enquanto que, no estado endurecido, verificaram a influência da reatividade e da composição dos cimentos, principalmente nas resistências à compressão e à tração na flexão, na absorção de água por capilaridade e na retração por secagem e, de maneira menos acentuada, na resistência de aderência à tração do revestimento.

Devido à sua localização geográfica, o clima na cidade de Belém é quente e úmido, com uma estação chuvosa e outra mais seca⁶, ocorrendo em algumas situações variações térmicas bruscas em função das chuvas ocasionais após o ar estar aquecido. Desta forma, os cimentos Portland a serem utilizados na região devem ser preferencialmente com adições pozolânicas, possibilitando a melhoria da capacidade de deformação das argamassas, no entanto, deve-se dar especial atenção ao consumo máximo de cimento, para que as argamassas não se tornem muito rígidas. Cimentos Portland mais finos também poderiam contribuir para o aumento da resistência de aderência do revestimento.

2.2.2 Areia

A areia é incorporada à argamassa principalmente para promover estabilidade dimensional, ou seja, minimizar os efeitos da retração, e para reduzir o custo, visto que é um material de valor inferior ao dos aglomerantes.

A especificação brasileira existente para areia é a NBR 7211 (ABNT, 1983), que mesmo tendo sido elaborada em função das propriedades do concreto é empregada como parâmetro para as argamassas. TRISTÃO (1995) coloca que as normalizações nacionais e internacionais recomendam o uso de areia com grãos minerais resistentes e limpos, ou seja, a presença de substâncias que prejudiquem o processo de hidratação e endurecimento do cimento, o aspecto visual e a durabilidade dos revestimentos deve ser evitada.

A composição mineralógica e petrográfica dos agregados pode ser determinada segundo a NBR 7389 (ABNT, 1992), que ainda fornece dados sobre a forma dos grãos. AGOPYAN (1986) descreve a ação dos materiais deletérios presentes nos agregados em concretos e argamassas e SELMO (1986) identifica os efeitos nos revestimentos ocasionados devido à presença de grãos deletérios ou friáveis na areia empregada.

TRISTÃO (1995) relaciona de modo sucinto diversas normas e especificações na bibliografia nacional e estrangeira que determinam as principais características do agregado miúdo para argamassas de revestimento. Dentre as características físicas da areia que interferem nas propriedades das argamassas, também deve-se considerar a distribuição

⁶ Temperatura aproximada de 26,7 °C e umidade relativa do ar igual a 85% (média anual).
Precipitação média aproximada entre os meses de: dezembro a maio = 379 mm (estação chuvosa)
julho a novembro = 139 mm (estação mais seca)
Valores médios obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (<http://www.inmet.gov.br>), relativos ao período de 1961 a 2000.

granulométrica, a forma e a textura dos grãos. Uma característica de grande importância para qualquer agregado é a distribuição granulométrica. Segundo diversos autores, ao se utilizar agregado de granulometria contínua, ocorre aumento da trabalhabilidade, devido ao maior grau de empacotamento da mistura (com o conseqüente aumento na massa unitária), onde os grãos de menor diâmetro preenchem os vazios entre os grãos de diâmetro imediatamente superior, proporcionando melhor deslizamento entre estes grãos. Materiais finos silteosos ou argilosos também contribuem no aumento da trabalhabilidade das argamassas, além de influenciarem nas demais propriedades nos estados fresco e endurecido, sendo que seus efeitos se encontram mais detalhados no item 2.2.5.1. SABBATINI (1989) apresenta de forma qualitativa a influência da continuidade da granulometria da areia nas principais propriedades das argamassas.

CARNEIRO (1999), ao discutir as resistências mecânicas das argamassas, coloca a distribuição granulométrica da areia e a porosidade da argamassa como fatores que influenciam nestas propriedades. Com relação à distribuição granulométrica da areia, quanto maior a continuidade da areia, maiores serão as resistências mecânicas. Este fato ocorre devido à melhoria no empacotamento da mistura, o qual pode ser demonstrado tanto pelo aumento do coeficiente de uniformidade da areia, como pelo aumento do valor da massa unitária. Neste trabalho, torna-se evidente a melhoria das propriedades mecânicas com o aumento da massa unitária da areia, com uma redução no consumo de aglomerante.

TRISTÃO (1995), ao avaliar a influência da composição granulométrica da areia nas propriedades de argamassas para revestimento, conclui que argamassas produzidas com areias muito uniformes possuem maior consumo de aglomerantes e de água de amassamento. O trabalho aponta indícios de que areias bem graduadas aumentam a retenção de água e as resistências à compressão e à tração. Pela sua importância, o autor também relata que a distribuição granulométrica deve ser avaliada pelo módulo de finura em conjunto com o coeficiente de uniformidade, visando assim a utilização de areia com granulometria contínua, de dimensão máxima compatível com o tipo de acabamento desejado. Porém, CARNEIRO (1999) ainda coloca que a massa unitária e o índice de vazios calculado também são “indicadores relevantes” para a avaliação da compacidade das areias, ressaltando que em conjunto com o coeficiente de uniformidade, deve-se analisar também o perfil da curva granulométrica. Visto que duas areias podem apresentar todos os índices com valores semelhantes, mas suas curvas granulométricas podem ser diferentes a ponto de, ao serem

utilizadas em argamassas de mesma composição, resultarem em misturas de comportamentos distintos.

O coeficiente de uniformidade é utilizado na mecânica dos solos como um parâmetro auxiliar na avaliação de uma curva de distribuição granulométrica. Este coeficiente (C), proposto por Allen-Hazem, expressa a relação entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10% do material passante nas peneiras, obtidos diretamente na curva granulométrica traçada em papel mono-log (VARGAS, 1981). Desta forma, a areia pode ser classificada como muito uniforme ($C < 5$), de uniformidade média ($5 < C < 15$) e pouco uniforme ($C > 15$).

Normalmente, o parâmetro mais utilizado para a escolha e classificação das areias para argamassas é o módulo de finura (MF), sendo comum as correlações entre este parâmetro e as propriedades das argamassas. As areias podem ser grossas ($MF > 3,0$), médias ($2,0 < MF < 3,0$) e finas ($MF < 2,0$), porém CARNEIRO (1999) conclui que este número não representa adequadamente a distribuição granulométrica da areia, conforme exposto anteriormente. Quanto menor o módulo de finura do agregado, maior será a trabalhabilidade da argamassa (SABBATINI, 1989 e CINCOTTO et al. 1995), ocorrendo, por outro lado, aumento da retração hidráulica (JOISEL, 1981). Como complemento para a especificação da areia, diversas normas e institutos de pesquisa nacionais e internacionais utilizam faixas granulométricas, determinadas conforme a porcentagem passante nas peneiras padronizadas e o diâmetro máximo característico.

TRISTÃO (1995) constatou correlação entre o volume de vazios e o coeficiente de uniformidade das areias, ou seja, areias bem graduadas apresentam menor volume de vazios. SELMO (1986) coloca que os valores do volume de vazios é decrescente, para areias uniformes, descontínuas e contínuas, respectivamente. De acordo com CINCOTTO et al. (1995), o volume de vazios da areia é uma característica importante por influenciar diretamente no consumo de pasta, o qual influencia por sua vez na retração da argamassa. Desta forma, não apenas o teor de areia deve ser considerado, mas também a granulometria, onde, de uma forma qualitativa, autores como OLIVEIRA (1989) e JOISEL (1981) também colocam que areias de granulometria contínua proporcionam um esqueleto sólido de estrutura mais compacta, requerendo um menor volume de pasta. A maior compactidade da areia também se reflete na estrutura da argamassa, resultando em menor permeabilidade.

GOODWIN e WEST (1980), ao citarem vários autores, concluem que o aumento do teor de areia reflete em redução da resistência de aderência, para substratos de baixa capacidade de absorção de água. Porém, um maior teor de areia pode melhorar a resistência de

aderência em substratos de alta capacidade de absorção. CABRERA (1995) também coloca que a resistência de aderência diminui com o aumento do teor de agregado, ao realizar ensaios com quatro diferentes tipos de agregado.

Quanto à influência da distribuição granulométrica na aderência do revestimento ao substrato, CARASEK (1996), referenciando diversos autores, conclui que areia de granulometria contínua resulta em argamassa de boa aderência⁷, onde quanto maior o módulo de finura da areia, desde que produzam argamassas trabalháveis, maior será a resistência de aderência obtida. Entretanto, HAN e KISHITANI (1984), afirmam exatamente o contrário, ou seja, a areia deve apresentar o menor módulo de finura possível, além de menor número de vazios. GALLEGOS (1995) também constatou que os maiores valores de resistência de aderência foram apresentados pelas argamassas com areia fina bem graduada (segundo classificação da ASTM⁸), em diferentes tipos de substratos. Diversos autores (JOISEL, 1981; SELMO, 1989; CINCOTTO et al. 1995) também indicam que areia fina pode melhorar a resistência de aderência da argamassa, onde SELMO destaca principalmente quando aplicadas em substratos de baixa capacidade de absorção. Por outro lado, o excesso de areia fina pode diminuir a resistência à abrasão do revestimento, devido à insuficiência de pasta aglomerante para envolver os agregados.

A aderência ocorre através da penetração da pasta do aglomerante nos poros do substrato, com o subsequente endurecimento. A argamassa molha a base através da pasta, onde uma parte da água de amassamento é succionada pelos poros do substrato. Visto que esta água leva consigo o aglomerante em dissolução, ocorre precipitação dos silicatos e hidróxidos no interior destes poros, proporcionando a ancoragem mecânica da argamassa à base.

Assim, a capacidade da argamassa molhar o substrato depende da combinação das características de ambos os materiais, onde SELMO (1989), citando BOYNTON e GUTSCHIK (1964), coloca que o aumento da retenção de água contribui para o aumento da extensão e da resistência de aderência, principalmente em substratos com elevada capacidade de absorção. MARTINELLI (1989) observa que não basta apenas avaliar a resistência de aderência, sendo necessário também uma boa extensão da aderência para a garantia de durabilidade do revestimento. JOHN et al. (1994), IOPPI (1995) e CANDIA e FRANCO (2000) também constataram que o tipo de substrato influencia a resistência de aderência das argamassas.

⁷ A NBR 13749 (ABNT, 1996) recomenda uma resistência de aderência à tração superior a 0,2 MPa, para revestimentos de teto, e superior a 0,3 MPa para revestimentos de parede.

⁸ American Society for Testing and Materials.

A absorção de água capilar influencia na movimentação higroscópica da base e na resistência de aderência do revestimento a ser aplicado, devendo ser considerada no momento da escolha da composição e da técnica de aplicação do revestimento (CARASEK, 1996). De acordo com estas características, deve-se ou não utilizar a camada de chapisco para melhorar a aderência do revestimento.

As areias muito finas, ou com elevados teores de material pulverulento, contribuem para elevar o teor de finos da argamassa, favorecendo seu potencial de retração. VARGAS e COMBA (1984), colocam que o aumento do teor de finos da areia reflete num aumento da absorção de água total das argamassas, principalmente se estes finos forem de origem argilosa.

MARTINELLI (1989) apresenta uma tabela indicando que a retenção de água aumenta com a diminuição do módulo de finura do agregado. CARNEIRO (1999), citando DETRICHE, coloca que o teor de agregado influencia a retenção de água, onde para um teor de pasta constante, pode-se calcular, em função do aumento do teor de agregado, a quantidade de água retida, a qual é proporcional ao tempo de inibição⁹ da retração. O aumento do tempo de inibição implica em retardamento do início do período em que ocorre a retração, com a conseqüente redução de sua duração. TRISTÃO (1995), citando DAVISON, coloca que ao entrar em contato com uma base absorvente, as argamassas perdem a maior parte da água nos primeiros cinco minutos, onde a maior perda ocorre dentro dos dois primeiros minutos.

Com relação à forma e textura dos grãos, ainda não se encontram trabalhos que definem quantitativamente sua influência sobre as propriedades das argamassas. SABBATINI (1989) apresenta a influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas no estado fresco e no estado endurecido, de forma qualitativa. CARASEK (1996) citando ROSELO (1976), coloca que areia com grãos mais angulosos, desde que mantida a relação água/aglomerante, aumenta a resistência de aderência ao cisalhamento, devido ao aumento do coeficiente de atrito da interface argamassa/substrato. Por outro lado, os grãos arredondados favorecem seu rolamento ao serem envolvidos pela pasta, aumentando a trabalhabilidade da argamassa (BOMBLED e KALVANES, 1967; SELMO, 1986; CINCOTTO et al., 1995).

A areia deve ser isenta de grãos deletérios ou friáveis e de granulometria contínua. Os grãos de forma arredondada melhoram a trabalhabilidade da argamassa (proporcionando redução da relação água/aglomerante), facilitando sua aplicação. Tem-se como resultado

⁹ Primeira etapa do processo de retração, onde a argamassa se encontra úmida o suficiente para impedir o início da retração.

argamassas de maiores resistências mecânicas, com capacidade de absorver os diversos esforços a que estão submetidas e de maior durabilidade.

2.2.3 Água

A água tem duas funções principais nas argamassas e concretos. A primeira função é a de combinar quimicamente com os aglomerantes presentes, possibilitando seu endurecimento e ganho de resistência, enquanto que a segunda função refere-se em conferir trabalhabilidade à mistura.

Apesar do consenso no meio técnico que a trabalhabilidade é uma propriedade importante, devido à sua complexidade ainda é de difícil quantificação. Embora existam métodos de ensaio que indiretamente buscam esta avaliação, diversos autores, dentre eles GALLEGOS (1995) e TRISTÃO (1995), consideram que nenhum dos métodos pode fornecer este valor, porque esta propriedade também depende das características do substrato e da experiência do pedreiro.

A trabalhabilidade é de difícil quantificação devido à influência conjunta de diversas variáveis, como a relação água/aglomerante, relação aglomerante/agregado miúdo, forma dos grãos e distribuição granulométrica do agregado e teor de ar incorporado, além da natureza e da qualidade dos aglomerantes. Desta forma, normalmente a trabalhabilidade é caracterizada através da consistência¹⁰ e da plasticidade¹¹, ocorrendo muitas vezes o equívoco de adotar os termos trabalhabilidade, plasticidade e consistência como sinônimos.

A consistência é avaliada por ensaios que utilizam a penetração de um corpo no interior da argamassa, onde os ensaios que empregam a vibração ou choque para propiciar deformação na argamassa não só medem a consistência mas também a plasticidade, como por exemplo, o método especificado na NBR 7215 (ABNT, 1996), que utiliza a mesa como aparelho de consistência.

A plasticidade e consistência adequadas da argamassa demandam uma quantidade ótima de água, a qual é função da natureza e proporção dos materiais, resultando em argamassas homogêneas e, conseqüentemente, coesas. O excesso de água pode tornar a argamassa mais plástica, entretanto, existe uma tendência de separação das partículas

¹⁰ Termo que caracteriza a resistência à deformação das argamassas, sob a ação de uma carga (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).

¹¹ Termo que caracteriza a capacidade das argamassas manterem a deformação sofrida ao se reduzir a carga atuante (CARASEK e DJANIKIAN, 1993).

(exsudação de água), ocorrendo a segregação com perda de uma parcela do material fino, principalmente o aglomerante, o qual é carregado em conjunto com a água. A exsudação ocorre porque a água em excesso não pode ser retida no interior da mistura pelos demais materiais constituintes.

Visto que a resistência mecânica não merece atenção especial nas argamassas, a quantidade de água adicionada não é devidamente controlada. A princípio, a água é o principal meio, usado em obra, para a adequação da trabalhabilidade, em função da experiência do pedreiro e do tipo de base a ser utilizada. Assim, após a definição dos materiais e das proporções a serem utilizadas, normalmente o pedreiro adiciona água para conferir trabalhabilidade adequada à mistura, sendo muito comum também a adição de água e remistura ao longo do tempo em que o serviço é executado, desta vez com a finalidade de corrigir a trabalhabilidade.

Na maioria das vezes, este processo interfere diretamente nas demais propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Ao se adicionar mais água, melhora-se a trabalhabilidade e a capacidade de aderência, porém ocorre perda de resistência (OLIVEIRA, 1989). De acordo com SABBATINI (1989), citando PLUMMER, este procedimento não deve ser evitado, porque a perda de resistência é compensada pela melhoria das propriedades no estado fresco.

Porém, visto que a quantidade de água para proporcionar trabalhabilidade adequada é maior do que a necessária para as reações de hidratação do cimento, uma parte é perdida por evaporação e outra parte por sucção do substrato, devido ao gradiente hidráulico formado, resultando em porosidade na argamassa. De acordo com o tamanho e a distribuição destes poros, a resistência, a capilaridade, a permeabilidade e a aderência do revestimento podem ser afetadas de forma negativa (SELMO, 1989).

Quanto à influência da porosidade da argamassa nas propriedades mecânicas, CARNEIRO (1999), citando JIANG, coloca que com o aumento da porosidade, ocorre a diminuição da resistência. Entretanto deve-se considerar em conjunto tanto a porosidade total, como a influência da distribuição destes poros e a natureza da fase endurecida do aglomerante.

Devido à perda de água, ocorrem deformações reversíveis e irreversíveis na argamassa. As deformações reversíveis são aquelas provenientes da perda de água por absorção da base, principalmente nas primeiras idades, podendo ocorrer até os 28 dias de idade, sendo que a

argamassa deve ser capaz de absorver estas deformações. As deformações irreversíveis ocorrem em consequência da evaporação e das reações químicas dos aglomerantes.

De acordo com GOMES (2000), citando SCHIESSL, os poros capilares e os macroporos (resultantes do ar aprisionado durante o processo de mistura e execução do revestimento) têm efeito sobre a permeabilidade, prejudicando a durabilidade das argamassas. O mesmo autor, citando PAI, coloca também que a permeabilidade é mais influenciada pelo número e tamanho dos poros maiores do que pelas características dos poros pequenos. A maior parte dos íons e moléculas de gás prejudiciais aos concretos e argamassas são menores do que os poros de gel. A título ilustrativo, na tabela 2.2 é feita uma descrição resumida das principais características dos tipos de poros, para uma argamassa de cimento e areia (1:3, em massa) com relação a/c igual a 0,5, de acordo com JIANG, citado por CARNEIRO (1999).

Tabela 2.2 Características dos poros em argamassa de cimento e areia (JIANG, citado por CARNEIRO, 1999).

Denominação	Dimensão	Descrição	Desempenho da água	Propriedade influenciada
Macroporos	1.000 – 15 μm	Ar aprisionado ou incorporado	Água livre	Resistência mecânica Permeabilidade
Poros capilares	15 – 0,05 μm	Grandes capilares	Água livre baixa tensão superficial	Resistência mecânica Permeabilidade
	50 – 10 nm	Poros entre gel		Retração com umidade elevada
Poros de gel	10 – 2,5 nm	Pequenos capilares	Alta tensão superficial	Retração de umidade (50%)
	2,5 – 0,5 nm	Microporos entre cristais	Água fortemente adsorvida	Retração Fluência
	< 0,5 nm	Microporos interlamelares Intracristalinos	Água ligada	

MARTINELLI (1989) coloca que a quantidade de água de amassamento depende da superfície específica e da quantidade de areia empregada na argamassa. CARASEK (1996), citando vários trabalhos que avaliaram os efeitos do teor de água dentro de um mesmo traço (ou seja, mantendo fixa a proporção dos demais materiais constituintes), constata que existe consenso no meio técnico de que a quantidade de água deve ser a máxima possível para proporcionar adequada trabalhabilidade, mantendo a coesão e a plasticidade da argamassa de assentamento, obtendo-se assim melhores resultados de aderência. De acordo com SELMO (1989), a relação água/cimento é um parâmetro adequado para o controle de propriedades das argamassas para revestimento, tais como resistência de aderência à tração e absorção de água.

Segundo HAN e KISHITANI (1984), a influência da consistência na aderência depende do traço e do tipo de substrato. Os autores observaram uma tendência de aumento da resistência de aderência quando houve aumento da fluidez das argamassas, até um ponto ótimo. As argamassas foram aplicadas em três diferentes tipos de tijolos cerâmicos.

A água também influencia na dureza superficial do revestimento, onde quanto maior a quantidade de água, menor o consumo de cimento e maior o volume de vazios na argamassa, contribuindo para uma argamassa menos resistente e mais porosa, resultando em baixa dureza superficial (ARAÚJO, 1996).

Diversos autores como OLIVEIRA (1989), ARAÚJO (1996) e JOHN (1994) utilizaram o auxílio de um pedreiro experiente, para fazer a adição de água até o teor considerado adequado pelo mesmo. Segundo os mesmos autores, este procedimento tem se mostrado eficiente. CARASEK e DJANIKIAN (1993) relatam que a habilidade do pedreiro em definir a quantidade de água, necessária para a obtenção da trabalhabilidade desejada, é muito mais eficiente do que qualquer outro método de controle, visto que ele primeiramente ajusta a consistência da argamassa com água, para depois verificar se a plasticidade é adequada.

Entretanto SELMO (1989) coloca a necessidade da pesquisa de novos métodos de avaliação da consistência e plasticidade das argamassas, a fim de se obter um controle mais preciso desta propriedade, com o objetivo de se melhorar a qualidade e a durabilidade do produto final. Desta forma, pode-se citar o trabalho de GOMES et al. (1995), que propõe um método de ensaio adaptado do concreto, utilizando um penetrômetro (denominado “*K slump tester*”), para a determinação da consistência e da trabalhabilidade das argamassas em obra, onde obteve correlações satisfatórias entre os resultados obtidos com o método proposto e com o método da mesa do aparelho de consistência.

Em resumo, a adição de água à argamassa permite que ocorram as reações químicas dos aglomerantes e sua quantidade influencia na fluidez da argamassa e, conseqüentemente, na trabalhabilidade. O excesso de água reduz as resistências mecânicas, devido ao aumento dos vazios intergranulares na argamassa, resultando também no aumento da porosidade e da permeabilidade do revestimento, prejudicando sua durabilidade.

2.2.4 Aditivos

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), os aditivos são empregados nas argamassas com o objetivo de modificar suas propriedades no estados fresco e/ou endurecido. De um modo geral, ainda são produtos pouco utilizados em nosso país, devido principalmente à resistência em empregar novas tecnologias por parte dos empresários e, em alguns casos, por elevar o custo da argamassa. Desta forma, ainda são poucos os trabalhos realizados sobre os efeitos do uso de aditivos nas argamassas, principalmente em nosso país.

O incorporador de ar é o principal aditivo empregado em argamassas, utilizado com a finalidade de melhorar a plasticidade, ao mesmo tempo que reduz a quantidade de água. De acordo com NEVILLE (1997), as bolhas de ar incorporado por aditivos na pasta de cimento possuem diâmetro médio na ordem de 50 μm , de tamanho e distribuição uniformes, sendo quimicamente estáveis, ou seja, não se aglutinam formando bolhas maiores. Assim, a melhora na trabalhabilidade ocorre porque o ar incorporado desta forma atua como “lubrificante” entre os grãos da mistura (YOSHIDA e BARROS, 1995). CAVANI et al. (1997) observaram que o aumento do teor de ar incorporado de 5% para 20% proporcionou uma redução maior que 20% na relação água/cimento.

Devido à adição de bolhas de ar que impedem a percolação da água para a superfície, geralmente também aumenta a retenção de água e, conseqüentemente, reduz a exsudação (GOODWIN e WEST, 1980). Por estes motivos, é muito usado como substituto da cal e das adições minerais empregadas para as finalidade acima descritas, no entanto, RENTON e LEE (1989) afirmam que o uso destes aditivos não proporciona o mesmo desempenho da cal.

A melhoria na capacidade de adesão inicial também é outro efeito benéfico do uso destes aditivos, pois ao diminuírem a tensão superficial da água proporcionam melhora na molhagem da superfície dos grãos da argamassa e da base, onde KAMPF (1961) observou que a adição de 1% de aditivo incorporador de ar aumentou em 77% a adesão inicial. RENTON e LEE (1989) colocam que o ar incorporado em excesso pode causar diversos resultados insatisfatórios, tais como a redução da aderência e ISBERNER (1964) conclui que o uso de incorporador de ar reduz as resistências mecânicas, embora melhore a resistência a ciclos de gelo e degelo.

Ao avaliar a influência da proporção dos materiais em argamassas de cimento, cal e areia, para recuperação de alvenaria degradada por umidade e sais, BIANCHIN (1999) coloca que a massa específica aparente reduz com o aumento do teor de ar incorporado, havendo também a redução das resistências à compressão e à tração, porém conclui que, de um modo geral, existe um teor ótimo de aditivo incorporador de ar, a partir do qual as propriedades das argamassas mudam de tendência. KAMPF (1961) e GOODWIN e WEST (1980) também colocam que a redução da massa específica aparente resulta em argamassas mais leves e com melhor trabalhabilidade. Entretanto, SELMO (1989) admite esta afirmação sem restrições somente nas argamassas com aditivo incorporador de ar.

De acordo com GRIMM (1996), ao fazer uma revisão da literatura a respeito dos efeitos do teor de ar em argamassas de cimento, cal e areia para assentamento de alvenaria, o

aumento do teor de ar reduz a resistência à compressão e à flexão, assim como também reduz a resistência de aderência. Quanto menor a resistência de aderência, maior será a probabilidade de ocorrerem fissuras na interface unidade de alvenaria/argamassa, aumentando desta forma a permeabilidade à água. Normalmente, as argamassas de cimento, cal e areia podem conter até 5 % de ar aprisionado. Por outro lado, ao citar DAVISON, coloca que argamassas com teor de ar de 10% a 15% têm maior durabilidade, embora não descreva os parâmetros avaliados, mas alerta que os testes foram feitos somente em corpos-de-prova de argamassa e não em protótipos de alvenaria. Baseado nestes dados, conclui que o aumento do teor de ar pode reduzir a durabilidade do elemento alvenaria.

ISBERNER (1964), ao avaliar o efeito do teor de ar em argamassas mistas, empregou um aditivo incorporador de ar. Ao realizar ensaios de resistência de aderência em argamassas de assentamento aplicadas em tijolos de concreto leve, observou que a resistência de aderência diminui à medida que o teor de ar aumenta. ROBINSON e BROWN (1988) constataram uma tendência de redução da resistência de aderência com o aumento do teor de ar incorporado, mesmo havendo dispersão dos resultados, para diferentes tipos de argamassas especificadas pela ASTM, aplicadas em diversos tipos de substratos.

CARASEK (1996), citando vários autores, também coloca que os aditivos reduzem a resistência de aderência, sendo que um dos autores ressalta esta influência principalmente quando os substratos possuem alto poder de absorção de água. Ao citar BOYNTON e GUTSCHICK (1964), coloca que a resistência de aderência pode ser extremamente baixa, para teores de ar a partir de 16 %, apontando como principal causa a redução da superfície de contato entre a argamassa e a base, devido à presença de bolhas de ar. Entretanto, a autora ainda cita o trabalho de OPPERMAN e RUDERT, que afirmam não existir uma relação direta entre a resistência de aderência e o teor de ar incorporado na argamassa fresca, onde argamassas com teores de ar da ordem de 20 % produziram elevadas resistências de aderência. Com base na análise realizada através de microscopia eletrônica de varredura, observou-se que o tamanho das bolhas de ar é mais importante do que a quantidade de ar incorporado. Bolhas de ar incorporado menores do que 100 µm podem melhorar a plasticidade da argamassa fresca, proporcionando muitos pontos de contato na interface argamassa/base, sem prejuízo da aderência.

JOHN et al. (1994) também observaram a redução da resistência de aderência em argamassas com aditivos, principalmente quando são utilizados em argamassas mais pobres, com baixos consumos de cimento. Esta situação também foi constatada por CAVALHEIRO

(1995), onde uma argamassa de cimento e areia (1:10, em volume), com aditivo incorporador de ar, foi utilizada para o assentamento de blocos cerâmicos em painéis de vedação. Ainda nas primeiras idades, os painéis apresentaram fissuração generalizada nas juntas de argamassa, com predominância de ocorrência das fissuras na interface argamassa/bloco. Entretanto, o autor não cita o teor de ar incorporado e coloca que o baixo poder de sucção dos blocos também contribuiu para a baixa aderência, ao contrário do que afirma CARASEK (1996).

CAMPAGNOLO e JAWOROSKI (1989) verificaram o desempenho de argamassas para assentamento de alvenaria estrutural com aditivo incorporador de ar. Realizaram um estudo comparativo entre argamassas de cimento, cal e areia e argamassas de cimento e areia com três diferentes tipos de aditivos, onde constataram que houve diferenças significativas de desempenho entre as argamassas aditivadas, porém inferior ao observado para as argamassas de cimento e cal, em relação à resistência de aderência de prismas. Deste modo, os autores não recomendam o uso das argamassas aditivadas para uso em alvenaria estrutural. Numa comparação dos custos, considerando apenas o custo de cada material na composição da argamassa, sem considerar seu rendimento, as argamassas aditivadas, utilizadas na proporção recomendada pelo fabricante, apresentaram menor custo em relação às argamassas de cal.

CAVANI et al. (1997) avaliaram a influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade de argamassas de cimento, cal e areia. Nas argamassas produzidas com aditivos, o índice de consistência padrão recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 1995), igual a 255 ± 10 mm, não conferiu reologia adequada para aplicação em revestimentos. Os autores desenvolveram um método empírico para avaliação desta propriedade, muito semelhante à avaliação realizada pelo pedreiro, chegando a uma classificação de seis tipos diferentes de argamassas, em função da consistência¹². Com o aumento do teor de ar incorporado, houve significativa redução do índice de consistência e da quantidade de água, para uma mesma trabalhabilidade. Desta forma, os autores concluem que a fixação do índice de consistência padrão para uma trabalhabilidade ótima deve estar vinculada ao teor de ar incorporado.

Parece haver também grande influência do tipo de aditivo. No trabalho desenvolvido por JOHN et al. (1994), um dos aditivos incorporou mais que o dobro do ar incorporado pelo outro aditivo, ocorrendo também diferenças significativas de desempenho ao serem utilizados segundo as recomendações do fabricante.

¹² As argamassas são comumente classificadas por diversos autores, de acordo com a consistência, em secas, plásticas ou fluidas.

ROBINSON e BROWN (1988) constataram uma variação de até 83% na resistência de aderência entre diversas argamassas de assentamento, com teores de ar entre 18% e 19%, obtidos através de diferentes agentes incorporadores, conforme indica a figura 2.1. As argamassas A, B, C, F e G são do tipo M (ASTM C-270, 1993), enquanto que as argamassas D e E - esta última industrializada - são do tipo S (ASTM C-270, 1993) com cimento de alvenaria. Os autores concluem que, embora o teor de ar seja significativo nesta propriedade, não deve ser tomado como um indicador de qualidade de maneira isolada, devido à influência do tipo de aditivo e da estrutura das bolhas formadas, sendo desejável uma estrutura uniforme de pequenas bolhas para a melhoria da resistência de aderência, estando de acordo com OPPERMANN e RUDERT, citados por CARASEK (1996).

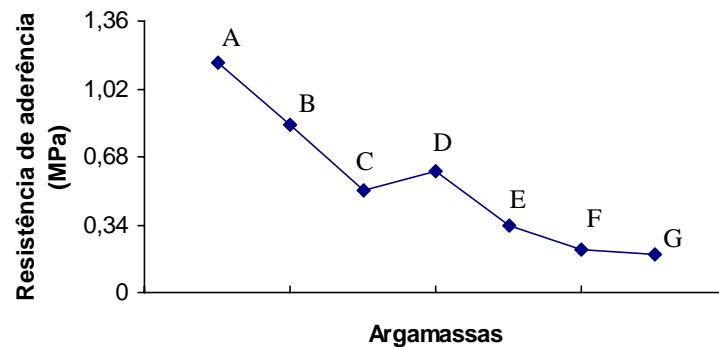


Figura 2.1 Variação da resistência de aderência para diversas argamassas (ROBINSON e BROWN, 1988).

No Brasil, RAGO et al. (1994) realizaram um estudo comparativo entre argamassas para revestimento de cimento, areia e aditivo com argamassas de cimento, cal e areia (1:2:9 e 1:1:6, em volume). Utilizaram dois diferentes tipos de aditivos nacionais, com os mesmos componentes ativos básicos, os quais agiam por incorporação de ar. A cal foi substituída pela quantidade de aditivo na proporção recomendada pelo fabricante, mantendo a mesma proporção cimento:areia para cada traço. O teor de água foi estabelecido pelo pedreiro e as argamassas foram aplicadas em painéis de blocos de concreto e de cerâmica, com e sem preparo do substrato com chapisco. Os resultados indicaram que todas as argamassas apresentaram desempenho satisfatório na aplicação. Observou-se que as argamassas com aditivos apresentaram relações água/cimento inferiores, porém apresentaram menores capacidades de retenção de água e de consistência, com conseqüente tendência à exsudação, contrariando a bibliografia. No estado endurecido, as argamassas aditivadas apresentaram

menores resistências de aderência e maior estanqueidade à água. A maior estanqueidade pode ser creditada ao volume de ar incorporado, que contribuiu para o bloqueio da passagem de água para o interior da argamassa, a qual também possui um menor volume de vazios devido ao menor conteúdo de água presente. Também apresentaram menor resistência à abrasão com o aumento do teor de ar incorporado, não possuindo nenhuma correlação com a resistência de aderência.

Com base nas referências consultadas, pode-se concluir que existe consenso entre diversos autores, ao afirmarem que a simples substituição da cal por um aditivo incorporador de ar, mantendo-se constante a relação cimento/areia, em traços consagrados como de bom desempenho, pode resultar em argamassas de desempenho insatisfatório. Entretanto, a literatura indica uma tendência de melhora de desempenho quando o agente incorporador de ar é adicionado juntamente com a cal, em vez de substituí-la na composição da argamassa.

Desta forma, CALHAU e TRISTÃO (1999) avaliaram o comportamento de argamassas quanto à massa específica, retenção de água, resistência à compressão e à tração, absorção de água por capilaridade e por imersão, dentre outros. Ao utilizarem argamassas de cimento, cal e areia seca (1:0,5:9 e 1:2:9, em volume) e teores de aditivo nas proporções de 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4% e 0,5% em relação à massa de cimento, constataram que para um mesmo teor de aditivo, as argamassas de maior teor de agregado em relação aos aglomerantes obtiveram maiores teores de ar incorporado. De um modo geral, em comparação com as argamassas mistas sem aditivo, obteve-se resultados similares ou até mesmo melhores em determinadas propriedades (retenção de água, resistência à compressão e absorção por imersão), à medida em que o teor de ar incorporado aumentava.

Porém, no trabalho desenvolvido por BIANCHIN (1999), foi observado exatamente o contrário do que indica a literatura quanto à absorção capilar, ou seja, o aumento do teor de ar incorporado não correspondeu a uma redução na absorção. A autora também coloca que a partir do teor de 1,2% de adição não ocorre aumento de porosidade das argamassas.

Baseados nos resultados de absorção de água por imersão até constância de massa e na massa específica aparente e teor de ar incorporado avaliados a cada 30 minutos, até os 150 minutos, RAGO et al. (1994) e CALHAU e TRISTÃO (1999), respectivamente, observaram que, provavelmente, o ar incorporado é eliminado parcialmente durante o manuseio e a aplicação da argamassa.

Os aditivos incorporadores de ar, empregados com o intuito de conferir plasticidade, também reduzem a quantidade de água porque o ar incorporado forma bolhas que facilitam o

rolamento dos grãos da mistura, reduzindo a percolação da água para a superfície com o aumento da retenção de água e, devido à sua estrutura, contribuem para a redução da absorção capilar. Por outro lado, estes aditivos reduzem as resistências mecânicas. De um modo geral, os trabalhos desenvolvidos em nosso país indicam que seu desempenho como substituto da cal, da maneira em que é utilizado pelas construtoras atualmente, é insatisfatório, porém se os estudos nesta área forem mais aprofundados esta situação pode ser revertida.

2.2.5 Adições minerais em argamassas

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 1995), o termo adição é empregado para os materiais inorgânicos naturais ou industriais que são adicionados às argamassas com o intuito de modificar suas propriedades. Dentre as adições normalmente utilizadas pode-se destacar os materiais inertes naturais, materiais cimentícios, pozolanas, fibras e polímeros.

Com o objetivo de conferir plasticidade às argamassas de cimento Portland a um menor custo, utiliza-se em várias regiões do país adições minerais naturais. Estas adições são materiais inertes que possuem um certo teor de partículas de dimensões reduzidas, proporcionando elevada superfície específica que contribui para a melhoria da plasticidade e para o aumento da retenção de água, resultando em argamassas mais trabalháveis. Segundo JOISEL (1981), os materiais com partículas inferiores a 5 ou 10 μm apresentam-se como os mais adequados.

As adições mais comuns são os saibros, os solos finos beneficiados e o pó calcário, sendo que os dois primeiros materiais podem prejudicar outras propriedades no estado endurecido, quando utilizados sem critério algum, devido à natureza e às características de suas partículas mais finas, os argilominerais. É consenso entre diversos pesquisadores (OLIVEIRA, 1989, SELMO e BUCHER, 1990, CARASEK, 1995a, GOMES, 2000) que o empirismo no uso destas argamassas resulta em elevada incidência de manifestações patológicas, tais como pulverulência, fissuração e descolamento do acabamento final.

Na bibliografia consultada (JUNG, 1988; MÜLLER, 1999; entre outros) constatou-se também a existência de algumas pesquisas recentes sobre os efeitos do uso de sílica ativa em argamassas. Neste trabalho, aborda-se somente a produção de argamassas com adições de saibro e de sílica ativa.

2.2.5.1 Saibro

A NBR 13529 (ABNT, 1995) define o saibro como “solos provenientes de granitos e gnaisses, com minerais parcialmente decompostos, sendo arenosos ou siltosos, com baixo teor de argila e de cor variada”. De um modo mais simples, FERREIRA, citado por GOMES (2000), define o saibro como o material utilizado em argamassas resultante da mistura de areia grossa com uma pequena fração de argila. Esta também é a definição que se costuma ouvir nos canteiros de obra.

Ainda segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), ao definir os demais tipos de adições às argamassas, encontra-se também um material semelhante ao saibro, denominado solo fino. Este material é, geralmente, de natureza argilosa (solo residual) ou, o que é menos comum, de granulometria mais variada (solo transportado). Entretanto os minerais estão totalmente decompostos, sem vestígios da rocha matriz, sendo esta característica muito importante, visto que a variabilidade da composição granulométrica e mineralógica é reduzida em relação ao saibro.

O saibro e o solo fino recebem diversas denominações, de acordo com a região em que são utilizados, sendo que saibro é o nome nacionalmente conhecido para estes materiais. Portanto pode-se inferir que em algumas regiões ocorra a utilização de solo fino, pensando que é saibro e vice-versa, visto que nas referências encontradas muitos autores utilizam a denominação regional, onde não se encontram trabalhos de caracterização extensiva da jazida. OLIVEIRA (1989) alerta que a própria definição das adições constituídas de argilominerais é complexa, devido à variabilidade de composição dentro de uma própria jazida. Desta forma, ao se comparar resultados deve-se ter especial atenção quanto às características físicas e mineralógicas deste material.

O material utilizado como adição em Belém é chamado de “barro” e constitui-se de areia, silte e argila, com predominância da fração areia (65%), sendo que o teor de argila pode variar de 12% a 35% (PARÁ, 1995). Esta classificação feita em função do tamanho das partículas está de acordo com a NBR 6502 (1995), utilizada na área de solos e de geotecnia, a qual difere da classificação para agregados constante na NBR 7211 (ABNT, 1983) e nos pareceu mais adequada devido à natureza do material.

Nesta cidade, o consumo de saibro na produção da argamassa é tradicional e muito grande. De acordo com dados obtidos junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral –

DNPM, no mês de abril de 2000, somente na Região Metropolitana de Belém e adjacências, haviam 30 jazidas em exploração registradas, totalizando uma área aproximada de 600 hectares.

2.2.5.1.1 Origem e formação dos saibros

Os solos são materiais resultantes da desagregação e/ou alteração das rochas, devido à ação dos mecanismos de intemperismo, os quais podem ser de origem física, química ou biológica. Como estes processos podem atuar simultaneamente, a intensidade da influência de cada tipo de mecanismo varia em função de fatores como clima, geomorfologia, vegetação e natureza da rocha matriz, dentre outros.

A formação geológica da região de Belém e adjacências é extremamente favorável à ocorrência de substâncias minerais não-metálicas, principalmente para o emprego direto na indústria cerâmica e na construção civil. Dentre os materiais que são diretamente empregados na construção civil, sem nenhum tipo de processamento industrial, encontra-se o saibro. Geologicamente, o saibro está associado ao solo denominado latossolo amarelo álico, cuja formação e ocorrência desenvolveu-se através de processos complexos, denominados de laterização¹³, atuantes sobre a camada logo abaixo da superfície (Horizonte de Solo). Sua distribuição ocorre em extensas áreas dos tabuleiros continentais e insulares, com espessura variável, podendo atingir até dez metros, porém algumas ocorrências são de utilização limitada pelo elevado teor de areia (PARÁ, 1995 e COSTA, 2001).

Segundo CAPUTO (1988), os solos lateríticos ocorrem em várias regiões do país, tendo como principais propriedades a baixa plasticidade e fertilidade, além da reduzida expansibilidade. Devido a este processo de formação, as jazidas de saibro encontram-se a pouca profundidade, ou mesmo na superfície, sendo recoberta apenas por uma camada de solo orgânico, geralmente contendo vegetação nativa.

A fração argilosa do saibro merece especial atenção, porque devido à reduzida dimensão de suas partículas e, conseqüentemente, elevada superfície específica, existe a predominância de forças de superfície sobre as forças de massa. Esta característica determina a maneira como este material pode influenciar nas propriedades das argamassas. Desta forma,

¹³ Processo de lixiviação no qual é removida a sílica coloidal, com o enriquecimento dos solos em ferro e alumina. Esta é uma característica das regiões tropicais de clima úmido, com estações chuvosas e secas alternadas (CAPUTO, 1988).

a compreensão da composição e estrutura dos argilominerais se faz necessária para um melhor entendimento de seus efeitos nas argamassas.

O termo argila é usado com vários sentidos, de acordo com o seu campo de aplicação. Segundo SANTOS (1989), este termo não tem significado genético¹⁴, sendo utilizado para materiais resultantes da ação direta do intemperismo e/ou de ação hidrotermal ou ainda que se depositaram como sedimentos fluviais, marinhos, lacustres ou eólicos. Para um solo ser considerado argiloso, basta que tenha uma fração de argila suficientemente ativa para conferir plasticidade e coesão (VARGAS, 1981).

As propriedades das argilas têm origem na sua composição mineralógica. Caracterizam-se por serem grãos finos, de dimensões menores que 2 μm , apresentando estrutura cristalina perfeita ou quase perfeita. Quimicamente, são constituídas principalmente por silicatos hidratados, podendo conter cátions, tais como: Al, Mg, Fe, Ca, Na e K, dentre outros. Estruturalmente, apresentam-se em camadas e folhas ou, mais raramente, em cadeias ou fitas (GRIM, 1962; GOMES, 1988; SANTOS, 1989).

Os minerais argilosos, mais conhecidos como argilominerais, são os componentes característicos das argilas. Segundo SANTOS (1989), as argilas também podem conter, em diferentes proporções, minerais não argilosos, tais como: quartzo, feldspato, mica, calcita, hematita, dentre outros, além de matéria orgânica e outras impurezas (GRIM, 1962; SANTOS, 1989). A argila pulverizada torna-se plástica ao ser misturada com água, passando a ser consistente e rígida após secagem, adquirindo grande dureza após queima a temperatura superior a 1000 °C (GOMES, 1988).

Devido às diversas constituições das rochas e das diferentes intensidades com que sofrem intemperismo, existe uma grande variação na composição química dos argilominerais. Entretanto, de acordo com a região do planeta, pode-se identificar a predominância de alguns tipos de argilominerais. Nas regiões tropicais e equatoriais quentes e muito úmidas, a hidrólise é o principal mecanismo de intemperismo, devido à alternância de estações chuvosas e secas. Desta forma, os minerais primários são decompostos, resultando em elementos químicos como K, Na, Ca, Mg, Fe, Al, Si, que sob condições adequadas podem recombinar-se, formando os argilominerais (GOMES, 1988).

Os elementos químicos mais frequentes num argilomineral são o oxigênio, silício, alumínio, ferro, magnésio, potássio e sódio, no estado iônico, assemelhando-se a “esferas” que se arranjam em modelos estruturais tridimensionais. Essas “esferas” são as unidades

¹⁴ Refere-se ao tipo de rocha que deu origem ao solo.

constituintes dos minerais argilosos, que podem estar arranjadas segundo 7 modelos diferentes, resultando na classificação de 7 grupos cristalinos de argilominerais. Cada grupo compreende várias espécies, cujo número se deve principalmente à substituição atômica isomórfica muito comum nos argilominerais, onde, por exemplo, o Al^{3+} pode substituir o Si^{4+} e o Mg^{2+} pode substituir o Fe^{2+} ou o Al^{3+} . Os principais fatores que favorecem esta substituição iônica são a semelhança de raios iônicos, cargas elétricas e números de coordenação (GOMES, 1988).

Destes grupos, seis possuem modelos estruturais organizados em folhas e camadas, sendo chamados de filossilicatos¹⁵, enquanto o sétimo grupo tem a forma de fita. A denominação de cada grupo é representada pela espécie mais comum e importante. Desta forma, tem-se os grupos da caulinita, da ilita, da montmorilonita, da clorita, da vermiculita, dos interstratificados, e o grupo da paligorsquita e sepiolita (GOMES, 1988). Normalmente, os grupos mais comuns são a ilita, caulinita e montmorilonita.

A estrutura dos diversos argilominerais é composta da associação de unidades fundamentais, os tetraedros de silício e os octaedros de alumínio, magnésio, ferro ou outro íon, representados como trapézio e retângulo, respectivamente, conforme ilustrado na figura 2.2. Os átomos ou íons de oxigênio, ou ainda íons hidroxila, envolvem cátions Si^{4+} (ou Al^{3+}), nos tetraedros, e Al^{3+} (ou então Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} ou Ti^{4+}), nos octaedros. Os tetraedros são ligados entre si como folhas hexagonais contínuas e os octaedros são ligados de forma hexagonal em folhas octaédricas, sendo que estas folhas ao serem agrupadas formam as camadas estruturais (GRIM, 1962).

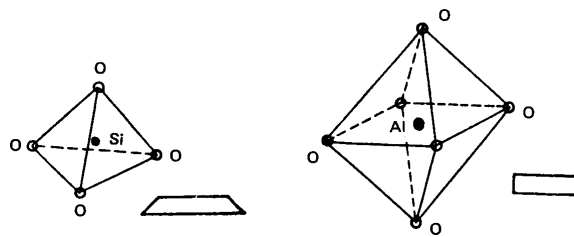


Figura 2.2 Representação gráfica das unidades fundamentais da estrutura dos argilominerais (CAPUTO, 1988).

De acordo com as referências encontradas (SELMO e BUCHER, 1990; COSTA et al., 1991; COSTA, 2001; entre outros), a maioria dos saibros nacionais possuem a caulinita como principal argilomineral. Desta forma, neste trabalho somente a composição e estrutura deste argilomineral serão abordadas com maior ênfase.

A figura 2.3 ilustra o modelo estrutural da caulinita. Segundo GRIM (1962) e GOMES (1988), o espaçamento entre duas camadas estruturais consecutivas é de 7 Å, onde cada camada estrutural é formada pela associação de uma folha tetraédrica de sílica com uma folha octaédrica de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (gibbsita). Um cristal de caulinita possui, em média, 40 a 50 camadas estruturais.

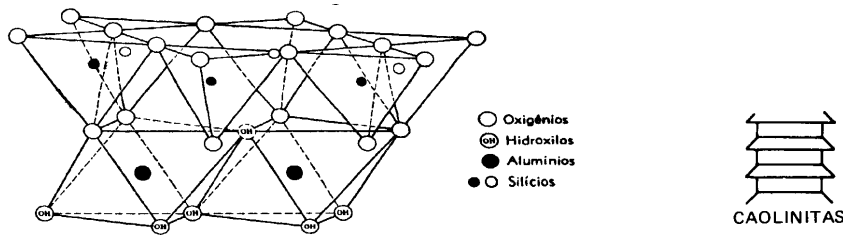


Figura 2.3 Representação gráfica do modelo estrutural da caulinita (GRIM, 1962).

Estas camadas estruturais adjacentes são ligadas por pontes de hidrogênio entre átomos O^{2-} e grupos de OH^- de planos atômicos justapostos. A energia de ligação é variável entre as espécies deste grupo mas, para todas elas, entre 500 °C e 700 °C todos os OH são eliminados. A unidade estrutural básica ou célula unitária corresponde à composição química $4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (ou, sob outra forma, $\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$). A composição química teórica de um cristal de caulinita é de aproximadamente 39,8% Al_2O_3 , 46,3% SiO_2 e 13,9% H_2O (GOMES, 1988).

Segundo GOMES (1988), através de microscopia eletrônica observou-se cristais lamelares de diâmetro médio entre 0,5 e 1 μm , com formas regulares pseudo-hexagonais, embora certos cristais apresentassem lamelas de formas irregulares. Entretanto, algumas caulinitas possuem dimensões dos cristais individuais bastante inferiores ou superiores a estes valores. O autor conclui relatando que a relação diâmetro/espessura dos cristais de caulinita é, em média, próxima de 25.

Dentre os três principais grupos de argilominerais, a caulinita é o material menos expansivo, principalmente devido à relativa simplicidade de sua estrutura cristalina, quando comparada às estruturas dos demais grupos, sendo muito difícil a ocorrência de substituição atômica isomórfica. A estrutura das montmorilonitas é formada por uma folha octaédrica de alumínio, ferro ou magnésio entre duas folhas tetraédricas de sílica. Têm como principal característica a elevada expansibilidade, devido às fracas ligações entre suas unidades,

¹⁵ Do grego *phylon* = folha.

tornando-as instáveis ao permitirem a passagem das moléculas de água. As ilitas são estruturalmente semelhantes às montmorilonitas, entretanto são menos expansivas que estas (CAPUTO, 1988).

Nos solos com considerável quantidade de silte e argila, para a adequada caracterização e identificação, além do tamanho (granulometria) e da forma e natureza das partículas (mineralogia) é necessário determinar seus limites de consistência. A plasticidade das argilas ocorre em função de determinados teores de umidade, visto que a forma das partículas possibilitam que as mesmas deslizem umas sobre as outras, somente quando a água intersticial funciona como uma partícula lubrificante. Se a água estiver presente em pequena quantidade, as forças capilares serão muito grandes, fazendo com que os grãos se aglutinem num estado semi-sólido; por outro lado, se houver água em excesso, as partículas de argila estarão em suspensão, tornando o conjunto um líquido viscoso (VARGAS, 1981; CAPUTO, 1988).

Desta forma, ao serem colocados os teores de umidade de forma crescente, conforme a figura 2.4, o espaço entre as umidades h_1 (limite de plasticidade ou LP) e h_2 (limite de liquidez ou LL) representa o solo no estado plástico, sendo a diferença entre h_2 e h_1 denominada de índice de plasticidade ou IP. Quando o solo apresenta umidade superior a h_2 , considera-se que ele está no estado líquido, porém ao apresentar umidade inferior a h_1 , considera-se que ele está no estado semi-sólido. Estes limites, denominados limites de Atterberg, permitem se ter uma idéia do tipo de solo e suas propriedades, de uma forma simples e rápida. Entretanto para se determinar a plasticidade de um solo deve-se utilizar o gráfico de plasticidade de Casagrande, onde as abscissas representam o limite de liquidez e as ordenadas o índice de plasticidade. Através do ponto referente a estas coordenadas, observa-se em qual dos grupos de solos finos pertence determinado solo.

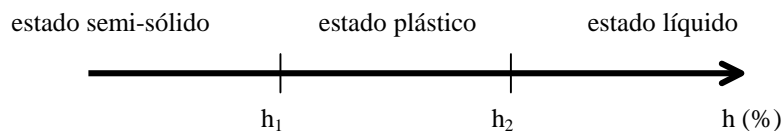


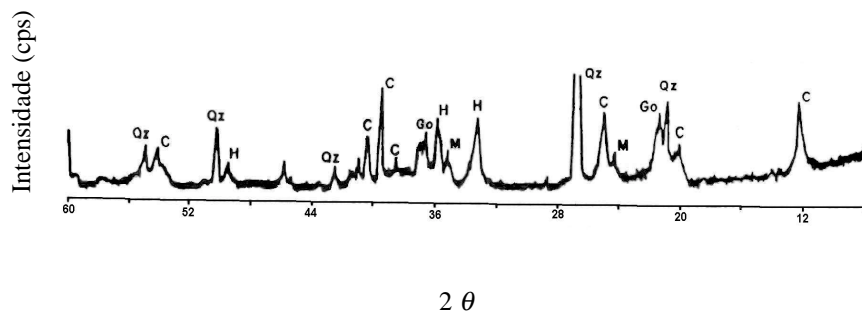
Figura 2.4 Representação dos estados de consistência dos solos.

Ao realizarem a caracterização de oito saibros provenientes de diferentes regiões do país (SP, ES, RJ, BA e PA), SELMO e BUCHER (1990) identificaram na análise mineralógica a predominância de caulinita e quartzo, seguidos pela mica e feldspato, no

material passante na peneira ABNT de 45 μm . Os grãos retidos nesta peneira são constituídos principalmente de quartzo, seguido de mica e feldspato, ou apenas feldspato. No material passante na peneira ABNT de 45 μm do saibro identificado como procedente do Pará, há predominância de quartzo e feldspato em quantidades equivalentes, seguidos pela caulinita, com alguns traços de hematita.

CASCUDO e CARASEK (1994) também constataram a predominância de quartzo e caulinita no material passante na peneira ABNT de 35 μm , em quatro tipos de saibro provenientes da região metropolitana de Goiânia. Os demais minerais presentes foram a montmorilonita, gibbsite, hematita, clorita e mica. Com relação ao material retido na peneira ABNT de 75 μm , não observaram diferenças significativas, havendo predominância de grãos de quartzo com formato tendendo a arredondado, com algumas arestas.

Na região de Belém (PA), COSTA et al. (1991) também constataram a predominância de quartzo, seguida da caulinita com alguns traços de Al-goethita (Al_2O_3) em Outeiro e Mosqueiro. A figura 2.5 mostra o difratograma de raios-x do solo retirado em Outeiro. COSTA (2001) relata que a composição mineralógica dos saibros é composta por quartzo, caulinita, Al-goethita e, eventualmente, algumas concreções de hematita.



Observações:

H – Hematita M – Muscovita Qz – Quartzo C – Caulinita Go - Goethita

Figura 2.5 Difratograma de raios-x de amostra de saibro proveniente do distrito de Outeiro, a 25 km de Belém (COSTA et al., 1991).

GOMES (2000) identificou a presença de caulinita em teores acima de 90%, seguida da ilita, na fração argilosa de três amostras de arenoso de Salvador, uma de Fortaleza e outra de Aracaju. Desta forma, pode-se observar que a caulinita é o constituinte que mais pode afetar as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

De acordo com GRIM (1962) e SANTOS (1989), normalmente, para a identificação mineralógica dos minerais argilosos de forma precisa, é necessário o uso de vários métodos

em conjunto, tais como análise química, análise térmica diferencial, difração de raios x e espectroscopia no infravermelho, dentre outros, principalmente para materiais de composição complexa. Porém, pode-se utilizar somente a difração de raios x como um meio de se verificar indícios da presença de alguns tipos de argilominerais mais comuns.

Com relação às características físicas, SELMO e BUCHER (1990) identificaram diferenças significativas entre alguns tipos de saibro, tais como área específica do material passante na peneira ABNT de 45 μm e massa unitária no estado seco.

A curva de inchamento do saibro apresenta um desenvolvimento irregular, quando comparada à curva da areia, devido à granulometria e à natureza de suas partículas argilominerais modificarem o mecanismo das forças de atração atuantes na variação de umidade. Desta forma, NEVES et al. (1997) e GOMES (2000) colocam que o processo gráfico para determinação do coeficiente de inchamento médio, recomendado pela NBR 6467 (ABNT, 1987), não é adequado para materiais como o saibro. Visto que, para a conversão de um traço em volume para massa deve-se utilizar a massa unitária e o coeficiente de inchamento médio, os autores recomendam somente a utilização da massa unitária da adição com a umidade natural, no canteiro de obra.

2.2.5.1.2 Influência do saibro nas propriedades das argamassas

A princípio, as considerações feitas para a areia também valem para o saibro, visto que ele é um material inerte, ou seja, um agregado miúdo. Entretanto, as variações nas características físicas, químicas e mineralógicas das adições utilizadas como agregado que podem ocorrer entre as diferentes jazidas e até mesmo dentro de uma mesma jazida, visto que o solo está em processo de transformação, influenciam nas propriedades das argamassas (OLIVEIRA, 1989; GOMES, 2000). Desta forma, tem sido difícil determinar traços gerais com bom desempenho, como ocorre nas argamassas que utilizam cal como agente plastificante (CARASEK et al., 1995b).

Conforme exposto anteriormente, a principal função do saibro é proporcionar plasticidade à argamassa, contribuindo para o aumento da trabalhabilidade. Entretanto, pela capacidade da argila adsorver água, parte da água de amassamento é retida em sua estrutura, causando perda de consistência (UNIKOWSKI, 1982).

OLIVEIRA (1989) também constatou que as argamassas com saibro apresentam acentuada redução da trabalhabilidade com o passar do tempo (verificada através do índice de consistência), principalmente as com menor consumo de cimento e maiores teores de saibro

na mistura. Porém não houve ainda uma investigação mais aprofundada das causas deste fenômeno, onde a autora especula que a granulometria ou os minerais constituintes do saibro possam exercer alguma influência.

O aumento do teor de saibro implica em aumento no teor de finos de natureza argilosa, refletindo em um aumento no teor de água necessária para a obtenção da trabalhabilidade desejada (SELMO e BUCHER, 1990; CASCUDO e CARASEK, 1994). Como a perda de água durante o endurecimento é uma das principais causas da retração por secagem, há maior probabilidade da ocorrência de fissuras por retração. Outra consequência do maior consumo de água é o aumento da porosidade, onde UNIKOWSKI (1982) coloca que por este motivo as deformações higroscópicas são muito mais acentuadas nas argamassas com adições argilominerais.

OLIVEIRA (1989) observou uma tendência que a adição de saibro necessita de menor consumo de água, ou seja, a substituição de areia por saibro reduz a quantidade de água para uma mesma trabalhabilidade. Entretanto, a autora cita que FONSECA encontrou resultados contrários, ao relatar que a natureza argilosa do saibro faz com que este exija mais água do que argamassa idêntica preparada com areia, para que seja atingida a mesma consistência, em traços até 1:5 (cimento e areia, em volume).

A figura 2.6 demonstra a influência de diversos materiais finos sobre a quantidade de água necessária para atingir a consistência padrão de 16 ± 1 s, no plasticímetro de Lesage, em uma argamassa 1:3 de cimento e areia, em massa (UNIKOWSKI, 1982). Nesta figura, pode-se observar a maior demanda de água da montmorilonita, para um mesmo teor de adição, confirmando a observação de GRIM (1962), citando HURSH et al., ao relatar que apenas a montmorilonita requer uma quantidade significativamente maior de água, dentre os materiais argilosos, para que a consistência desejada da argamassa seja atingida.

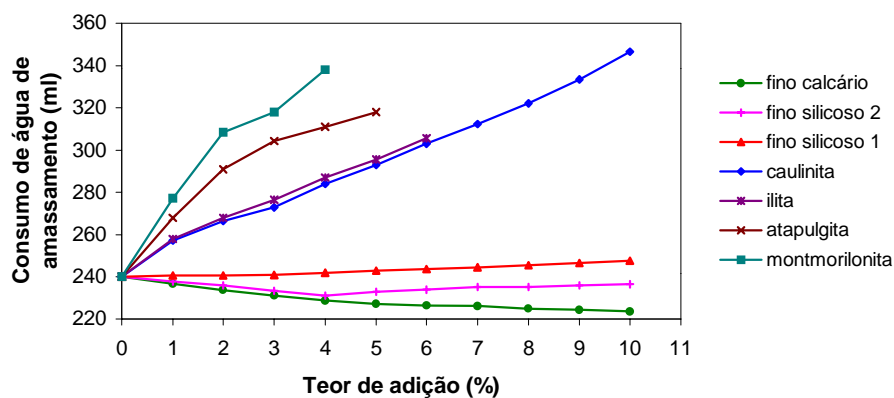


Figura 2.6 Influência do teor, em relação à quantidade total de agregado, e da natureza de diversos materiais plastificantes no consumo de água, em argamassas de cimento e areia, traço 1:3 (UNIKOWSKI, 1982).

O uso de saibro aumenta a retenção de água da argamassa, devido ao fato da água se incorporar na estrutura dos argilominerais e ao aumento do teor de finos. A literatura indica que o teor de saibro parece não influenciar significativamente nesta propriedade, onde normalmente encontra-se valores muito semelhantes, acima de 96%, independente da relação agregado/cimento (ARAÚJO, 1996). Para diferentes tipos de saibro, CARASEK et al. (1995b) encontraram valores de 81% a 96%, onde os maiores valores corresponderam aos saibros com maior teor de finos e de material argiloso e GOMES (2000) obteve valores entre 82% e 92%.

GRIM (1962), citando HURSH et al., coloca que argamassas de assentamento contendo argila, na proporção de 1:0,25 até 1:1 (cimento e argila), atingiram resultados de retenção de água iguais ou superiores aos apresentados pelas argamassas de cimento e cal, não havendo influência significativa do tipo de argilomineral, com exceção da montmorilonita. O autor ainda ressalta que a trabalhabilidade, de um modo geral, foi bem melhor para as argamassas com argila.

O aumento da retenção de água se mostra benéfico em diversas outras propriedades, sendo que HAN e KISHITANI (1984) constataram que o aumento da retenção de água, através da adição de cal, refletiu-se no aumento do grau de hidratação do cimento.

Diversos autores (SELMO e BUCHER, 1990; CASCUDO e CARASEK, 1994) correlacionam a trabalhabilidade e a retração das argamassas com o teor de finos passantes na peneira de 75 μm , seja o teor de finos total ou apenas do saibro. Destacam também que o controle da retração das argamassas está condicionado ao controle da relação água/cimento. Porém ARAÚJO (1996), citando VARGAS e COMBA (1984), recomenda considerar também o cimento neste teor de finos total. Esta metodologia de dosagem é baseada na quantidade mínima de saibro, determinada por um pedreiro experiente, para uma adequada trabalhabilidade, a qual é diretamente proporcional à relação agregado/cimento da argamassa.

OLIVEIRA (1989) constatou uma tendência que saibros diferentes apresentam desempenho diferentes para um mesmo traço, estando de acordo com CASCUDO e CARASEK (1994) e CARASEK et al. (1995a), que também observaram a influência do tipo de saibro nas propriedades das argamassas, de acordo com a variação de suas características físicas e mineralógicas.

A capacidade de plastificar a argamassa depende do tipo de saibro utilizado. Segundo CASCUDO e CARASEK (1994), os saibros de maior capacidade plastificante, além de possuírem maior número de partículas passantes na peneira ABNT de 75 μm , também possuem maior número destas partículas de menor dimensão, ou seja, existe influência da

distribuição granulométrica da fração de finos. Os autores colocam que a maior finura da fração argilosa de um saibro depende provavelmente de sua composição mineralógica.

De acordo com a metodologia de dosagem utilizada por CASCUDO e CARASEK (1994) para argamassas com diferentes saibros, nas curvas de trabalhabilidade geradas observou-se que mantendo constante o teor de saibro, a argamassa com a maior relação agregado/cimento tem maior consumo de água, porque precisa de maior volume de pasta para envolver os agregados. Portanto, existe influência do tipo de saibro na demanda de água da argamassa.

Segundo ARAÚJO (1996), o aumento do teor de saibro reduz o teor de ar aprisionado no estado fresco. Entretanto, OLIVEIRA (1989) coloca exatamente o contrário, ou seja, com o aumento do teor de saibro, também ocorre aumento da finura do agregado, havendo maior tendência de aprisionamento de ar na argamassa no estado fresco. O ar aprisionado desta maneira contribui para o aumento na trabalhabilidade, reduz a massa específica aparente e aumenta o rendimento da argamassa, ou seja, reduz o consumo de cimento por metro cúbico de argamassa. Por outro lado, o excesso de ar aprisionado pode reduzir a resistência de aderência e, de acordo com as dimensões e a forma destes vazios, também contribui para o aumento da permeabilidade.

Observa-se a influência do teor de saibro na composição granulométrica total da argamassa, visto que, de acordo com OLIVEIRA (1989), o aumento da massa específica aparente no estado endurecido, com a conseqüente redução da porosidade, correspondeu ao incremento na resistência à compressão. A autora também concluiu que o ar incorporado pelo saibro prejudica menos a resistência do que os vazios provenientes da evaporação da água de amassamento. Assim, as argamassas de saibro podem ser mais porosas sem prejuízo da resistência mecânica.

De acordo com GUIMARÃES (1998), quanto maior o teor de material argiloso na argamassa, maior o teor de álcalis, onde nas ilitas o teor de K_2O pode chegar a 6%, o que pode favorecer o surgimento de eflorescências na superfície do revestimento. Este processo é desencadeado quando existem condições favoráveis à percolação de água pelo interior da argamassa, carreando os sais solúveis que podem precipitar-se na superfície formando manchas. NEVES et al. (1997), citando UEMOTO, afirmam que os cloretos, sulfatos e nitratos solúveis são os sais mais freqüentes nos agregados e adições, responsáveis pela ocorrência de eflorescências.

Assim como pode ocorrer na areia, é muito comum o saibro conter certo teor de impurezas de origem orgânica ou mineral, que além de prejudicar o endurecimento do aglomerante, ao entrarem em decomposição gerando compostos expansivos, podem causar a formação de manchas ou vesículas de coloração escura, até o ponto de ocasionar desagregação da argamassa ou perda de aderência à base (SELMO, 1986).

UNIKOWSKI (1982) coloca que devido à tendência do material argiloso aderir na superfície dos grãos do agregado miúdo, a pasta de cimento pode não envolver e aderir completamente ao agregado, prejudicando desta forma o endurecimento e a consolidação da argamassa com teores elevados de argila. Como conseqüência desta situação, a resistência mecânica do revestimento é reduzida, principalmente a resistência ao desgaste superficial. JOISEL (1981) descreve este mecanismo, ilustrado na figura 2.7, que também foi constatado por CASCUDO et al. (1993) e por CARASEK et al. (1995a), onde os “enlaces cristalinos” que unem os agregados aos aglomerantes passam a unir os materiais argilosos aos aglomerantes. Porém, segundo JOISEL (1981), outros grãos inertes mais finos do que os grãos de cimento também podem agir desta forma.

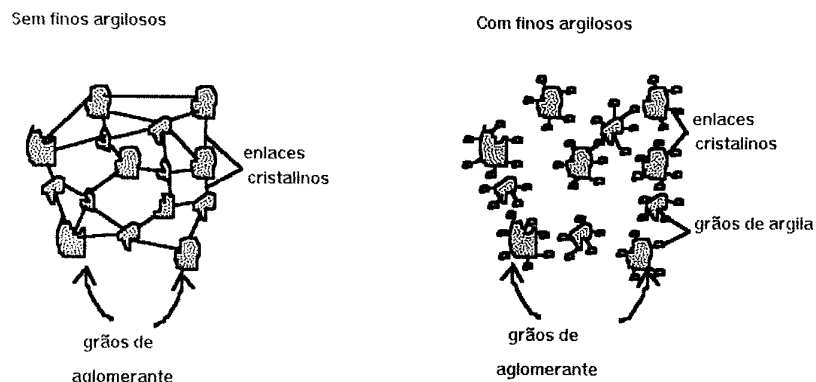


Figura 2.7 Representação simbólica da influência dos argilominerais na estrutura da pasta aglomerante (JOISEL, 1981).

A curto prazo, não foi constatada influência do teor de saibro na resistência à compressão da argamassa, em ensaios realizados aos 28 dias, sendo esta propriedade regida pelo consumo de cimento e pela relação água/cimento (OLIVEIRA, 1989; ARAÚJO, 1996). Contudo, ISBERNER (1964) relata que a resistência à compressão de argamassas ricas é muito prejudicada pela adição de diversos teores de montmorilonita, onde GRIM (1962), citando HURSH et al., coloca que as argamassas com montmorilonita possuem baixas resistências à compressão devido ao aumento do consumo de água. Este comportamento diferenciado também foi observado por CASCUDO et al. (1993), para uma argamassa com

determinado tipo de saibro, em relação aos demais traços de consumo de cimento e relação água/cimento semelhantes, mas não foi possível obter uma conclusão.

GRIM (1962), citando HURSH et al., coloca que as argamassas com argila atingiram resistências acima do necessário, podendo haver até 30% ou 35% de material argiloso, em massa de cimento, para argamassas de assentamento 1:3 (cimento e areia), submetidas a severas condições de exposição.

UNIKOWSKI (1982) coloca um possível aumento de resistência mecânica das argamassas com saibro, a longo prazo. Desde que haja condições de cura favoráveis podem ocorrer reações pozolânicas, ou seja, reações químicas entre o hidróxido de cálcio, resultante da hidratação do cimento, com os minerais argilosos.

CARVALHO e CAVALCANTI JR. (1997), ao realizarem ensaios em argamassas com a adição de arenoso¹⁶ da cidade de Aracaju (SE), relatam que o índice de vazios e a absorção por imersão foram inferiores aos apresentados pela argamassa de cal (1:2:9, em massa). Entretanto, apresentaram alta absorção por capilaridade, com a saturação dos corpos-de-prova em 3 horas. O aumento do teor de arenoso refletiu-se no aumento da retração por secagem. Os autores recomendam que a quantidade de arenoso, em relação ao teor total de agregados, deve estar situada entre 20 e 40%, por apresentar a mesma retração da argamassa de cal, além dos melhores resultados físicos e mecânicos, de um modo geral.

No revestimento, o número de variáveis intervenientes é grande, tornando complexa a avaliação da influência do teor de saibro, sendo que ARAÚJO (1996) não encontrou correlação entre o teor de saibro e a ocorrência de fissuras. Com relação à resistência de aderência à tração do revestimento, o autor obteve coeficientes de variação muito elevados, prejudicando qualquer tipo de conclusão, onde somente pode-se observar a influência da relação água/cimento nesta propriedade e na dureza superficial. Por outro lado, CARVALHO e CAVALCANTI JR. (1997) concluíram que o aumento do teor de adição resulta em aumento da resistência de aderência à tração. CARASEK et al. (1995a) também não obtiveram correlações entre o tipo de saibro e a absorção de água do revestimento, pelo método do cachimbo, porém houve indícios de melhor desempenho de saibros com maior capacidade plastificante, devido ao menor teor de finos e correspondente menor consumo de água.

Por outro lado, CARASEK et al. (1995a) constataram que o aumento do teor de material passante pela peneira ABNT 75 µm, em conjunto com o aumento do teor da fração argilosa deste material, reflete-se num maior consumo de água, resultando em maior

¹⁶ Tipo de saibro com baixo teor de argila.

quantidade de fissuras no revestimento por retração hidráulica e por dessecação superficial. Com relação à dureza superficial, os autores observaram uma tendência das argamassas com saibro apresentarem maior rigidez do que as argamassas com cal, ou seja, menor capacidade de deformação.

CASCUDO et al. (1993), ao avaliarem os custos dos materiais na cidade de Goiânia-GO, para diversas argamassas com adição de saibro e argamassas de cimento e cal, de desempenho semelhante, constataram que, de um modo geral, as argamassas com saibro podem ser 40% a 60% mais baratas. Apesar do menor custo, constata-se o consenso entre diversos autores (SELMO e BUCHER, 1990; FILOMENO, 1993; CASCUDO e CARASEK, 1994), ao afirmarem que o teor de saibro nas argamassas deve ser apenas o necessário para conferir a plasticidade e a coesão desejadas, sem prejudicar as demais propriedades no estado endurecido.

Desta forma, observa-se que a natureza e o teor de finos, em especial da fração argilosa, influenciam de forma significativa na qualidade das argamassas. Conforme a quantidade e a composição mineralógica, os argilominerais estão sujeitos a variações de volume de acordo com o teor de umidade, podendo originar o aumento do número de fissuras, assim como aumentar as fissuras já existentes, ou ainda proporcionar a desagregação dos constituintes da argamassa.

SELMO e BUCHER (1990) fazem uma breve revisão do estado da arte sobre a dosagem empírica das argamassas com saibro, onde também realizam um estudo que estabelece alguns critérios para a dosagem racional destas argamassas. Desta forma, os trabalhos de CASCUDO e CARASEK (1994), CARASEK et al. (1995a) e ARAÚJO (1996) seguem, em linhas gerais, estes critérios, sendo encontrados trabalhos como o de LARA et al. (1995) que ainda propõe um método de dosagem empírico. Entretanto, uma análise pormenorizada a respeito não cabe no contexto deste trabalho.

Com relação ao uso do saibro e de outros finos plastificantes nas argamassas, a literatura indica que em estudos comparativos, as argamassas com adição apresentaram desempenho similar ou superior às argamassas de cimento e cal de referência, de um modo geral. Mesmo assim, seu emprego é visto ainda como uma alternativa de menor custo, devendo-se sempre buscar o uso racional destas adições, para um desempenho satisfatório do produto final. Também observa-se o crescente interesse no estudo do comportamento das argamassas com estas adições, em várias regiões do país. Entretanto, a maioria dos trabalhos restringiu-se à análise nas idades entre 7 e 28 dias, onde a ação da cal como aglomerante é

muito pequena (OLIVEIRA, 1989, CARASEK, 1996), assim como não indicam o comportamento das argamassas no decorrer do tempo.

No estado do Rio de Janeiro, onde são utilizadas argamassas com areia de até 30 % de material argiloso, SABBATINI (1989) coloca que a experiência prática tem demonstrado a melhoria na trabalhabilidade e na capacidade de deformação, com ou sem prejuízo da resistência e da capacidade de aderência, devido ao teor e à natureza deste material argiloso.

CARVALHO FILHO et al. (1995), ao caracterizarem os materiais e os traços usuais da Região Metropolitana de Recife utilizados em argamassas para assentamento e revestimento, identificaram o uso do saibro principalmente para assentamento e revestimento interno, havendo maior preferência em se utilizar cal nos revestimentos externos.

Na região de Florianópolis também foi constatada a predominância do uso de saibro nas argamassas para assentamento, de acordo com FILOMENO (1993). Ao realizar um estudo comparativo entre argamassas de cimento, cal e areia e de cimento, saibro e areia (nas mesmas proporções em volume), constatou que as argamassas com adição de saibro apresentaram tendência de estabilização da resistência à compressão a partir dos 28 dias de idade e maiores capacidades de deformação. As argamassas de cal apresentaram incremento de resistência e, conseqüentemente, no módulo de deformação entre os 28 e 63 dias.

Ao avaliar o efeito da adição de finos calcários em revestimentos de argamassa de cimento, cal e areia, PAES et al. (1999) constataram desempenhos similares entre as argamassas com adição e a de referência (cimento, cal e areia), onde os valores de resistência de aderência foram considerados aceitáveis.

NEVES et al. (1995) avaliaram a retenção de água, o teor de ar incorporado, a resistência à compressão e a absorção de água por imersão e por capilaridade, dentre outras propriedades em argamassas para revestimento, utilizando caulim da região de Salvador. Constataram que a argamassa com caulim (1:2,8:5,2, em massa) obteve resultados similares aos da argamassa de cimento e cal (1:1:7, em massa), aos 28 dias.

De acordo com GOMES (2000), observa-se em Salvador certa distinção entre os tipos de adição empregados, onde o arenoso é utilizado em argamassas para assentamento e revestimento externo, assim como emboço para assentamento de placas cerâmicas, enquanto que o caulim é empregado nas argamassas para revestimento interno e em certas ocasiões, para revestimento externo. O autor também constatou, através de conversas com construtores, que é muito comum este tipo de argamassa descolar do substrato em revestimentos de teto, sendo detectado como principais causas a presença de substâncias gordurosas na superfície do

concreto e/ou textura lisa devido ao tipo de forma utilizada. CINTRA et. al. (1994) também constataram a incidência de manifestações patológicas somente em argamassas de revestimento.

SIQUEIRA e SELMO (1995), ao relatarem um estudo de caso de revestimentos externos executados em campo, utilizando argamassas de cimento e cal e argamassas de cimento e solo fino beneficiado da cidade de São Paulo, também constataram que não houve diferenças significativas de desempenho entre estes revestimentos até a idade de 180 dias, sem receber pintura. A elevada incidência de fissuração mapeada foi atribuída à areia muito fina, elevada espessura do revestimento e exposição prolongada dos revestimentos ao intemperismo. Até a idade de três anos, os revestimentos não apresentaram evidências de toda a fissuração existente, embora tenha sido utilizada pintura especial aditivada de hidrofugante.

CARASEK et al. (1995a) avaliaram o comportamento de revestimentos em argamassa, simulando condições de exposição do ambiente interno e externo, utilizando quatro tipos diferentes de saibro da região de Goiânia. Constataram que a argamassa de cimento com o saibro 4 e areia (1:2,41:4,42 e 1:3,95:6,77, em massa) obteve resultados similares, de um modo geral, aos da argamassa de cimento, cal e areia (1:0,47:6,1 e 1:0,47:9,15, em massa). Entretanto, não foi possível a identificação de diferenças significativas de comportamento entre os revestimentos interno e externo, devido ao curto período de tempo (28 dias) analisado ter coincidido ao clima seco e sem chuvas. Argamassas similares às deste trabalho foram utilizadas por CARASEK et al. (1995b), ao verificar seu desempenho em prismas de alvenaria. Os autores não identificaram diferenças significativas entre os prismas quanto à resistência à compressão, porém houve influência do tipo de saibro na resistência de aderência à tração por flexão dos prismas.

OLIVEIRA (1989) constatou que argamassas com diferentes teores de saibro para assentamento de alvenaria tiveram bom desempenho no estado fresco e endurecido, em relação à argamassa de cimento, cal e areia. Observou também resultados similares entre estas argamassas ao avaliar a resistência à compressão de prismas de alvenaria.

GOMES (2000) coloca que é possível utilizar argamassas de revestimento e assentamento, com o emprego de adições contendo argilominerais, de desempenho satisfatório. Para isto acontecer de fato, devem ser observados certos critérios durante a dosagem, além de se manter certo controle sobre a variabilidade das características da adição. O autor recomenda os mesmos parâmetros do CETA¹⁷, ou seja, utilização de adições com teor

¹⁷ Centro Tecnológico da Argamassa - UFBA, fundado em 1994.

de silte e argila menor que 25%, teor de argila menor que 20% e índice de plasticidade (do material passante na peneira ABNT 0,3 mm) menor que 15%.

Em função da tradição no uso destas adições, é muito comum encontrar nestas regiões operários que julgam as argamassas com saibro mais trabalháveis. Em muitas obras a adição de saibro é definida em função da habilidade do mestre ou do pedreiro. Com o objetivo de reduzir o teor de arenoso ou caulim nas argamassas e de aumentar a trabalhabilidade, o CETA emprega aditivos para a incorporação de 8 a 17 % de ar, reduzindo desta forma os efeitos negativos destas adições nas argamassas (GOMES, 2000).

O saibro deve ser isento de impurezas orgânicas ou minerais, de composição granulométrica contínua, onde sua fração argilosa deve ser preferencialmente composta por argilominerais menos suscetíveis à expansão, devendo também ser utilizado no menor teor possível. A literatura indica que, a curto prazo, as argamassas com saibro, dosadas empiricamente ou de modo racional, apresentam desempenho similar ou superior às argamassas de cal.

2.2.5.2 Sílica ativa

A sílica ativa é um subproduto de indústrias de silício metálico e de ligas de ferrosilício, produzidas em fornos elétricos a arco voltaico. Apresenta-se na forma de partículas esféricas extremamente pequenas de SiO_2 amorfa, com um grau muito baixo de cristalização (MEHTA, 1989), por ser resultado da condensação do SiO desprendido na forma de gás na parte superior do forno, ao entrar em contato com o ar e em temperaturas menos elevadas.

É um pó fino de cor influenciada pelo teor de carbono e, em menor escala, pelo teor de ferro, variando desta forma do cinza claro ao escuro (DASTOL, 1984; MALHOTRA et al., 1994). Segundo o ACI 226 (1987), a maior parte das partículas apresenta diâmetro inferior a 1 μm e diâmetro médio na ordem de 0,1 μm , ou seja, cerca de 100 vezes menor do que o grão de cimento. A superfície específica pode variar de 13.000 a 30.000 m^2/kg e a massa específica encontra-se em torno de 2,2 g/cm^3 (MALHOTRA et al., 1994).

De acordo com DASTOL (1984), existe tendência da sílica ativa formar aglomerados de dois tipos. Os aglomerados secundários, ou brandos, seriam mantidos por forças físicas do tipo Van der Waals, predominando no pó seco, mas seriam facilmente rompidos com a aplicação de uma certa quantidade de energia e um agente dispersante. O outro tipo,

denominado de aglomerados primários ou duros, são os aglomerados remanescentes após o rompimento das ligações físicas, sendo aparentemente mantidos por ligações químicas fortes, tendo um tamanho médio de 0,2 a 0,3 μm , mas WOLF (1991), citando HJORTH, coloca que podem chegar a 0,5 μm .

Sua composição química depende das características das matérias primas utilizadas para a obtenção do produto siderúrgico, onde quanto maior o teor de silício utilizado na produção industrial, maior será o teor de sílica presente em seu resíduo. SELLEVOLD e NILSEN (1987) colocam que produtos contendo um teor de silício acima de 75% resultam em sílicas ativas com teor de SiO_2 entre 85% e 98%, a maioria no estado amorfo, que são as mais apropriadas para utilização como adição em cimentos, argamassas ou concretos. MALHOTRA e MEHTA (1996) colocam que a sílica ativa empregada na construção civil deve possuir um teor mínimo de SiO_2 igual a 85%. As principais impurezas encontradas são carvão, álcalis e óxidos alcalino-terrosos, ferro e alumina (DASTOL, 1984).

GUTT e NIXON, citados por WOLF (1991), apresentaram uma composição química média (em termos de óxidos) de 3 tipos diferentes de sílica ativa, conforme a tabela 2.3.

Tabela 2.3 Composição química média da sílica ativa, em porcentagem (GUTT e NIXON, citados por WOLF, 1991).

Constituintes	Origem da sílica ativa		
	silício metálico	* FeSi - 90 %	* FeSi - 75 %
SiO_2	94,8	92,95	86,90
SiC	0,2 – 1,0	0,2 – 0,5	0,1 – 0,4
C	0,2 – 1,5	0,5 – 1,2	0,8 – 2,3
Fe_2O_3	0,02 – 0,15	0,2 – 0,5	0,3 – 1,0
Al_2O_3	0,1 – 0,4	0,4 – 1,0	0,2 – 0,6
CaO	0,08 – 0,3	0,1 – 0,5	0,2 – 0,6
MgO	0,3 – 0,9	0,5 – 1,2	1,0 – 3,5
Na_2O	0,1 – 0,4	0,2 – 0,7	0,8 – 1,8
K_2O	0,2 – 0,7	1,0 – 1,5	1,5 – 3,5
Outros	0,1 – 0,5	0,4 – 0,8	0,5 – 0,9
Perda de ignição	0,8 – 1,5	0,7 – 0,2	2,4 – 4,0

* Porcentagem de silício na liga metálica.

A sílica ativa tem sido utilizada em diversos materiais a base de cimento, como concretos e argamassas, cujos efeitos são discutidos a seguir, sendo também usada em alguns tipos de polímeros, em fertilizantes, em produtos químicos, isolantes e refratários (DASTOL, 1984).

2.2.5.2.1 Ação física e química da sílica ativa

As mudanças na microestrutura e, conseqüentemente, nas propriedades de concretos e argamassas nos estados fresco e endurecido, devem-se à ação combinada do seu efeito microfíler e da sua elevada atividade pozolânica (MEHTA, 1989).

O efeito microfíler ocorre devido ao reduzido tamanho de suas partículas, onde a sílica ativa preenche os vazios existentes entre os grãos de cimento, contribuindo para uma matriz mais compacta e mais resistente, assim como para o refinamento dos poros existentes nos concretos e argamassas, tendo efeito direto na redução da porosidade capilar (SELLEVOLD e NILSEN, 1987; GASTALDINI et al., 1996).

De acordo com DETWILER e MEHTA (1989), esta ação física também contribui para maior aderência entre a pasta de cimento e o agregado, melhorando a zona de transição principalmente em concretos, devido aos seguintes fatores: redução da exsudação e aumento na coesão da mistura, redução da espessura da zona de transição e pelo fato da sílica ativa agir como ponto de nucleação para os produtos de hidratação, reduzindo o tamanho e a orientação dos cristais de hidróxido de cálcio, principalmente na interface pasta/agregado. Entretanto, para que estes mecanismos se desenvolvam plenamente, MALHOTRA et al. (1994) e MEHTA (1989) colocam que as partículas de sílica ativa devem estar bem dispersas na mistura, através do uso de aditivos superplastificantes.

O efeito pozolânico é a reação química da sílica ativa com o hidróxido de cálcio livre, formado durante as reações de hidratação do cimento, resultando em compostos resistentes de silicato de cálcio hidratado semelhantes aos produzidos pelas reações do cimento. A elevada atividade pozolânica da sílica ativa está relacionada à sua alta superfície específica e ao elevado teor de silício no estado amorfo, os quais controlam, de um modo geral, a energia de ativação disponível para as reações de hidratação, influenciando desta forma na sua taxa relativa de hidratação (MEHTA, 1989; DETWILER e MEHTA, 1989). GRUTZECK et al., citado por MALHOTRA et al. (1994), descrevem detalhadamente o mecanismo da reação pozolânica da sílica ativa na pasta de cimento.

SELLEVOLD e NILSEN (1987) consideram que as modificações na microestrutura devido ao refinamento dos poros, através dos mecanismos acima descritos, é o principal fator responsável pela melhoria nas propriedades mecânicas e na durabilidade dos concretos com sílica ativa. Esta série de melhorias obtidas com o emprego da sílica ativa faz com que a mesma seja considerada uma superpozolana.

2.2.5.2.2 Utilização da sílica ativa em argamassas

Segundo SELLEVOLD E NILSEN (1987), a adição de sílica ativa ao concreto melhora a aderência a concretos endurecidos, assim como também melhora a resistência à abrasão e erosão. GJORV citado por SCHULER (1998) coloca que o uso de sílica ativa em concretos de alto desempenho propicia relevante redução da permeabilidade a íons agressivos.

Considerando-se que a adição de sílica ativa em argamassas produziria efeitos semelhantes aos encontrados no concreto, principalmente no que se refere à durabilidade, são encontradas pesquisas principalmente com as seguintes finalidades: estudar os efeitos desta adição na microestrutura do concreto e estudar seu desempenho no uso em reparos e, mais recentemente, em reforços estruturais (KULAKOWSKI, 1994; SCHULER, 1998; entre outros). Neste último caso, a adição de sílica ativa tem por objetivo melhorar a resistência e a aderência, além de propiciar maior proteção a agentes agressivos. Entretanto, as pesquisas em argamassas com adição de sílica ativa ainda são incipientes.

CHENG-YI e FELDMAN (1985) pesquisaram a hidratação de argamassas de cimento e areia com 0%, 10% e 30% de adição de sílica ativa e relações água/aglomerante¹⁸ de 0,45 e 0,60, concluindo que a redução do teor de hidróxido de cálcio, indicativo da reação pozolânica, é mais acentuada até os 28 dias e que esta adição implica em melhoria na ligação entre a matriz e o agregado, visto que o hidróxido de cálcio se concentra preferencialmente nesta região, levando a um refinamento da estrutura dos poros destas misturas.

SCHULER (1998), citando PAILLERE, destaca o uso de sílica ativa em argamassas principalmente para reduzir sua porosidade, entretanto, para que isto ocorra satisfatoriamente, deve-se ter especial cuidado durante a cura. Devido ao desempenho mundialmente comprovado, principalmente em concreto, desenvolveu-se a argamassa com adição de sílica ativa para o emprego em reparos estruturais, visto que as mesmas deveriam atender exigências tais como: adequada resistência mecânica, durabilidade, baixo custo e facilidade de execução.

BERRA et al. (1989) investigaram o uso de sílica ativa para melhorar a resistência à erosão de argamassas de cimento usadas em reparos de estruturas hidráulicas. Concluíram que a adição de 15% de sílica ativa combinada com o uso de aditivo superplastificante resultou na densificação da matriz de cimento e, conseqüentemente, em melhoria de todas as propriedades estudadas, tais como: resistência mecânica, retração, resistência a ciclos de congelamento e descongelamento e resistência à erosão.

¹⁸ Neste trabalho considera-se a sílica ativa, quando presente em argamassas e concretos, na fração aglomerante.

No Brasil, as referências encontradas indicam o uso de sílica ativa tanto em argamassas para reparos como para reforços. TARALLO JR. et al. (1994) utilizaram argamassa de cimento e areia com adição de 10% de sílica ativa, em substituição às resinas epoxídicas tradicionalmente empregadas, para reparos em vertedouros de barragens. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, em ensaios que avaliaram a resistência à compressão, a resistência à abrasão e a adesividade ao concreto antigo.

CARNEIRO et al. (1996) empregaram com sucesso argamassa com adição de 10% de sílica ativa, para reparos de vertedouros de barragens. GOULART NETO et al. (1995) e SILVA FILHO et al. (1996) também colocam o uso de argamassas com adição de 10% de sílica ativa para reparos em estruturas expostas a ambientes agressivos, com a obtenção de bons resultados. Entretanto, HERNÁNDEZ et al. (1999) afirmam que a adição de 15% de sílica ativa apresentou os melhores resultados técnicos e econômicos, em diversos ensaios físico-mecânicos e eletroquímicos, durante estudo realizado com diferentes argamassas para reparos em estruturas de concreto armado expostas a ambientes agressivos.

Uma pesquisa sobre argamassa com adição de sílica ativa para utilização em reparos e reforços estruturais foi desenvolvida na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a partir de um projeto universidade-empresa. Dentro deste convênio, realizou-se trabalhos (SCHULER, 1998; KULAKOWSKI, 1994) que avaliaram as argamassas sob alguns aspectos de durabilidade e desempenho como material para reparos e reforços estruturais. De acordo com estas pesquisas, a adição de sílica ativa proporcionou efeitos muito benéficos nas propriedades relacionadas com a durabilidade, sendo que nas propriedades mecânicas seus efeitos nem sempre manifestaram-se de forma significativa e uniforme. Entretanto, obtém-se melhores resultados para teores de sílica ativa até 10%, principalmente para relações água/aglomerante baixas, onde o aumento da relação água/aglomerante resulta em aumento da influência da sílica ativa sobre a permeabilidade.

SCHULER (1998) realizou ensaios que caracterizaram algumas propriedades mecânicas e de durabilidade, em argamassas de cimento e areia, com relações água/aglomerante de 0,35 e 0,55 e com teores de adição de sílica ativa iguais a 0%, 5%, 10% e 20%, em relação à massa de cimento. Concluiu que o efeito benéfico da adição nem sempre apresentou-se de maneira uniforme nas propriedades mecânicas, sendo menos evidente na resistência à compressão e na resistência ao cisalhamento com compressão, mas significativo na resistência à tração. Entretanto, as resistências encontradas foram consideradas adequadas para a maioria dos casos de reparos e reforços estruturais. Ainda segundo a autora, os

resultados encontrados para os aspectos relacionados com a durabilidade, através de indicativos indiretos da porosidade e permeabilidade, colocam a argamassa com sílica ativa como um material viável para o emprego em reparos ou reforços. As argamassas aditivadas apresentaram baixa permeabilidade ao gás carbônico e à água, assim como reduzida difusibilidade a íons agressivos, os quais foram constatados através de baixas profundidades carbonatadas após 180 dias e significativa redução no processo de corrosão das armaduras.

KULAKOWSKI (1994) avaliou o comportamento de argamassas com adição de sílica ativa com relação à durabilidade, através da resistência à penetração de íons cloreto, mediante ensaio acelerado. Foram analisadas argamassas de cimento e areia, com relações água/aglomerante de 0,35, 0,45 e 0,55, assim como teores de sílica ativa iguais a 0%, 5%, 10% e 15%. Para as argamassas com relações água/aglomerante iguais a 0,35 e 0,45 utilizou-se também um aditivo superplastificante. Conclui que, qualitativamente, as argamassas com adição de sílica ativa apresentaram bom comportamento frente à penetração de cloretos, com efeito mais significativo para as relações água/aglomerante mais elevadas. Outro aspecto constatado é que mesmo sendo a resistência à compressão regida pela relação água/aglomerante, pode-se especular que a adição de um teor ótimo de sílica ativa possa elevar de 10% a 20% o valor desta propriedade.

Os trabalhos que avaliam a influência da sílica ativa em argamassas para assentamento e revestimento são muito menos comuns do que as pesquisas em argamassas para reparos estruturais. Porém, as referências encontradas indicam uma tendência de melhoria em algumas propriedades de interesse para os revestimentos.

Deste modo, JUNG (1988) constatou que a substituição de 10% da massa de cimento por sílica ativa resultou, de um modo geral, em melhoria das resistências de aderência à tração e ao cisalhamento, aos 28 dias de idade, além de apresentar características semelhantes à argamassa de referência no estado fresco. Os ensaios foram realizados em argamassas de cimento, cal e areia (1:0,1:4, em volume), aplicadas em diferentes tipos de tijolos cerâmicos.

MÜLLER (1999) avaliou os efeitos da utilização de sílica ativa em argamassas de assentamento. Realizou um estudo comparativo entre a argamassa de cimento, cal e areia (1:1:6, em volume), com relação água/cimento igual a 1,85, e argamassas com substituição de 10% e 20% do volume de cimento por sílica ativa, onde a cura foi realizada ao ar, com temperatura variando de 20°C a 28°C. Os ensaios avaliaram a trabalhabilidade, resistências à compressão e à tração, módulo de deformação e coeficiente de Poisson, onde foi constatado que as argamassas com sílica ativa alcançaram melhor desempenho nas resistências

mecânicas, tanto aos 7 como aos 28 dias de idade. Entretanto, houve redução na trabalhabilidade e na capacidade de deformação das argamassas com o aumento do teor de sílica ativa.

A maior eficiência do uso de sílica ativa depende principalmente de sua composição química e mineralógica, do grau de vitrificação e do tamanho de suas partículas. A maioria dos trabalhos recomenda o uso de até 10% de adição, em relação à massa de cimento, principalmente para elevadas relações água/aglomerante, com o objetivo de otimizar características e propriedades de argamassas para reparos e reforços estruturais, tais como resistências mecânicas, permeabilidade e facilidade de execução. Com base nestas referências, e observando as possibilidades de utilização da sílica ativa em argamassas, principalmente pelos efeitos benéficos em várias de suas propriedades, considera-se que argamassas para revestimentos externos poderiam ter melhor desempenho com adição de sílica ativa.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Esta pesquisa apresenta como tema um estudo sobre argamassas utilizadas para revestimentos externos, na cidade de Belém - PA. Para atingir os objetivos propostos, foram realizados diversos estudos em campo e em laboratório.

O programa experimental constituiu-se de duas fases distintas. Na primeira fase, realizou-se uma pesquisa exploratória em empresas de construção civil, por meio de um levantamento, com o objetivo de identificar os materiais e os traços mais utilizados para argamassas de revestimento externo em Belém - PA. A partir destes resultados, foi desenvolvida a segunda fase, onde foram realizados diversos ensaios em laboratório, utilizando-se argamassas com saibro e com aditivos químicos, com e sem a adição de sílica ativa.

3.1 MÉTODO PARA A EXECUÇÃO DO LEVANTAMENTO

Para identificar os materiais e os traços mais utilizados para argamassas de revestimento externo em Belém, optou-se por realizar um levantamento, por meio de um questionário de respostas abertas, conforme demonstrado no anexo A, aplicado na forma de entrevista pessoal com engenheiros responsáveis pelo setor técnico de empresas de construção civil. O questionário foi elaborado visando obter também informações sobre o desempenho das argamassas empregadas, bem como outras informações complementares, com o objetivo de caracterizar as empresas e seus respectivos empreendimentos realizados.

As empresas participantes da pesquisa não representavam uma tipologia única, onde a caracterização das empresas pesquisadas é mostrada na tabela 3.1. Foram utilizados os seguintes critérios, para definir o universo das empresas que forneceriam as informações necessárias para o desenvolvimento deste estudo:

- a) Critérios de caráter obrigatório
 - executar obras residenciais, com pelo menos cinco pavimentos e com padrão de acabamento alto ou normal;
 - executar obras com a utilização de argamassas para revestimento produzidas no canteiro.

b) Critério de caráter facultativo

- possuir pelo menos uma obra em fase de execução do revestimento externo.

Tabela 3.1 Caracterização das empresas participantes da pesquisa exploratória.

Empres a	*Tempo de existênci a (anos)	Classificaçã o SEBRAE		Faixas de faturamento anual			**Atividades desenvolvidas			N° de pavimentos (média das obras construídas)
		PE	ME	1	2	3	A	B	C	
A	12		X			**X	X		X	16
B	10		X		**X		X		X	7 a 18
C	33	X			**X		X			13 a 15
D	22		X			**X	X		X	20
E	16	X		*X					X	12 a 28
F	30	X		*X			X		X	14
G	14	X			**X				X	20

* Dados obtidos do SEBRAE (1999).

** Dados obtidos de NASCIMENTO (1999).

A classificação das empresas seguiu os critérios do SEBRAE (1996), conforme segue:

- PE = pequenas empresas, possuindo de 20 a 99 funcionários;
- ME = médias empresas, possuindo de 100 a 499 funcionários.

Com relação ao faturamento anual, dividiu-se as empresas por faixas de faturamento, segundo a classificação feita por NASCIMENTO (1999):

- faixa 1 = faturamento inferior a R\$ 3.000.000,00;
- faixa 2 = faturamento de R\$ 3.000.000,00 até R\$ 10.000.000,00;
- faixa 3 = faturamento acima de R\$ 10.000.000,00.

Quanto às atividades desenvolvidas pelas empresas, realizou-se a seguinte classificação, também de acordo com NASCIMENTO (1999):

- categoria A = prestação de serviços de construção civil a terceiros;
- categoria B = prestação de serviços a terceiros¹⁹;
- categoria C = construção e incorporação de unidades residenciais e/ou comerciais.

Com relação à utilização dos dados obtidos por NASCIMENTO (1999) e SEBRAE (1999), considerou-se os mesmos adequados e atualizados, visto que dentro do período de um

¹⁹ Diferenciada da categoria anterior por estar relacionada aos demais serviços, tais como subcontratação e administração de empreendimentos, entre outros.

ano, dificilmente as empresas mudariam de faixa de faturamento ou de categoria de prestação de serviços.

Após a aplicação do questionário nas empresas, observou-se que, das sete empresas pesquisadas, apenas a empresa C executava revestimento interno e externo em argamassa de cimento, areia e saibro. A empresa A, no momento de realização do levantamento, executava empreendimentos com revestimento interno em argamassa de cimento, saibro e areia, porém os revestimentos externos eram todos em cerâmica. A empresa D executava somente um empreendimento com revestimento externo predominantemente em cerâmica e o restante em argamassa, contudo, em vez de saibro utilizava aditivo plastificante para todos os tipos de argamassa. Portanto, foi necessário resgatar nas antigas especificações das empresas A e D os traços utilizados em argamassas com saibro, para revestimentos externos.

No anexo A são apresentados todos os resultados obtidos durante o levantamento realizado, bem como os resultados somente das empresas A, C e D. A natureza e a proporção dos materiais constituintes dos traços utilizados por estas empresas, em argamassas para revestimento externo, constam na tabela 3.2.

Tabela 3.2 Argamassas para revestimento externo – traços em volume.

Empresa	Materiais				
	cimento	tipo cimento	saibro	areia	aditivos
D	1 saco 50 kg	CP II - Z RS	-	5 pad. 36 l	*110 ml
D	1 saco 50 kg	CP II - Z RS	1 pad. 36 l	5 pad. 36 l	-
C	1 saco 50 kg	CP II - F	1 pad. 43 l	6 pad. 43 l	**1 l
C	1 saco 50 kg	CP II - F	2 pad. 43 l	5 pad. 43 l	**1 l
A	1 saco 50 kg	CP II - F	-	6 pad. 36 l	*500 ml

* aditivo plastificante

** aditivo impermeabilizante

Os aditivos plastificantes usados pelas empresas A e D são de fabricantes distintos. Através do levantamento realizado, identificou-se o aditivo empregado pela empresa A como o mais utilizado dentro do universo das empresas pesquisadas, desta forma optou-se por empregar este mesmo aditivo no decorrer do trabalho.

3.2 MÉTODO PARA A EXECUÇÃO DOS ENSAIOS

Esta fase do programa experimental tem por objetivo avaliar o desempenho das argamassas para revestimento, por meio de ensaios de laboratório. Quanto aos critérios de desempenho que foram avaliados, os mesmos podem ser resumidos em dois grupos de propriedades: resistência mecânica e permeabilidade.

Foram estudadas argamassas tanto no estado fresco como no estado endurecido. Para as argamassas no estado fresco, foram realizados ensaios de consistência, retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado, assim como também foi calculado o consumo de materiais por m³.

As argamassas no estado endurecido foram caracterizadas quanto à resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, absorção de água por imersão, massa específica, porosidade aparente e absorção de água por capilaridade.

A seguir, descreve-se sucintamente as características dos materiais constituintes, a escolha e a conversão dos traços em volume para massa, o procedimento para a produção das argamassas e os métodos de ensaio adotados, sendo que a análise dos resultados obtidos é feita no capítulo 4.

3.2.1 Caracterização dos materiais

3.2.1.1 Cimento Portland

Para a produção das argamassas, considerou-se a predominância da utilização dos tipos de cimento CP II - Z 32, denominado cimento A e CP II - Z 32 RS, denominado cimento B, provenientes de duas empresas distintas. Este fato foi constatado através de contato pessoal com o setor de vendas das empresas fabricantes. O material foi adquirido em sacos de 50 kg, provenientes de um mesmo lote de fabricação.

As características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos, com as respectivas especificações da NBR 11578 (ABNT, 1991), constam na tabela 3.3. Estes dados foram fornecidos pelos fabricantes, com exceção da massa específica e da resistência à compressão, que foram determinados nos laboratórios da UFRGS, conforme as prescrições da NBR 6474 (ABNT, 1984) e da NBR 7215 (ABNT, 1996), respectivamente.

Tabela 3.3 Características químicas, físicas e mecânicas dos cimentos utilizados.

Características	Determinações		Resultados obtidos		Especificações da NBR 11578
			cimento A CP II-Z	cimento B CP II-Z RS	
Químicas	Composição potencial do clínquer	C ₃ S	68,33 %	58,8 %	-
		C ₂ S	5,02 %	15 %	-
		C ₃ A	9,0 %	7,1 %	-
		C ₄ AF	9,07 %	10,4 %	-
		CaSO ₄	-		-
	Resíduo insolúvel		12,91 %	11,14 %	≤ 16 %
	Perda ao fogo		3,82 %	5,54 %	≤ 6,5 %
	Óxido de magnésio (MgO)		3,25 %	2,71 %	≤ 6,5 %
	Trióxido de enxofre (SO ₃)		3,42 %	3,11 %	≤ 4 %
	Anidrido carbônico (CO ₂)		-		≤ 5 %
Físicas	Finura	Resíduo na peneira 75 µm	2,3 %	1,4 %	≤ 12 %
		Área específica	560,5 m ² /kg	456 m ² /kg	≥ 260 m ² /kg
	Massa específica		2,99 kg/dm ³	2,92 kg/dm ³	-
	Início de pega		2:35 h	2 h	≥ 1 h
Fim de pega		4:15 h	3:10 h	≤ 10 h	
Mecânicas	Resistência à compressão	3 dias	18,9 MPa	17,5 MPa	≥ 10 MPa
		7 dias	32,9 MPa	24,3 MPa	≥ 20 MPa
		28 dias	38,0 MPa	35,7 MPa	≥ 32 MPa

De acordo com a tabela 3.3, observa-se que as amostras atenderam às prescrições da NBR 11578 (ABNT, 1991), assim como os valores de resistência à compressão dos cimentos foram bastante superiores aos especificados para os cimentos da classe 32.

3.2.1.2 Agregado miúdo

De acordo com BARATA (1998), a areia normalmente comercializada em Belém provém de municípios e distritos vizinhos, compreendidos dentro de um raio aproximadamente igual a 80 km. Desta forma, utilizou-se neste trabalho areia quartzosa proveniente de jazidas do município de Santo Antônio do Tauá, distante 60 km de Belém. Os ensaios de caracterização deste material foram realizados em amostra representativa, retirada de acordo com as recomendações da NBR 7216 (ABNT, 1987). Os valores médios obtidos são apresentados na tabela 3.4, sendo que a representação gráfica da distribuição granulométrica consta na figura 3.1.

Para a determinação da massa unitária seguiu-se o procedimento descrito na NBR 12004 (ABNT, 1990), em vez do procedimento tradicional da NBR 7251 (ABNT, 1982), visto que este seria um dos métodos mais indicados para a determinação desta propriedade, em areias a serem empregadas na produção de argamassas (CINCOTTO e CARNEIRO, 1999). O procedimento consiste em depositar o material num recipiente de dimensões constantes e conhecidas, através de um funil em posição vertical. O funil é movimentado da borda para o centro e vice-versa, de modo a manter uma altura de queda constante, na ordem de 10 mm, evitando-se que o funil encoste no material já depositado. O valor considerado resulta da média de três determinações.

Tabela 3.4 Características do agregado miúdo – areia.

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7217	ABNT (mm)	individual	acumulada
		4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	0	0
		0,6	4	4
		0,3	28	32
		0,15	56	88
		0,075	8	96
		< 0,075	4	100
DMC	NBR 7217	0,6 mm		
Módulo de finura	NBR 7217	1,24		
Massa específica	NBR 9776	2,64 kg/dm ³		
Massa unitária	NBR 12004	1,57 kg/dm ³		
Torrões de argila	NBR 7218	-		
Materiais pulverulentos	NBR 7219	7,3 %		
Impurezas orgânicas	NBR 7220	> 300 p. p. m.		
Umidade crítica	NBR 6467	2,5 %		
Coefficiente médio de inchamento	NBR 6467	1,53		

DMC = Dimensão máxima característica.

Como o teor de impurezas orgânicas esteve acima do aceitável, foi realizado o ensaio de qualidade da areia, conforme a NBR 7221 (ABNT, 1987). A resistência à compressão da argamassa com a areia contaminada alcançou 81,4%, 82,9% e 84,7%, aos 3, 7 e 28 dias, respectivamente, dos valores obtidos na argamassa com areia lavada.

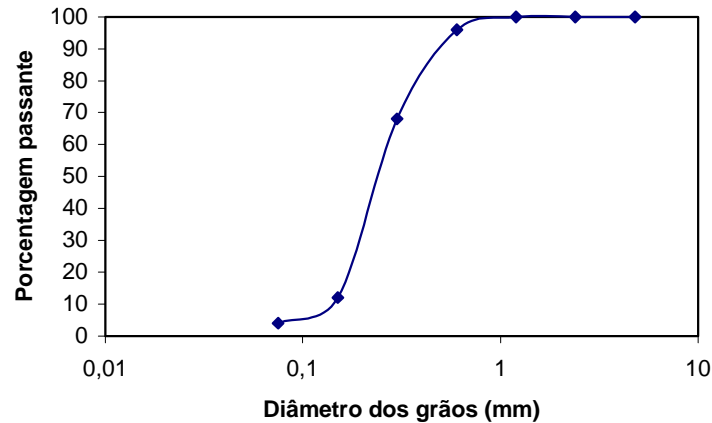


Figura 3.1 Distribuição granulométrica da areia.

De acordo com a composição granulométrica indicada na tabela 3.4, observa-se que a areia normalmente empregada em Belém é muito uniforme, pois apresenta grande concentração de grãos em apenas duas faixas granulométricas, além de ser muito fina, segundo a classificação apresentada na NBR 7211 (ABNT, 1983). Ainda segundo esta norma, o teor de material pulverulento deveria ser inferior a 5%, entretanto admite-se o uso de areias para argamassas com teores acima deste valor (GOMES, 2000).

Todas estas características peculiares do tipo de areia disponível e usada nesta região (elevada finura e uniformidade dos grãos, bem como elevado teor de material orgânico e pulverulento) devem-se principalmente à origem deste material, visto que as jazidas de areia existentes são o resultado dos processos de lixiviação e intemperismo contínuo atuantes nas jazidas de saibro.

3.2.1.3 Saibro

Existem diversas jazidas de saibro, não só na região metropolitana de Belém, mas também nos seus arredores. Entretanto, realizou-se um levantamento junto aos principais fornecedores de materiais de construção, com o objetivo de verificar a procedência do tipo de saibro mais utilizado na cidade, identificando-se desta forma uma jazida no município de Marituba, distante 17 km da cidade de Belém, atualmente responsável pela maior parte do fornecimento de saibro para esta cidade. Segundo o proprietário desta jazida, ocorre uma extração diária de material em torno de 600 m³.

Considerando-se que esta é a jazida mais representativa, foram coletadas amostras de saibro para os ensaios de caracterização do material e posterior utilização nas argamassas em

estudo. Para a caracterização do material existente numa jazida, deve-se fazer uma amostragem extensiva, conforme a descrição de SANTOS (1989), visto que este tipo de amostragem permite verificar a variabilidade das propriedades e a cubagem em grandes áreas. Entretanto, os custos e o tempo necessários para a realização desta amostragem inviabilizaram a execução deste procedimento.

Deste modo, tendo como objetivo minimizar os efeitos da variabilidade do saibro, foi adotado como procedimento para a coleta do material a retirada de amostras em seis pontos diferentes da jazida, durante a extração do material para comercialização, ao longo de um dia de produção. A formação do lote que foi utilizado para a execução das argamassas constituiu-se da homogeneização, quarteamento e redução das amostras retiradas nos vários pontos da jazida.

Retirou-se uma amostra do lote para a realização dos ensaios de caracterização, conforme indicado na tabela 3.5, sendo que a representação gráfica da distribuição granulométrica consta na figura 3.2. Os dados da granulometria referem-se ao material após dispersão em solução de hexametáfosfato de sódio. Para a determinação da massa unitária realizou-se o mesmo procedimento descrito para a areia, de acordo com a NBR 12004 (ABNT, 1990).

Tabela 3.5 Características físicas do saibro utilizado.

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7181	ABNT (mm)	individual	acumulada
		4,8	0	0
		2	0	0
		0,84	1	1
		0,6	2	3
		0,42	8	11
		0,25	16	27
		0,15	28	55
		0,075	11	66
		< 0,075	34	100
Massa específica	NBR 6508	2,69 kg/dm ³		
Massa unitária	NBR 12004	1,31 kg/dm ³		
Limite de liquidez	NBR 6459	23 %		
Limite de plasticidade	NBR 7180	14 %		
Índice de plasticidade	NBR 7180	9 %		

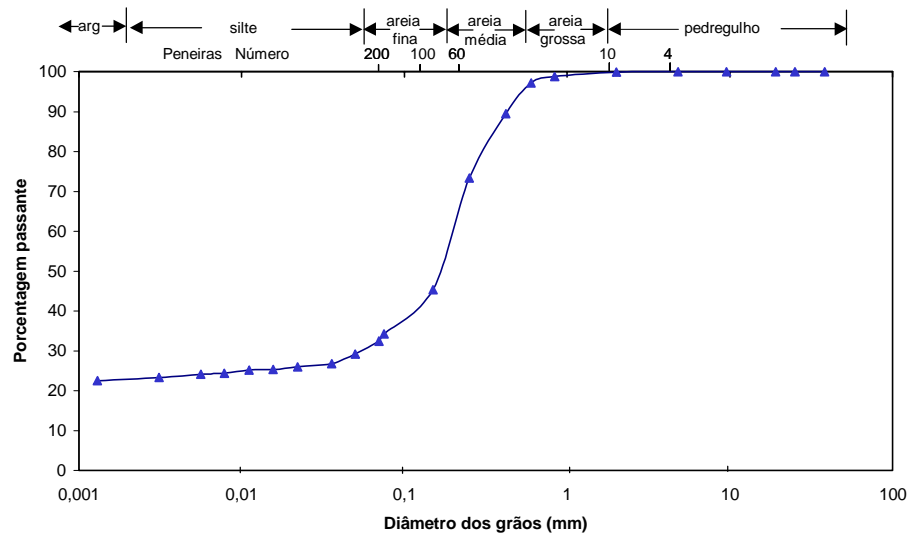


Figura 3.2 Distribuição granulométrica do saibro.

A granulometria das partículas de dimensões inferiores a 0,075 mm foi realizada por sedimentação, conforme a NBR 7181 (ABNT, 1984), também com o uso de solução de hexametafosfato de sódio como agente dispersante, onde os resultados obtidos encontram-se no anexo B. De acordo com esta distribuição granulométrica, o saibro constitui-se de 69% de areia, 8% de silte e 23% de argila, de acordo com as especificações da NBR 6502 (ABNT, 1995), também representada graficamente na figura 3.2. Esta classificação é utilizada na área de solos e de geotecnia, a qual difere da classificação para agregados constante na NBR 7211 (ABNT, 1983), sendo adotada neste trabalho devido à natureza do material. Segundo o gráfico de plasticidade de Casagrande, este saibro é considerado um solo sem coesão.

A análise mineralógica foi avaliada somente pela difratometria de raios-x, realizada no laboratório de Geociências da UFRGS, indicando a presença de quartzo e caulinita, conforme a figura 3.3, estando de acordo com COSTA et al. (1991), descrito no item 2.2.5.1.1. Esperava-se encontrar também traços de hematita (Fe_2O_3) ou Al-goethita devido à coloração amarelada do material, porém pode-se justificar este fato pelas limitações do método de ensaio, o qual identifica os minerais presentes em quantidades superiores a aproximadamente 5% da amostra.

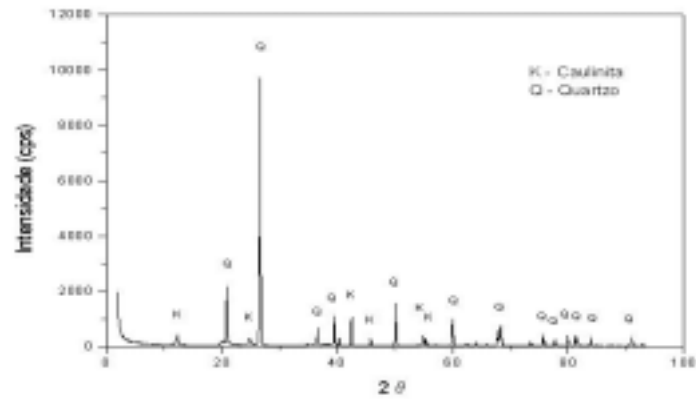


Figura 3.3 Difratograma de raios-x da amostra de saibro.

Adicionalmente, determinou-se também a granulometria das misturas saibro-areia utilizadas nos traços T1, T2 e T3 indicados na tabela 3.7, conforme a NBR 7217 (ABNT, 1987), cujos resultados se encontram no anexo B. A figura 3.4 indica a representação gráfica, em comparação com as granulometrias do saibro e da areia, para melhor visualização das alterações que podem ocorrer ao se considerar estes agregados em conjunto.

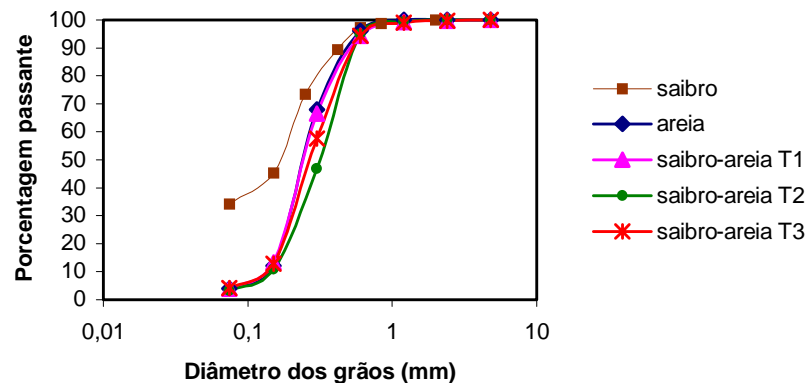


Figura 3.4 Comparação entre as distribuições granulométricas das misturas saibro-areia, do saibro e da areia.

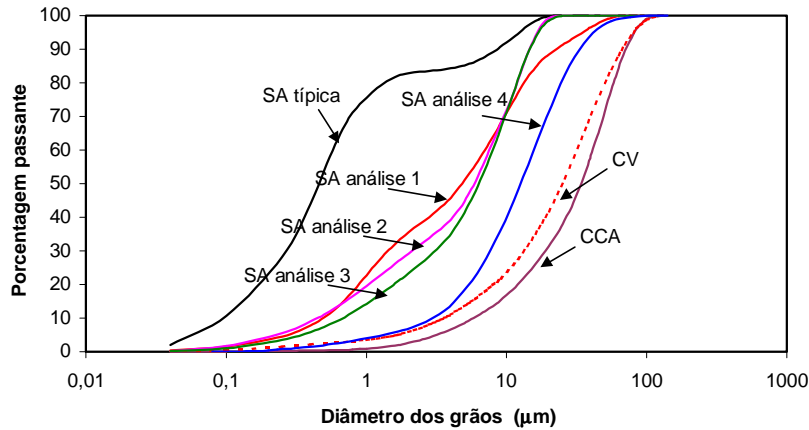
3.2.1.4 Sílica ativa

Utilizou-se sílica ativa proveniente de uma fábrica de silício metálico, localizada em Tucuruí – PA, do tipo não densificada, fornecida na forma de pó e de fácil obtenção em qualquer lugar do país, sendo adquirida em saco de 15 kg. As características químicas e físicas constam na tabela 3.6, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 3.6 Características químicas e físicas da sílica ativa utilizada.

Características	Determinações	Valores
Químicas	SiO ₂	95,1 %
	Fe ₂ O ₃	0,10 %
	CaO	0,24 %
	Al ₂ O ₃	0,09 %
	MgO	0,44 %
	Na ₂ O	0,22 %
	K ₂ O	0,93 %
	Perda ao fogo	2,32 %
Físicas	Massa específica	2,2 kg/dm ³
	Superfície específica	14,2 m ² /g
	Umidade	0,67 %
	Densidade	0,40
	pH	8,48

Com relação à distribuição granulométrica das partículas, foi realizada análise através do granulômetro a laser, inicialmente no Laboratório de Processamento Mineral da UFRGS. Obteve-se um diâmetro médio igual a 4,81 µm (análise 1). Como não se encontra este valor na literatura, foi solicitada uma nova análise, no mesmo laboratório e com o mesmo agente dispersante, ou seja, hexametáfosfato de sódio, obtendo-se 5,88 µm (análise 2). Então, outra análise foi feita, desta vez usando-se um aditivo superplastificante como dispersante, resultando em diâmetro médio igual a 6,34 µm (análise 3). Assim, mais uma análise foi feita em São Paulo, no Laboratório L. A. Falcão Bauer, obtendo-se aproximadamente 13 µm como diâmetro médio (análise 4), não havendo referência ao tipo de dispersante utilizado. Estas análises constam na figura 3.5, em conjunto com as granulometrias da cinza de casca de arroz e da cinza volante, bem como com a granulometria característica da sílica ativa, conforme as referências de ABREU (1998).



Observações:

SA – Sílica ativa

CCA – Cinza de casca de arroz

CV – Cinza volante

Figura 3.5 Comparação da distribuição granulométrica da sílica ativa utilizada com outras pozolanas.

De acordo com a figura 3.5, observa-se que mesmo não apresentando uma granulometria típica, a sílica ativa utilizada ainda se encontra dentro da faixa granulométrica das pozolanas normalmente utilizadas. Porém, esta situação indica que a sílica ativa pode perder parte de sua eficiência, principalmente na ação física observada em argamassas e concretos, devido ao efeito microfíler, conforme descrito no item 2.2.4.1.2.

3.2.1.5 Aditivo

Conforme citado no item 3.1, foi selecionado o aditivo incorporador de ar mais utilizado pelas empresas, de acordo com os resultados da pesquisa exploratória, sendo de fabricação nacional e de composição organo-sintética, ou seja, os componentes ativos básicos são resíduos da destilação de resina de pinho e resina de breu, segundo o fabricante. O produto é comercializado na forma líquida, com massa específica igual a 1,0 kg/dm³ e o fabricante recomenda o uso de 200 ml do produto para cada 50 kg de cimento. Porém, durante a pesquisa exploratória, observou-se certa variação na dosagem utilizada, sendo adotado neste trabalho o consumo de 400 ml de aditivo para cada 50 kg de cimento, correspondente a 0,8% da massa de cimento.

3.2.2 Conversão dos traços em volume para massa e determinação dos traços estudados

Através dos resultados obtidos pelo questionário, identificou-se cinco diferentes traços de argamassas para revestimento externo, utilizados em três empresas. Para a determinação dos traços a serem estudados, partiu-se dos três traços da tabela 3.2 contendo saibro, sem o uso de qualquer tipo de aditivo. Visto que estes traços estão em volume, primeiramente foram convertidos para massa, de modo a evitar a introdução de mais variáveis não-controláveis no estudo experimental. Os dados obtidos estão relacionados na tabela 3.7.

Tabela 3.7 Determinação dos traços em massa a serem estudados.

Traço	Traço em volume			Traço em massa		
	cimento	saibro	areia	cimento	saibro	areia
T1	1 saco 50 kg	1 pad. 36 l	5 pad. 36 l	1	0,64	3,69
T2	1 saco 50 kg	1 pad. 43 l	6 pad. 43 l	1	0,76	5,29
T3	1 saco 50 kg	2 pad. 43 l	5 pad. 43 l	1	1,52	4,41

Em seguida, o traço mais rico, ou seja, T1, foi escolhido como o traço de referência, visto que o teor de aglomerante igual a 23%, em relação ao agregado, encontra-se dentro dos valores usuais para argamassas. Como um dos objetivos do trabalho é verificar o desempenho de argamassas com adição de sílica ativa, o traço T4 foi determinado como sendo o traço T1 mais a adição de 10% de sílica ativa, em relação à massa de cimento.

Visto que também identificou-se um tipo de aditivo incorporador de ar como o produto mais utilizado em substituição ao saibro, o traço T5 constituiu-se em mais uma modificação ao traço T1, ou seja, retirou-se o saibro e adicionou-se a quantidade de aditivo correspondente à utilizada pelas empresas pesquisadas. O traço T6 constituiu-se do traço T5 mais a adição de 10% de sílica ativa, em relação à massa de cimento.

A tabela 3.8 indica a proporção das argamassas estudadas, em massa.

Tabela 3.8 Traços utilizados para o estudo das argamassas – em massa.

Traço	Materiais				
	cimento	saibro	areia	aditivo	sílica ativa*
T1	1	0,64	3,69	-	-
T2	1	0,76	5,29	-	-
T3	1	1,52	4,41	-	-
T4	1	0,64	3,69	-	10 %
T5	1	-	3,69	400ml/sc cim	-
T6	1	-	3,69	400ml/sc cim	10 %

* Percentual em massa, com relação ao cimento.

Os traços executados com adição de 10% de sílica ativa não são de uso comum em Belém, porém foram realizados como uma contribuição ao meio técnico, na busca de alternativas para melhorar o desempenho das argamassas utilizadas nesta cidade. Optou-se pelo teor de adição de sílica ativa igual a 10% porque, segundo diversos estudos na área de tecnologia do concreto e em argamassas para reparos e reforços estruturais, este teor é considerado como o ideal para otimizar seu uso.

3.2.3 Produção das argamassas e preparo dos corpos-de-prova

Após a determinação dos traços a serem executados e da seleção dos materiais a serem utilizados, passou-se à produção das argamassas e ao preparo dos corpos-de-prova. O desenvolvimento desta fase do programa experimental foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Pará.

As argamassas foram produzidas em argamassadeira, com capacidade nominal aproximada de 5 dm³, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). O índice de consistência foi pré-estabelecido em 265 ± 15 mm. Desta forma, determinou-se previamente o gráfico com a relação índice de consistência versus relação água/aglomerante, com o objetivo de determinar a quantidade de água necessária para atingir o índice desejado.

Para a obtenção deste gráfico, foram realizadas quatro misturas para cada um dos traços em estudo, sendo geralmente adicionado à primeira mistura uma quantidade de água correspondente a uma relação água/aglomerante igual a 1,0, sendo em seguida obtido o índice de consistência por deformação da argamassa na mesa de consistência, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). A próxima mistura era realizada com uma quantidade maior ou menor de água, de acordo com o resultado anterior, obtendo-se novo espalhamento, de maneira a serem obtidos, preferencialmente, dois valores abaixo e dois valores acima de 265 mm. Repetiu-se este procedimento até a obtenção de 4 pontos.

Após a definição dos traços em massa e da relação água/aglomerante, determinou-se as quantidades de materiais para a produção de um volume igual a 4 dm³ de argamassa, sendo realizado 3 repetições para cada traço, totalizando um volume igual a 12 dm³, o qual seria suficiente para a realização dos ensaios no estado fresco e para a moldagem dos corpos-de-prova. A ordem de mistura dos materiais na argamassadeira foi a seguinte:

- a) colocação da água, seguida pelo cimento, sendo então ligada a argamassadeira por 30 segundos em velocidade baixa;

- b) durante os próximos 30 segundos, adição da mistura previamente preparada de areia + saibro, seguida de mistura durante mais 30 segundos com velocidade média;
- c) repouso da mistura por 90 segundos, quando a argamassadeira permaneceu coberta por um pano úmido, seguido de nova mistura por mais 60 segundos em velocidade média.

Nos traços em que a sílica ativa foi utilizada, sua adição foi realizada logo após a colocação do cimento, assim como o aditivo incorporador de ar foi diluído na água de amassamento, de acordo com as recomendações do fabricante.

Após a execução das argamassas, determinava-se o índice de consistência para verificar se o valor obtido encontrava-se dentro da faixa pré-determinada, realizando-se em seguida os ensaios no estado fresco e a moldagem dos corpos-de-prova.

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, para a execução dos ensaios na argamassa no estado endurecido, foi realizada de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1995). Após a moldagem, os corpos-de-prova foram curados ao ar durante 20 a 24 horas, sendo retirados das formas após este período e colocados em imersão num tanque com água saturada de cal. A tabela 3.9 indica algumas características das argamassas estudadas, inclusive o consumo de materiais por m³.

Tabela 3.9 Características e consumo de materiais por m³ das argamassas.

Traço em massa (c:s:a)*		Características										
		Relações					Consumos					
		agr/agl (kg/kg)	a/agl (kg/kg)	a/matsec (kg/kg)	agl/agr (kg/kg)	saib/areia (kg/kg)	cim (kg/m ³)	saibro (kg/m ³)	areia (kg/m ³)	sílica ativa	aditivo (ml/m ³)	água (kg/m ³)
T1-A	1:0,64:3,69	4,33	1,104	0,208	0,23	0,173	316	202	1164	-	-	363,22
T2-A	1:0,76:5,29	6,05	1,46	0,207	0,17	0,144	238	181	1257	-	-	363,54
T3-A	1:1,52:4,41	5,93	1,52	0,219	0,17	0,345	237	360	1046	-	-	375,44
T4-A	1:0,64:3,69	3,94	1,09	0,221	0,25	0,173	312	200	1153	31,2	-	359,70
T5-A	1:0,0:3,69	3,69	0,89	0,190	0,27	-	332	-	1224	-	2656	343,54
T6-A	1:0,0:3,69	3,35	0,86	0,197	0,30	-	330	-	1217	33,0	2640	335,40
T1-B	1:0,64:3,69	4,33	1,05	0,197	0,23	0,173	320	205	1182	-	-	350,70
T2-B	1:0,76:5,29	6,05	1,36	0,193	0,17	0,144	243	185	1286	-	-	345,44
T3-B	1:1,52:4,41	5,93	1,51	0,217	0,17	0,345	237	361	1046	-	-	372,97
T4-B	1:0,64:3,69	3,94	1,00	0,203	0,25	0,173	321	205	1184	32,1	-	339,00
T5-B	1:0,0:3,69	3,69	0,85	0,181	0,27	-	305	-	1125	-	2440	332,35
T6-B	1:0,0:3,69	3,35	0,87	0,200	0,30	-	324	-	1195	32,4	2592	337,56

Para o cálculo do consumo de cimento utilizou-se teor de ar igual a 3%, para as argamassas com saibro. Nas demais argamassas utilizou-se o teor de ar indicado na tabela 3.10.

* c – cimento s – saibro a – areia

3.2.4 Propriedades estudadas e métodos de ensaio adotados

3.2.4.1 Ensaio com a argamassa no estado fresco

Nesta etapa, foram determinadas a capacidade de retenção de água, executada através da sucção de água com papel filtro, de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 1995), assim como a massa específica, realizada pelo método gravimétrico conforme a NBR 13278 (ABNT, 1995). Para as argamassas com aditivo incorporador de ar, o teor de ar também foi determinado segundo a NBR 13278 (ABNT, 1995), onde os valores médios encontrados constam na tabela 3.10. No anexo B encontram-se todos os resultados obtidos nestes ensaios, sendo utilizada a média de duas determinações para a retenção de água e a média de três determinações para o ensaio de massa específica e teor de ar incorporado.

Tabela 3.10 Teor de ar das argamassas com aditivo incorporador de ar no estado fresco.

Traço	Teor de ar incorporado (%)
T5-A	13
T6-A	13
T5-B	21
T6-B	14

3.2.4.2 Ensaio com a argamassa no estado endurecido

Nesta etapa todos os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade, onde os resultados obtidos encontram-se no anexo B. Para a execução dos ensaios mecânicos, os corpos-de-prova foram retirados do tanque na véspera da data do ensaio, sendo que os corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão foram capeados no mesmo dia de realização do ensaio.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 1995) e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado segundo a NBR 7222 (ABNT, 1994). Para a resistência à tração utilizou-se os mesmos critérios para a determinação da resistência média descritos na NBR 13279 (ABNT, 1995). Ambos os ensaios foram realizados em uma prensa universal AMSLER, com capacidade de carregamento de 10 tf.

Para o ensaio de absorção de água por imersão, onde também são determinadas a massa específica e a porosidade aparente, de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 1987), os

corpos-de-prova também foram retirados do tanque aos 27 dias de idade, os quais eram colocados no 28º dia na estufa durante 72 horas ou até a constância de massa, para o início da execução do ensaio.

No ensaio de absorção de água por capilaridade também houve a necessidade de secagem prévia dos corpos-de-prova, onde realizou-se o mesmo procedimento descrito para o ensaio de absorção de água por imersão. O ensaio foi realizado em analogia à NBR 9779 (ABNT, 1995). Os intervalos de medição foram os especificados pela DIN 52617 (DIN, 1987), ou seja, as medidas de massa dos corpos-de-prova foram realizadas após 4, 9, 16 e 25 minutos, 1 hora e de hora em hora até a 6ª hora e após 24, 48 e 72 horas de contato com a lâmina de água. A adoção de medições em intervalos menores foi baseada nas referências de vários autores (TRISTÃO, 1995; BIANCHIN, 1999; GOMES, 2000; entre outros), onde observou-se que a absorção capilar ocorre muito rapidamente durante a primeira hora de ensaio. A tabela 3.11 mostra os valores médios obtidos para as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Tabela 3.11 Propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

T r a ç o	Propriedades									
	no estado fresco			no estado endurecido						
	índice de consistência (mm)	massa específica (kg/dm ³)	retenção de água (%)	fc (MPa)	ft (MPa)	absorção por imersão (%)	índice de vazios (%)	massa específica (kg/dm ³)	coef. de absorção capilar (kg.m ⁻² .h ^{-0,5})	abs. superficial por capilaridade (kg/m ²)
T1-A	267	2,11	88	10,4	0,75	16,27	28,53	1,75	0,0302	1,94
T2-A	251	2,12	87	7,2	0,53	16,21	28,73	1,76	0,0429	2,70
T3-A	257	2,07	93	7,0	0,48	17,51	30,87	1,76	0,0404	2,55
T4-A	265	2,07	93	13,9	0,84	18,23	32,42	1,77	0,0253	1,76
T5-A	272	1,85	81	7,3	0,51	14,90	24,25	1,60	0,0147	0,94
T6-A	268	1,83	89	13,5	0,69	16,56	26,89	1,60	0,0179	1,20
T1-B	279	2,15	91	10,7	0,75	16,12	29,18	1,81	0,0330	2,09
T2-B	254	2,07	89	6,6	0,45	15,94	28,54	1,78	0,0406	2,57
T3-B	262	2,10	93	5,2	0,42	18,53	32,49	1,75	0,0489	3,05
T4-B	260	2,11	92	13,3	0,90	17,61	31,37	1,77	0,0260	1,78
T5-B	254	1,70	77	5,7	0,44	14,98	22,84	1,42	0,0262	1,66
T6-B	278	1,80	85	9,4	0,62	17,48	27,00	1,51	0,0338	2,20

fc – resistência à compressão

ft – resistência à tração por compressão diametral

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO EXPLORATÓRIO

Dos resultados obtidos através do levantamento realizado junto às empresas de construção civil, pode-se observar que não houve uma variação muito acentuada na relação aglomerante/agregado entre os traços das argamassas de cimento, saibro e areia utilizados, estando compreendidos na faixa de 1:4,33 a 1:6,05, em massa. Porém, em levantamentos semelhantes a este, a literatura indica grande variação nos traços empregados, por exemplo, em argamassas de revestimento, CINTRA et al. (1994) verificaram variações de 1:6 até 1:11,83, em volume, sendo que na fração agregado encontra-se o saibro. Constatou-se também que a origem dos traços das argamassas com saibro são especificações antigas e consagradas, de emprego tradicional na cidade de Belém.

Com relação à dosagem destes traços no canteiro de obra, em três empresas as especificações eram referentes a um saco de cimento de 50 kg, sendo os demais materiais dosados em volume. Nas outras empresas, a quantidade de cimento era especificada em volume, da mesma forma que o agregado. De um modo geral, as padiolas utilizadas nas empresas apresentavam volumes iguais a 36 litros e 43 litros, sendo também utilizadas latas de 18 litros. Como a produção das argamassas é uma atividade realizada sem muito controle nos canteiros de obra, CARVALHO FILHO et al. (1995) e CINTRA et al. (1994) afirmam que pode existir muita diferença entre o volume de materiais especificados e o volume realmente utilizado. Frequentemente é feita a substituição do recipiente de medida, por exemplo, de latas de 18 litros para carrinhos de mão, com o objetivo de agilizar o serviço.

Quanto aos materiais utilizados, houve variação no tipo de cimento empregado, onde quatro empresas usavam CP-II F 32 e as outras três empregavam CP-II Z 32 ou CP-II Z 32 RS, sendo visível que os fatores custo e disponibilidade do material são determinantes para esta seleção. Constatou-se certa preocupação com a permeabilidade do revestimento, sendo que das sete empresas pesquisadas, uma empresa utilizava aditivo impermeabilizante na argamassa para revestimento, enquanto outras duas empresas empregavam este material no chapisco, ressaltando-se que cada empresa utilizava aditivos distintos. Esta situação tem se mostrado uma das alternativas mais utilizadas para melhorar o desempenho dos revestimentos externos, em vez da busca pela otimização da dosagem dos constituintes tradicionais. Com relação ao uso do saibro, a empresa D relatou uma peculiaridade do processo de execução da

argamassa. O saibro era adicionado à argamassa na forma de pasta, ou seja, diluído em água, previamente peneirada para a remoção das impurezas existentes.

Conforme relatado no item 3.1, das sete empresas pesquisadas, apenas uma empresa ainda executava revestimento interno e externo em argamassa de cimento, areia e saibro. Outra empresa, no momento de realização do levantamento, executava empreendimentos somente com o revestimento interno em argamassa de cimento, saibro e areia, sendo o revestimento externo em cerâmica. Da mesma forma, a empresa D executava apenas um empreendimento com o revestimento externo predominantemente em cerâmica e uma pequena parte em argamassa, porém esta empresa empregava aditivo plastificante no lugar do saibro, para todos os tipos de argamassa. Esta situação pode ter ocorrido em função do critério do padrão de acabamento estabelecido no início da pesquisa, onde as empresas que executam empreendimentos de padrão acima da média utilizam outras tecnologias em busca de maior qualidade e durabilidade. Entretanto, pelo número de jazidas de saibro em exploração existentes e pelo volume de material comercializado na jazida que forneceu o material empregado nesta pesquisa, acredita-se que as argamassas de cimento, saibro e areia ainda são amplamente empregadas pelas empresas de menor porte e nas demais edificações em geral.

Deste modo, das três empresas citadas anteriormente, duas utilizavam aditivos incorporadores de ar como agente plastificante no lugar do tradicional saibro, em argamassas para revestimento externo. A grande aceitação destes aditivos no mercado local resultou na eliminação do saibro da composição de qualquer tipo de argamassa, em cinco das empresas participantes da pesquisa. Esta substituição tem sido vista como uma alternativa de melhor desempenho em nível técnico e econômico, sendo destacados o aumento da produtividade, melhoria do lay-out do canteiro devido à extinção do silo para o armazenamento do saibro, dentre outros benefícios.

As demais empresas, atualmente, executam empreendimentos apenas com o uso de revestimento externo em cerâmica. Acredita-se que a opção pelo uso de revestimentos cerâmicos apresentou-se, em alguns casos, como uma alternativa devido às manifestações patológicas surgidas nos últimos anos nos revestimentos externos em argamassa, principalmente nas produzidas com saibro. A grande maioria dos entrevistados declarou desconhecer a incidência de patologias, em qualquer um dos empreendimentos já realizados, originadas devido à utilização do traço especificado – seja com saibro ou com aditivos. Porém, os entrevistados de quatro empresas colocaram a fissuração excessiva como a principal manifestação patológica causada pelo uso do saibro nas argamassas de revestimentos interno e externo, nas outras duas empresas não citaram manifestações

patológicas e, na sétima e última empresa, não foi possível obter este dado porque o engenheiro entrevistado não havia trabalhado com saibro na empresa.

Quanto ao uso das argamassas com aditivos plastificantes no lugar do saibro, apesar da dosagem recomendada pelo fabricante, uma das empresas modificou a quantidade de aditivo em função dos demais materiais utilizados. Esta empresa realizou alguns testes com a argamassa em obra e verificou que conseguiria melhores resultados com as modificações. Outra empresa contratou um profissional especializado, para a realização de um estudo sistemático de adequação de traço. Esta situação evidencia a necessidade de realização de diversos estudos com os materiais e nas condições ambientais encontradas em Belém.

Constatou-se também, de modo informal, um grande interesse dos construtores em utilizar argamassas industrializadas. Alguns já admitem seu uso para assentamento de alvenaria, porém para revestimentos, o maior custo em relação às argamassas produzidas em canteiro ainda inviabiliza seu emprego.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL

Como este trabalho engloba argamassas de naturezas distintas, para a melhor compreensão dos resultados obtidos optou-se por dividir as argamassas em dois grupos, com exceção da avaliação da trabalhabilidade, discutida no item 4.2.1. O **grupo I** é constituído pelas argamassas T1, T2, T3 e T4, para ambos os tipos de cimento, com o objetivo de avaliar a influência do teor de saibro e dos agregados nas argamassas, além de avaliar os efeitos da adição de sílica ativa na argamassa com saibro. Por sua vez, o **grupo II** é constituído pelas argamassas T5 e T6, além das argamassas T1, as quais serão consideradas como referência, com o objetivo de avaliar a substituição do saibro pelo aditivo incorporador de ar, assim como avaliar os efeitos da adição de sílica ativa na argamassa com aditivo incorporador de ar.

No Anexo B são apresentadas tabelas contendo todos os valores obtidos durante a realização dos ensaios nos estados fresco e endurecido. Os valores médios analisados, para cada traço executado, encontram-se nas tabelas 3.9 e 3.11. Para a avaliação dos resultados, procedeu-se uma análise estatística dos dados (NANNI, 1981; NANNI e RIBEIRO, 1992), verificando-se a influência dos fatores traço e tipo de cimento, bem como a interação entre estes fatores, através da análise de variância (ANOVA) no programa computacional *Statistica*, com um nível de confiança normalmente utilizado na Engenharia Civil, igual a 95%. Como ferramenta auxiliar, utilizou-se a comparação múltipla de médias envolvendo todos os grupos.

4.2.1 Trabalhabilidade

A figura 4.1 mostra a variação do índice de consistência de acordo com a relação água/aglomerante, durante o ensaio preliminar realizado com o objetivo de determinar a relação água/aglomerante necessária para atingir o índice de consistência adotado neste trabalho, igual a 265 ± 15 mm.

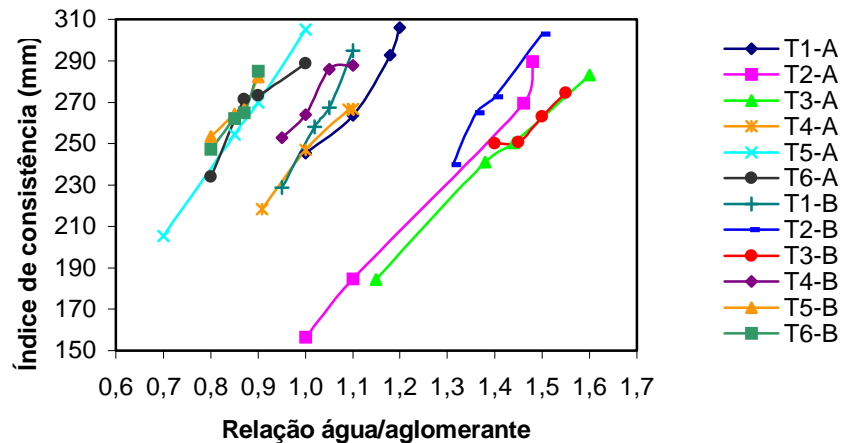


Figura 4.1 Variação do índice de consistência das argamassas com a relação água/aglomerante.

Observa-se claramente a existência de três faixas de comportamento, onde cada faixa compreende 2 traços, para os diferentes tipos de cimento. A primeira faixa, localizada à direita, compreende os traços T2-A, T2-B, T3-A e T3-B, os quais apresentam as maiores relações água/aglomerante ao se fixar determinado índice de consistência. Estes traços apresentam os maiores valores para a relação agregado/aglomerante e para aumentar a trabalhabilidade é necessário o aumento da quantidade de água, resultando em aumento da relação água/aglomerante. O comportamento destas argamassas também pode ser explicado pela finura dos agregados, visto que a areia utilizada na região é de elevada finura e muito uniforme, onde 56% dos grãos estão retidos entre as peneiras ABNT de 0,15 e 0,3 mm. Quanto à distribuição granulométrica do saibro utilizado, 34% é de material passante na peneira ABNT de 0,075 mm e 23% do total corresponde ao material argiloso. Desta forma, existe necessidade de uma maior relação água/aglomerante para obter o volume de pasta suficiente para envolver os agregados. Esta situação também foi observada por CASCUDO & CARASEK (1994), porém ao manter constante o teor de saibro.

Os traços T2 possuem relação agregado/aglomerante ligeiramente superior ao valor dos traços T3, por volta de 2%. Entretanto, observa-se que os traços T3 têm uma relação

saibro/areia 58% superior à relação dos traços T2, justificando desta forma o maior consumo de água apresentado pelos traços T3. De uma forma geral, a relação saibro/areia não exerceu influência significativa no consumo de água, pois dentre todas as argamassas com saibro na sua composição, os traços T2 são os que apresentam a menor quantidade de saibro, enquanto que os traços T3 apresentam a maior quantidade deste material.

A segunda faixa, localizada no centro, compreende os traços T1-A, T1-B, T4-A e T4-B, possui uma relação água/aglomerante inferior a da primeira faixa, considerando-se um mesmo índice de consistência. Esta situação é decorrente destas argamassas apresentarem relação agregado/aglomerante inferior ao observado nas argamassas da primeira faixa. Com o maior consumo de cimento, a relação água/aglomerante reduz, sendo esta maior quantidade de cimento a responsável pelo aumento da quantidade de pasta e pela maior trabalhabilidade, em relação às argamassas da primeira faixa (para uma mesma relação água/aglomerante). Os traços T4 contêm 10% de adição de sílica ativa, em relação à massa de cimento, o que poderia ter elevado o consumo de água devido ao aumento do teor de finos, no entanto, as argamassas T1 e T4 apresentaram relações água/aglomerante semelhantes. Isto demonstra que apesar da elevada superfície específica da sílica ativa, a sua forma esférica facilita o “rolamento” entre os grãos da mistura, compensando, em parte, a demanda de água necessária para a molhagem de suas partículas.

Observa-se que o aumento do consumo de água decorrente do aumento do teor de materiais finos está de acordo com a literatura que estuda argamassas dosadas sem o critério da curva granulométrica. Esta situação mostra a importância da modificação que vem ocorrendo no estudo de dosagem, pois no trabalho de CARNEIRO (1999) as argamassas foram dosadas através de curvas granulométricas contínuas, onde misturas com elevados teores de materiais finos, acima de 35% de material passante na peneira ABNT de 0,15 mm, por exemplo, apresentaram redução no consumo de água.

As argamassas da terceira faixa, localizada à esquerda, constituem-se dos traços T5-A, T5-B, T6-A e T6-B, onde devido ao emprego de aditivo incorporador de ar no lugar do saibro, o menor consumo de água apresentado dentre todas as argamassas já era esperado, para um determinado índice de consistência. Este comportamento pode ter sido determinado em conjunto pela ação do aditivo incorporador de ar, o qual normalmente reduz a quantidade de água, e pelos mais baixos teores de agregado apresentados por estas argamassas, em relação às demais argamassas em estudo.

Com relação aos tipos de cimento, observa-se que as argamassas produzidas com o cimento B possuem menores relações água/aglomerante do que as argamassas produzidas com o cimento A, para uma mesma relação agregado/aglomerante, conforme a figura 4.2. Esta

situação já era esperada em virtude da maior superfície específica do cimento A, ou seja, a área a ser molhada pela água de amassamento é maior.

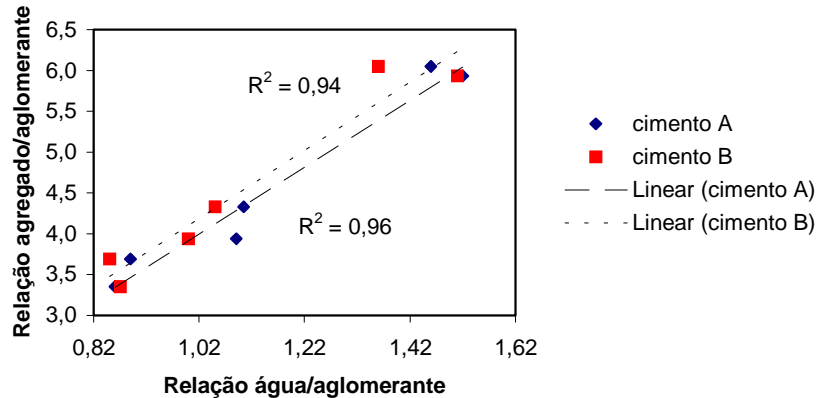


Figura 4.2 Variação da relação água/aglomerante com a relação agregado/aglomerante.

4.2.2 Massa específica no estado fresco

a) Grupo I

Os resultados da ANOVA encontram-se na tabela 4.1, avaliando a influência do tipo de cimento e do traço na massa específica no estado fresco. Através da análise de variância, constatou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores influenciam esta propriedade.

Tabela 4.1 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica no estado fresco – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,002017	19,36	4,49	S
Traço	3	0,002006	19,25333	3,24	S
Interação	3	0,002828	27,14667	3,24	S
Erro	16	0,000104	-	-	-

GDL- Graus de liberdade

MQ- Média quadrada

F_{calculado}- Valor calculado de F

S- Significativo

F_{0,05}- Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%.

NS- Não significativo

O comportamento das argamassas quanto à massa específica está indicado na figura 4.3 (a) e (b), com relação ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, respectivamente. A figura 4.4 demonstra o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

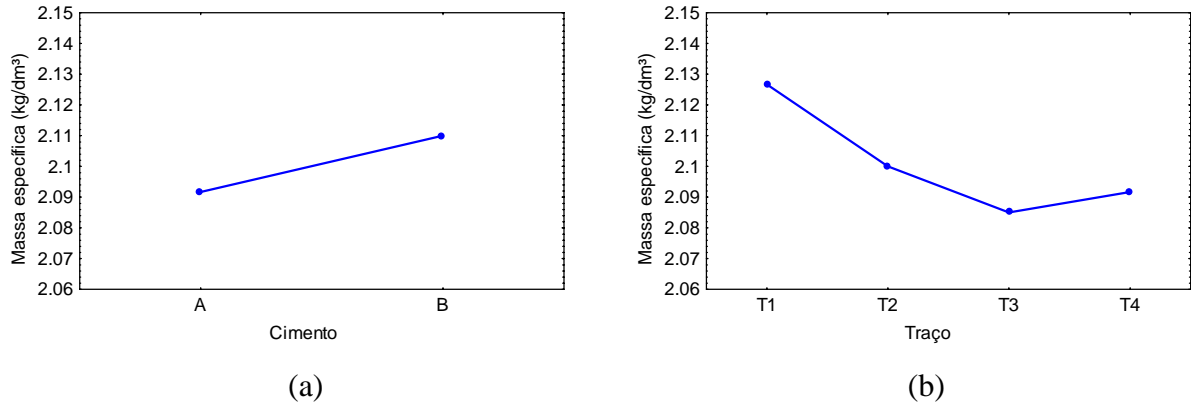


Figura 4.3 Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado fresco – grupo I:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

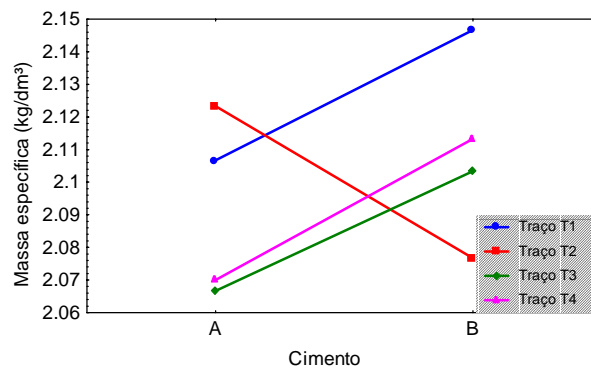


Figura 4.4 Massa específica no estado fresco em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.

De acordo com a figura 4.5, as argamassas produzidas com o cimento A apresentaram massa específica entre 2,07 e 2,12 kg/dm³, enquanto que as argamassas produzidas com o cimento B apresentaram uma faixa ligeiramente mais ampla, entre 2,07 e 2,15 kg/dm³.

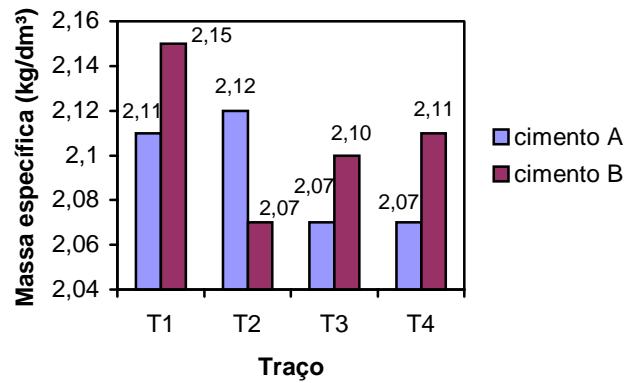


Figura 4.5 Massa específica no estado fresco das argamassas do grupo I.

Os traços T3-A e T4-A apresentaram os mais baixos valores, cerca de 1,9% inferiores ao constatado para o traço T1-A, sendo que a comparação múltipla de médias indica que não existem diferenças significativas entre T3-A e T4-A, da mesma forma que ocorre entre os traços T1-A e T2-A. Dentre as argamassas produzidas com o cimento B, o traço T2-B apresentou a mais baixa massa específica, por volta de 3,7% inferior ao traço T1-B. Não foi constatada diferença significativa entre os traços T3-B e T4-B.

A adição de sílica ativa aos traços T4-A e T4-B, mesmo sendo apenas 1,9% inferior, não representou melhoria de desempenho em relação aos traços T1-A e T1-B, onde esperava-se que esta adição contribuísse para uma melhor distribuição granulométrica das misturas, resultando em maior empacotamento dos grãos com o conseqüente aumento da massa específica. Esta situação pode ter ocorrido em função do aumento de coesão das misturas, resultando na tendência de aprisionamento de maior quantidade de ar, que por deficiência no adensamento não pode ser liberado, reduzindo a massa específica.

Observou-se que existe tendência de correlação bem definida, apenas para o cimento A, entre o teor de saibro e a massa específica, conforme a figura 4.6, para as argamassas T1, T2 e T3. Apesar deste comportamento não ser evidente para o cimento B, nota-se uma queda de massa específica ao passar da relação saibro/areia 0,173 para 0,345. Pode-se especular que o aumento do teor de saibro reflete em redução da massa específica, possivelmente devido ao aumento do teor de ar aprisionado, conforme relatado por OLIVEIRA (1989). Também não foi verificada correlação entre a variação da massa específica com a relação água/aglomerante, de acordo com a figura 4.7. Acredita-se que a adoção de uma faixa de consistência situada entre 250 e 280 mm, e até mesmo o método de ensaio utilizado, durante a operação de rasamento do recipiente, possam ter influenciado o comportamento mostrado nas figuras 4.6 e 4.7.

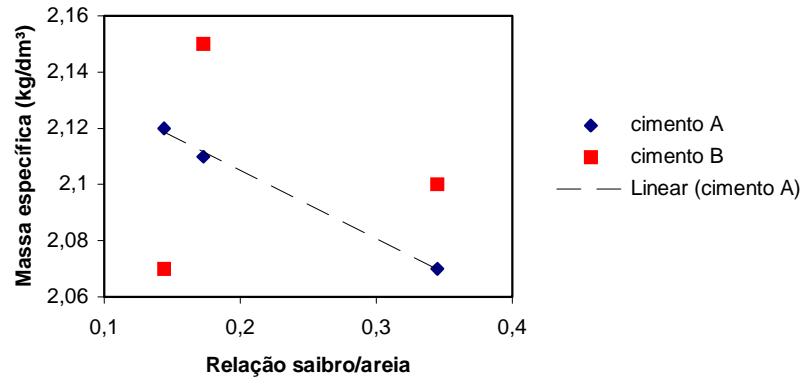


Figura 4.6 Variação da massa específica no estado fresco com a relação saibro/areia.

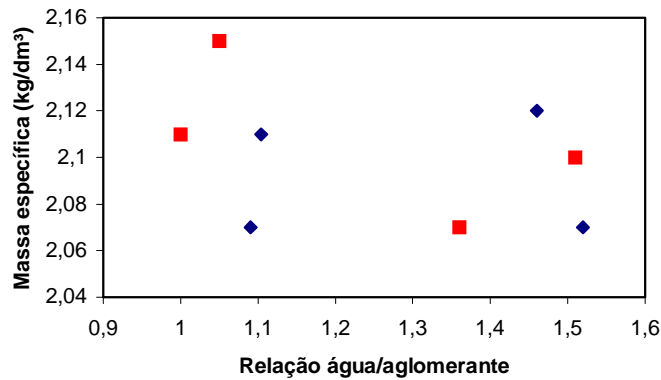


Figura 4.7 Variação da massa específica no estado fresco com a relação água/aglomerante – grupo I.

b) Grupo II

A tabela 4.2 apresenta os resultados da ANOVA, que avalia a influência do tipo de cimento e do traço na massa específica no estado fresco. Segundo esta análise, os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam na massa específica, da mesma forma que ocorreu para as argamassas do grupo I.

Tabela 4.2 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica no estado fresco – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,010756	23,9012	4,75	S
Traço	2	0,220617	490,2592	3,89	S
Interação	2	0,013706	30,4568	3,89	S
Erro	12	0,000450	-	-	-

A figura 4.8 (a) e (b) demonstra o comportamento das argamassas quanto à esta propriedade, com relação ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, respectivamente. Na figura 4.9 é mostrado o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

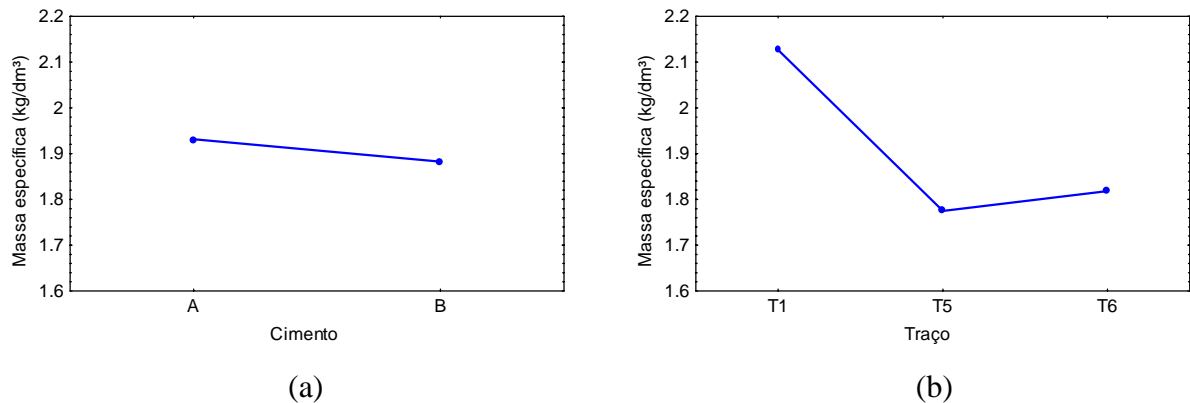


Figura 4.8 Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado fresco – grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

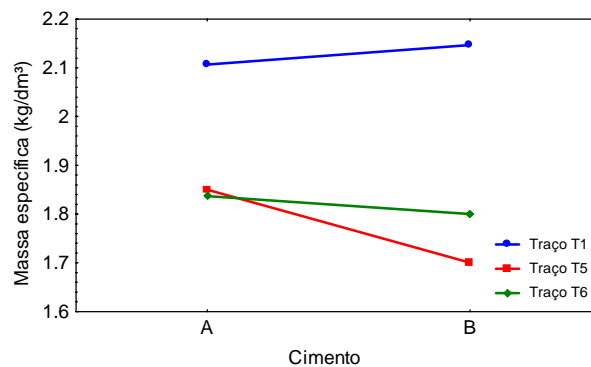


Figura 4.9 Massa específica no estado fresco em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

As argamassas produzidas com o cimento A apresentaram valores de massa específica entre 1,85 e 2,13 kg/dm³, enquanto que as argamassas produzidas com o cimento B apresentaram uma faixa um pouco mais ampla, entre 1,71 e 2,16 kg/dm³, conforme indica a figura 4.10.

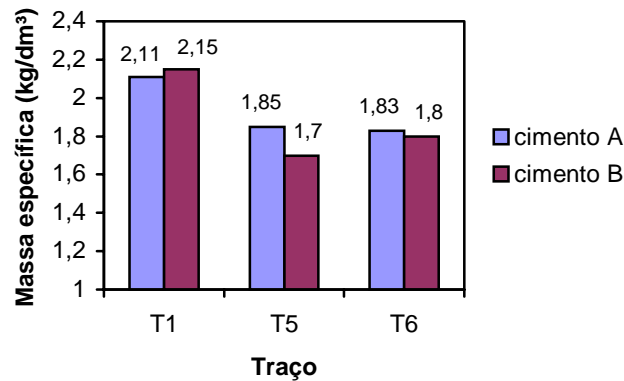


Figura 4.10 Massa específica no estado fresco das argamassas do grupo II.

Observa-se que o traço T5-B apresentou a mais baixa massa específica, cerca de 20,9% inferior ao valor apresentado pelo traço T1-B, seguido pelo traço T6-B. Acredita-se que a adição de sílica ativa ao traço T6-B possa ter contribuído para um melhor empacotamento da mistura, aumentando assim sua massa específica por volta de 5,5%, em relação ao traço T5-B. Por outro lado, no cimento A esta adição não exerceu nenhuma influência nesta propriedade, provavelmente devido a maior finura do cimento, visto que o traço T6-A apresentou a mais baixa massa específica, na ordem de 13% inferior ao observado no traço T1-A, seguido pelo traço T5-A. Entretanto, através da comparação múltipla de médias, constatou-se que não existem diferenças significativas entre as argamassas T5-A e T6-A. Estas argamassas, por serem mais leves, podem melhorar bastante a trabalhabilidade ao facilitar seu manuseio e aplicação.

Ao contrário do observado entre as argamassas do grupo I, a figura 4.11 mostra a tendência de correlação bem definida entre a variação da massa específica com a relação água/aglomerante. Pode-se observar que o aumento da relação água/aglomerante reflete em aumento da massa específica no estado fresco.

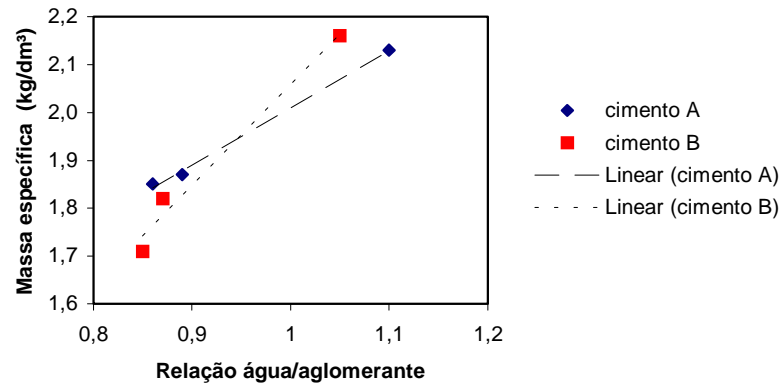


Figura 4.11 Variação da massa específica no estado fresco com a relação água/aglomerante – grupo II.

4.2.3 Retenção de água

a) Grupo I

Na tabela 4.3 os resultados da ANOVA são mostrados, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação da retenção de água. Pode-se observar que somente o traço exerce influência significativa sobre esta propriedade.

Tabela 4.3 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na retenção de água – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	1,0	1,33333	5,32	NS
Traço	3	22,75	30,33333	4,07	S
Interação	3	2,16667	2,88889	4,07	NS
Erro	8	0,75	-	-	-

A figura 4.12 apresenta a retenção de água, em função do traço das argamassas.

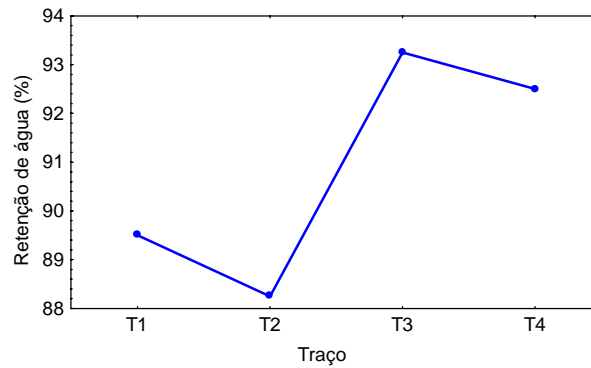


Figura 4.12 Comportamento das argamassas quanto à retenção de água, em função dos traços analisados – grupo I.

Como diversos autores consideram uma retenção adequada acima de 80%, a retenção de água das argamassas deste grupo foram consideradas satisfatórias, variando entre 87% e 93%. Conforme indicado na figura 4.13, as argamassas compostas com o cimento A estão numa faixa compreendida entre 87% e 93%, enquanto que as argamassas compostas com o cimento B encontram-se entre 89% e 93%, estando de acordo com os valores apresentados por CARASEK et al. (1995b) e GOMES (2000). A pequena diferença entre as faixas apresentadas não é significativa, pois conforme relatado anteriormente, apenas os traços utilizados influenciam de forma significativa a retenção de água.

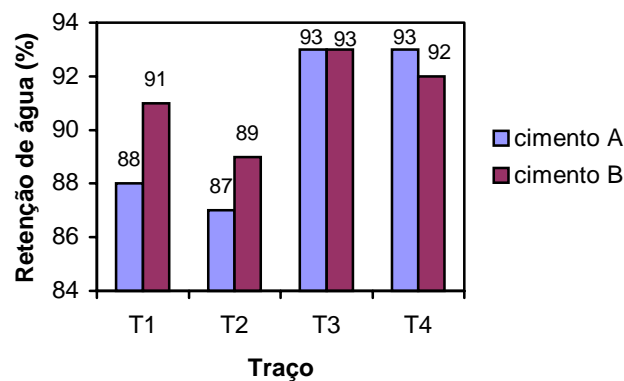


Figura 4.13 Retenção de água das argamassas do grupo I.

As argamassas T3 e T4 apresentaram valores de retenção superiores aos observados nos traços T1. O melhor desempenho do traço T4-A deve-se à presença de sílica ativa, que contribui para o aumento do teor de finos da argamassa, visto que este traço apresenta a mesma composição da argamassa T1-A, porém com a adição de sílica ativa, com a vantagem de apresentar menor consumo de saibro do que a argamassa T3-A. Entretanto, não se observou a influência da sílica

ativa na melhoria da retenção de água do traço T4-B, em relação à argamassa T1-B, mesmo apresentando retenção semelhante à argamassa T3-B. Através da comparação múltipla de médias, verificou-se que não existem diferenças significativas entre T1-A e T2-A e entre T3-A e T4-A, bem como entre as argamassas T1-B e T4-B e entre T3-B e T4-B.

Ao contrário do que ARAÚJO (1996) afirma, talvez possa haver influência significativa do teor de saibro, conforme a figura 4.14. De acordo com esta figura, o comportamento observado para ambos os tipos de cimento denota um melhor desempenho para as argamassas T3, com uma relação saibro/areia igual a 0,345. As argamassas T3 apresentam maior quantidade de saibro (25,6% da quantidade total de agregados) em relação às demais, e consequentemente, maior retenção de água.

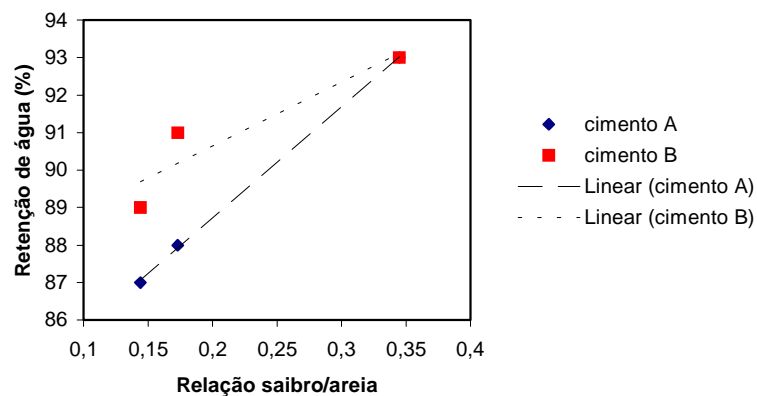


Figura 4.14 Variação da retenção de água com a relação saibro/areia, para as argamassas T1, T2 e T3.

Com relação ao consumo de cimento, o resultado encontra-se de acordo com SELMO (1989), visto que o maior consumo de cimento (tabela 3.9) não contribuiu para o aumento da retenção de água, prevalecendo a influência do teor de argila na sua composição, conforme a figura 4.15. Entre os traços T2 e T3, mesmo apresentando relação aglomerante/agregado iguais, os traços T3 obtiveram uma retenção 5,7% superior, em média, do que os traços T2. Esta situação se deve ao fato do teor de saibro dos traços T3 ser superior ao teor dos traços T2, pois constata-se que o aumento do teor de argila proporcionado pelo maior teor de saibro contribui para a melhoria da retenção de água.

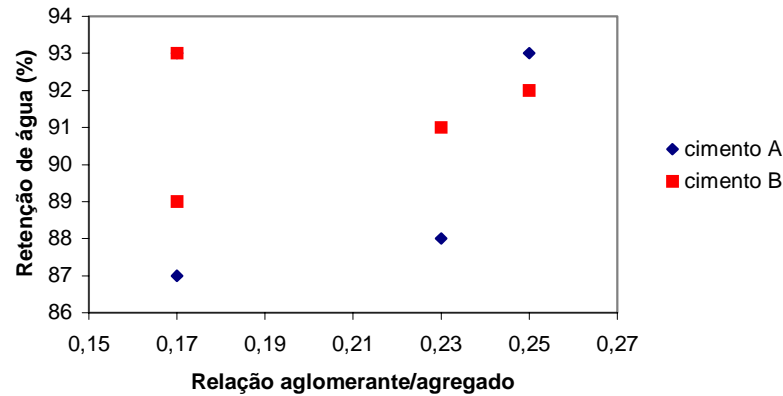


Figura 4.15 Variação da retenção de água com a relação aglomerante/agregado – grupo I.

b) Grupo II

A tabela 4.4 indica os resultados da ANOVA, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação da retenção de água. Ao contrário do que ocorreu para as argamassas do grupo I, de acordo com a análise de variância, os fatores cimento, traço e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade.

Tabela 4.4 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na retenção de água – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	12	36,0	5,99	S
Traço	2	116,0833	348,25	5,14	S
Interação	2	12,25	36,75	5,14	S
Erro	6	0,33333	-	-	-

Na figura 4.16 (a) e (b) é demonstrado o comportamento das argamassas com relação à esta propriedade, quanto ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, respectivamente, enquanto que a figura 4.17 apresenta o comportamento da interação entre estes fatores.

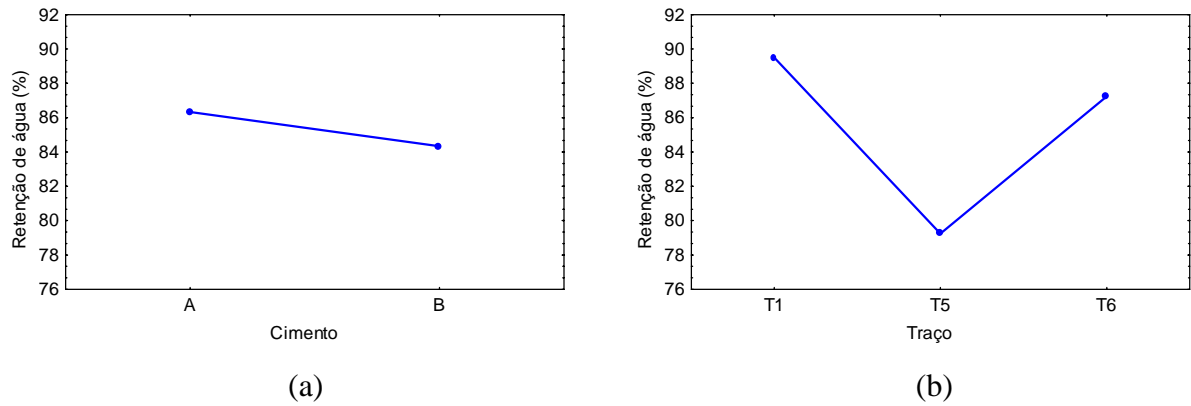


Figura 4.16 Comportamento das argamassas quanto à retenção de água – grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

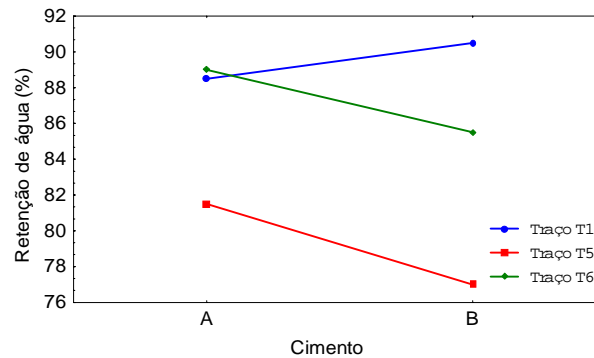


Figura 4.17 Retenção de água em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

Neste grupo, as argamassas também apresentaram valores satisfatórios de retenção, entre 81% e 91%, com exceção da argamassa T5-B, que apresentou retenção igual a 77%. As argamassas produzidas com o cimento A encontram-se entre 81% e 89%, enquanto que as argamassas produzidas com o cimento B encontram-se numa faixa maior, compreendida entre 77% e 91%, de acordo com a figura 4.18.

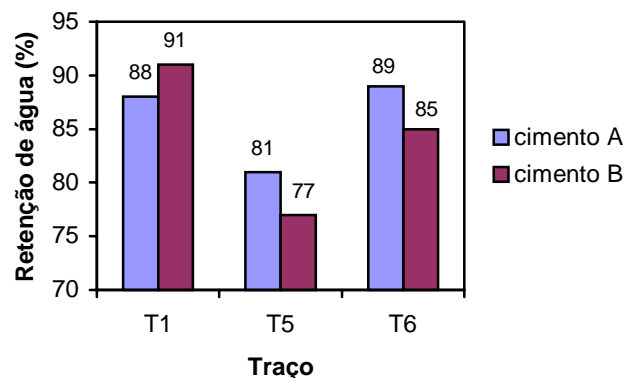


Figura 4.18 Retenção de água das argamassas do grupo II.

Ao contrário do esperado, as argamassas T5 apresentaram desempenho inferior ao dos traços T1, principalmente para o cimento B, onde houve uma redução da ordem de 14%. Porém, este resultado vai ao encontro do obtido por RAGO et al. (1994), ao substituir a cal por aditivos incorporadores de ar. Deste modo, pode-se concluir que a substituição do saibro pelo aditivo incorporador de ar foi mais eficiente com a adição de sílica ativa, principalmente para o cimento A, pois não existem diferenças significativas entre as argamassas T1-A e T6-A, segundo a comparação múltipla de médias. Dentre as argamassas produzidas com o cimento B, o traço T6-B, mesmo sendo 8% superior ao valor do traço T5-B, ainda apresentou uma retenção 6% inferior à retenção apresentada pelo traço T1-B.

A figura 4.19 mostra a variação da retenção de água com a relação aglomerante/agregado, onde observa-se que não existe tendência de correlação bem definida.

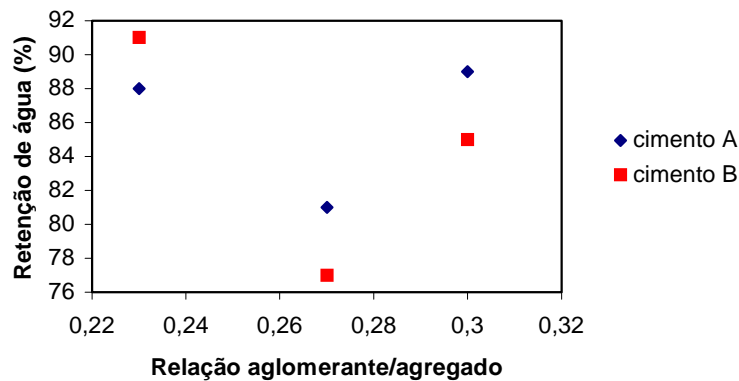


Figura 4.19 Variação da retenção de água com a relação aglomerante/agregado – grupo II.

4.2.4 Resistência mecânica

a) Grupo I

Na tabela 4.5 encontram-se os resultados da ANOVA, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação da resistência à compressão. De acordo com a análise de variância verificou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam na variação da resistência à compressão.

Tabela 4.5 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à compressão – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	3,88436	31,5042	4,21	S
Traço	3	99,48476	806,8754	2,96	S
Interação	3	1,54533	12,5335	2,96	S
Erro	27	0,123296	-	-	-

A figura 4.20 (a) e (b) indica o comportamento das argamassas com relação à esta propriedade, quanto ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, respectivamente. A figura 4.21 demonstra o comportamento da interação entre estes dois fatores.

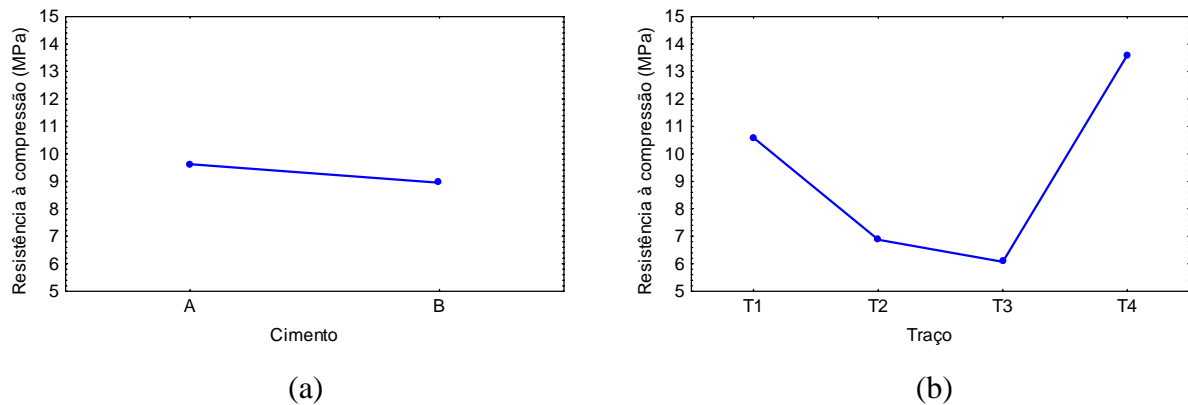


Figura 4.20 Comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão – grupo I:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

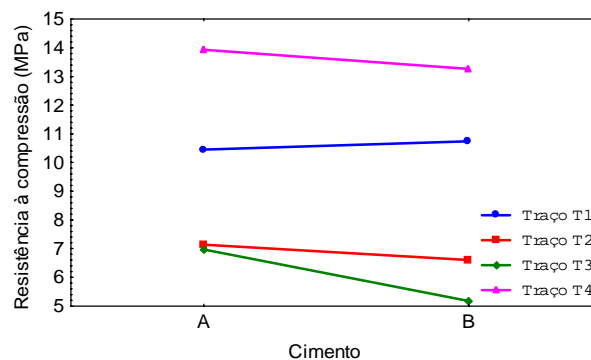


Figura 4.21 Resistência à compressão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.

Conforme a figura 4.22, os traços T2 e T3 apresentaram os mais baixos valores, para ambos os tipos de cimento, sendo que, de acordo com a comparação múltipla de médias, não existem diferenças significativas entre T2-A e T3-A. Conforme o esperado, os traços T4 alcançaram as maiores resistências, seguidos pelos traços T1.

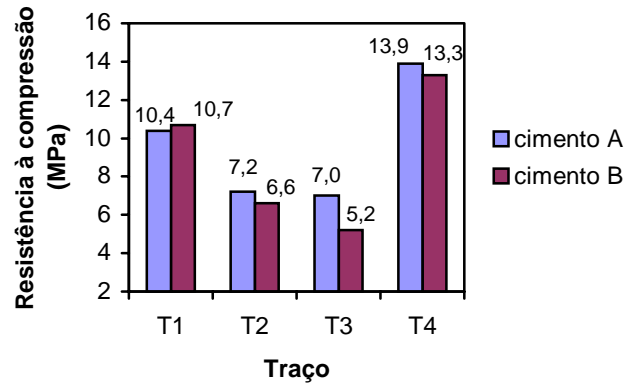


Figura 4.22 Resistência à compressão das argamassas do grupo I.

Quanto às argamassas T2 e T3, mesmo apresentando resistências médias 34,5% e 42%, respectivamente, inferiores aos valores apresentados pelos traços T1, deve-se ressaltar que estas resistências encontram-se muito acima do necessário para as argamassas de revestimento, refletindo-se no elevado consumo de cimento mostrado na tabela 3.9, situado entre 237 e 321 kg/m³ neste grupo. GOMES (2000) também constatou que os revestimentos produzidos com adição em Salvador contém elevados teores de cimento, resultando em revestimentos muito rígidos, propícios à fissuração.

O comportamento da massa específica no estado fresco (figura 4.3b) é semelhante ao comportamento da resistência à compressão (figura 4.20b), como era de se esperar, pois com o aumento do empacotamento da mistura espera-se um aumento na resistência à compressão. Para os traços T4 houve um incremento de resistência maior do que o observado na massa específica, resultando num aumento médio de 22% na resistência à compressão, em relação aos traços T1, estando de acordo com a observação de KULAKOWSKI (1994). Isto demonstra que a ação da sílica ativa não é apenas microfíler, mas também pozolânica, refletindo-se no comportamento mecânico da argamassa endurecida.

A influência do teor de saibro na mistura é mostrada na figura 4.23, a qual indica uma tendência de que exista um teor ideal de saibro entre as argamassas T1, T2 e T3, para a obtenção de máxima resistência, expresso pelo teor saibro/areia igual a 0,173 (14,8% de saibro, em relação à quantidade total de agregados) presente nas argamassas T1-A e T1-B. Quanto à influência do tipo de cimento, o cimento B apresentou menores resistências, de um modo geral, mesmo possuindo um consumo de água (e relação água/aglomerante) ligeiramente inferior. Este comportamento encontra-se de acordo com os dados da tabela 3.1, que indica o cimento B com resistências inferiores ao cimento A.

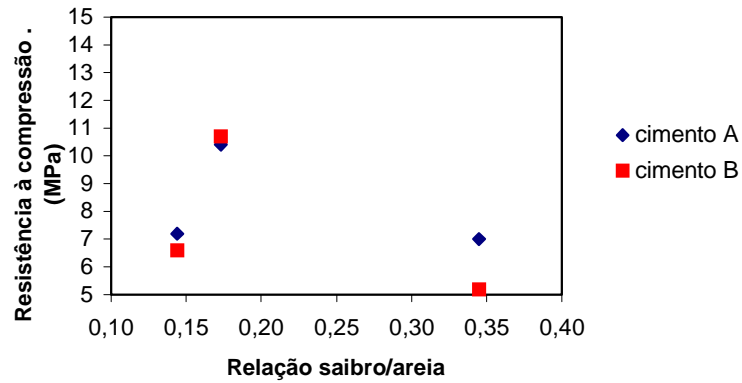
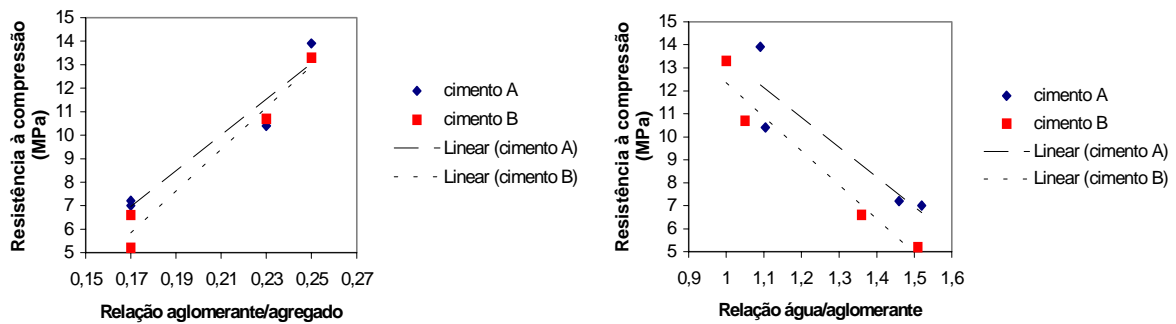


Figura 4.23 Variação da resistência à compressão com a relação saibro/areia.

Conforme o esperado, e já constatado por ARAÚJO (1996) e OLIVEIRA (1989), a resistência à compressão é regida pela relação aglomerante/agregado e pela relação água/aglomerante, segundo a figura 4.24.



(a) (b)
Figura 4.24 Variação da resistência à compressão – grupo I:
 (a) com a relação aglomerante/agregado;
 (b) com a relação água/aglomerante.

Com relação à resistência à tração por compressão diametral, a tabela 4.6 contém os resultados da ANOVA, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação desta propriedade. Esta análise indicou que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos são significativos, da mesma forma que para a resistência à compressão.

Tabela 4.6 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à tração por compressão diametral – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,003376	15,888	4,3	S
Traço	3	0,303863	1429,942	3,05	S
Interação	3	0,006546	30,805	3,05	S
Erro	22	0,000213	-	-	-

A figura 4.25 (a) e (b) demonstra o comportamento das argamassas quanto à resistência à tração, em função do tipo de cimento e do traço das argamassas, respectivamente. O comportamento da interação entre estes dois fatores encontra-se na figura 4.26. De acordo com a comparação múltipla de médias realizada, não existe diferença significativa entre os traços T2-B e T3-B.

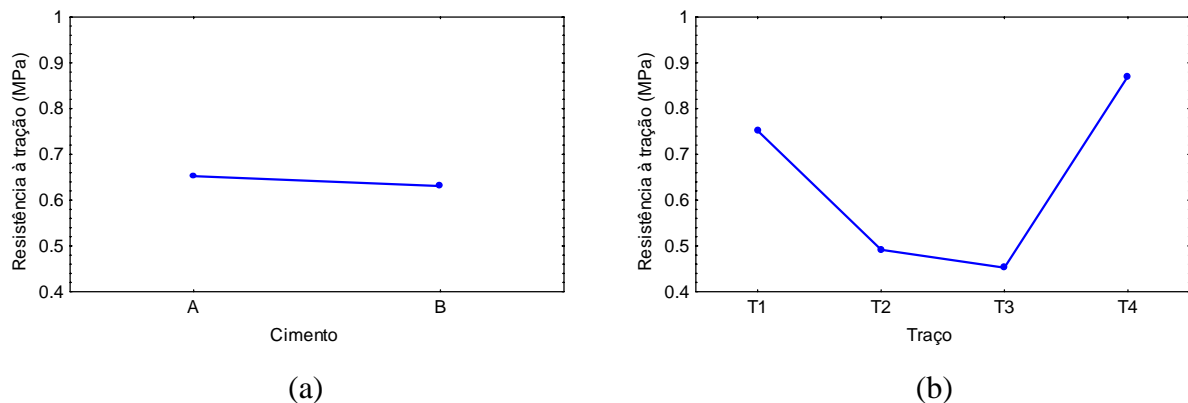


Figura 4.25 Comportamento das argamassas quanto à resistência à tração por compressão diametral – grupo I:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

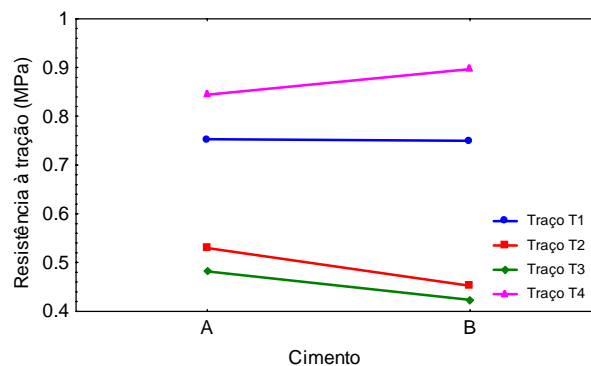


Figura 4.26 Resistência à tração por compressão diametral em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.

Obteve-se uma excelente correlação entre as resistências à tração e à compressão, conforme o esperado, de acordo com a figura 4.27. Entretanto, segundo JOISEL (1981), para argamassas de cimento, cal e areia a relação entre estas resistências encontra-se por volta de 10%, porém esta relação manteve-se entre 6,0% e 8,0%, conforme a figura 4.28, sendo que as argamassas T4-A e T4-B apresentaram os mais baixos valores. Pode-se afirmar, de uma forma qualitativa, que as argamassas com saibro apresentam menor capacidade de deformação do que as argamassas com o emprego de cal, indo de encontro ao relatado por FILOMENO (1993). Parece haver indícios de que a adição de sílica ativa contribui mais para a redução desta relação, conforme constatação feita por SCHULER (1998).

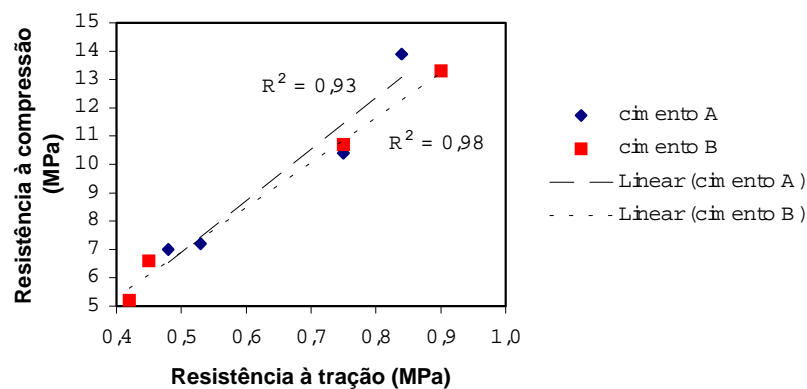


Figura 4.27 Correlação da resistência à tração por compressão diametral com a resistência à compressão, para o grupo I.

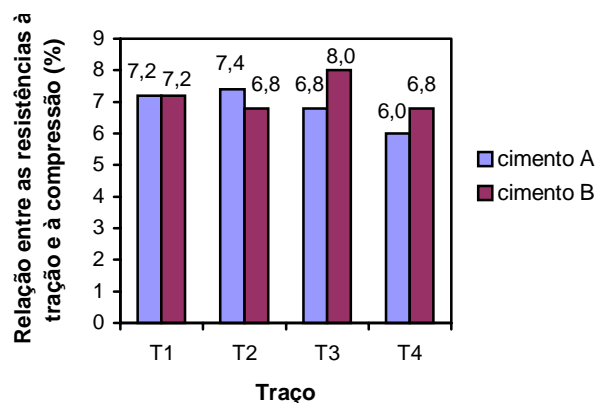


Figura 4.28 Variação percentual da relação entre as resistências à tração e à compressão para as argamassas do grupo I.

b) Grupo II

A tabela 4.7 demonstra os resultados da ANOVA, que avalia a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação da resistência à compressão. Neste grupo, a análise de

variância indicou que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade, apresentando o mesmo comportamento observado para as argamassas do grupo I.

Tabela 4.7 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à compressão – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	16,95235	138,1868	4,49	S
Traço	2	47,83747	389,9463	3,63	S
Interação	2	8,38671	68,3642	3,63	S
Erro	16	0,122677	-	-	-

O comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão, com relação ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, constam na figura 4.29 (a) e (b), respectivamente. Na figura 4.30 encontra-se o comportamento da interação entre estes dois fatores.

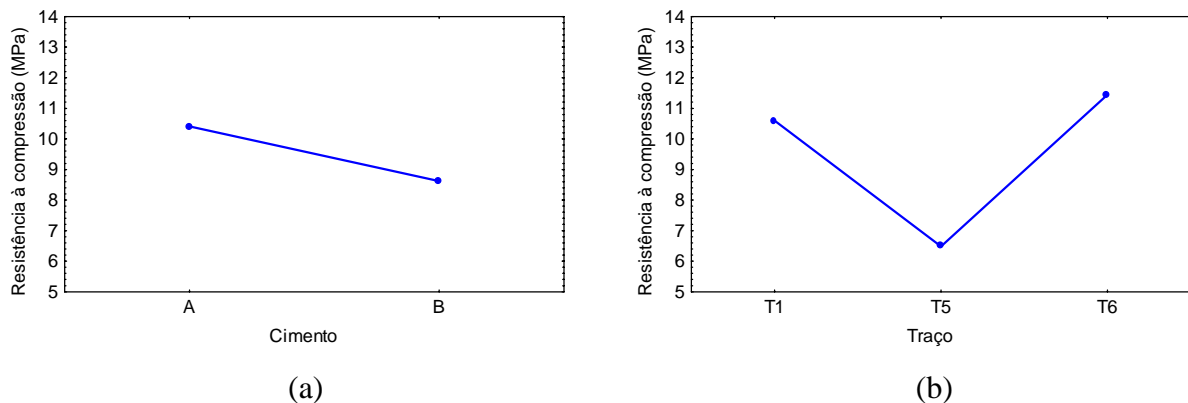


Figura 4.29 Comportamento das argamassas quanto à resistência à compressão – grupo II: (a) em função do tipo de cimento; (b) em função dos traços analisados.

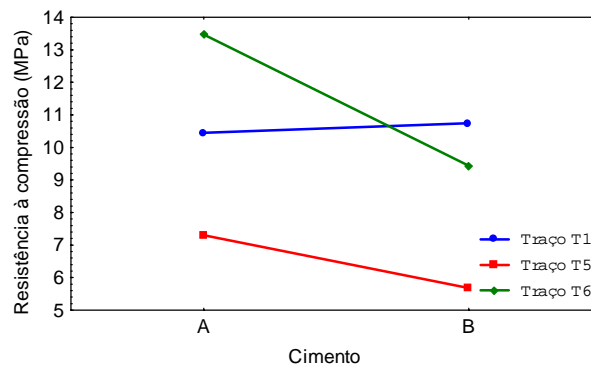


Figura 4.30 Resistência à compressão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

A figura 4.31 demonstra a média dos valores obtidos. Devido à incorporação de bolhas de ar, os traços T5-A e T5-B apresentaram os menores valores, o que já era esperado. Esta situação foi mais evidente no traço T5-B, que apresentou uma queda de 46%, em relação ao traço T1-B. Por outro lado, o traço T6-A apresentou um incremento de 23% em relação ao traço T1-A, enquanto que do traço T1-B para o T6-B, houve um decréscimo de 12%.

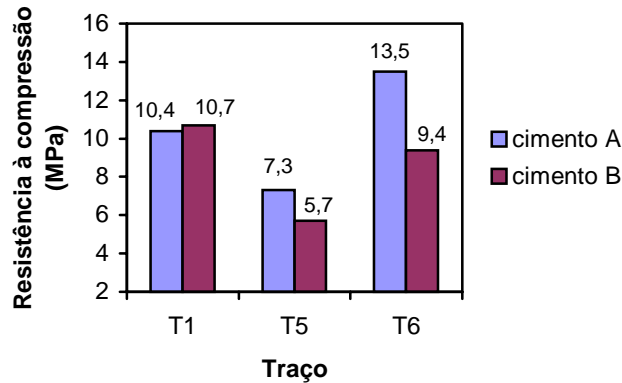
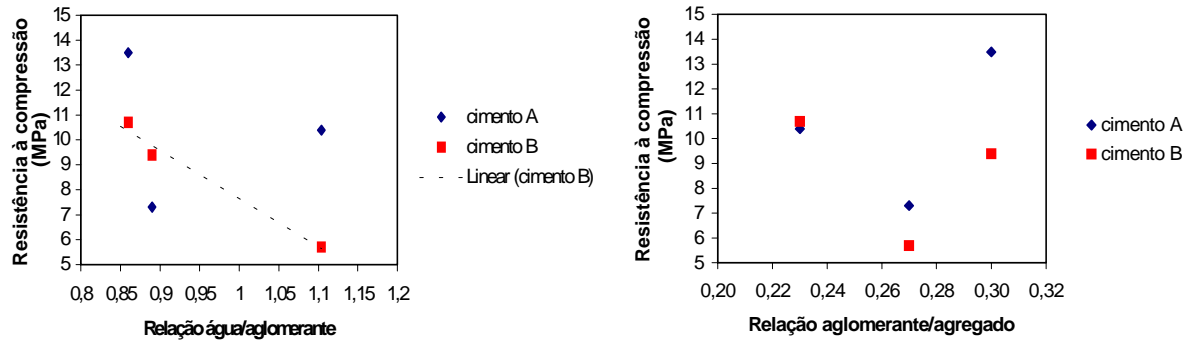


Figura 4.31 Resistência à compressão das argamassas do grupo II.

O melhor desempenho do traço T6-A, em relação ao traço T1-A, deve-se ao efeito conjunto das adições de sílica ativa e de incorporador de ar, onde este último proporcionou uma redução sensível no consumo de água. Entretanto, não foi possível estabelecer uma explicação para o comportamento contraditório observado no traço T6-B, em relação ao traço T1-B. Poderia ter ocorrido uma ação mais imediata da sílica ativa no traço T6-A, em função da maior finura do cimento A, mas esta situação não se repetiu nos traços T4 (grupo I). Novos ensaios, em idades mais avançadas, devem ser realizados para explicar este comportamento.

Novamente, as resistências estão muito acima do necessário para as argamassas de revestimento, onde este grupo apresenta a mais elevada faixa de consumo de cimento, conforme a tabela 3.9, situada entre 305 e 332 kg/m³. Esta maior faixa de consumo de cimento já era esperada, devido à substituição do saibro pelo aditivo incorporador de ar nas argamassas T5 e T6. Estas argamassas podem estar mais sujeitas às manifestações patológicas decorrentes desta situação, embora o ar incorporado possa contrabalançar este aumento de rigidez, ao proporcionar maior deformabilidade.

Conforme a figura 4.32, observa-se que não houve indícios de correlação da resistência à compressão com a relação água/aglomerante, para o cimento A, nem com a relação aglomerante/agregado, para ambos os tipos de cimento. Acredita-se que nesta situação a porosidade total exerça maior influência nesta propriedade, em consequência dos vazios incorporados pelo aditivo.



(a) (b)
Figura 4.32 Variação da resistência à compressão – grupo II:
 (a) com a relação água/aglomerante;
 (b) com a relação aglomerante/agregado.

Quanto à resistência à tração por compressão diametral, a tabela 4.8 contém os resultados da ANOVA, que avalia a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na variação desta propriedade. Constatou-se para esta propriedade, através da análise de variância, que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos são significativos, apresentando o mesmo comportamento observado para a resistência à compressão.

Tabela 4.8 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na resistência à tração por compressão diametral – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,012589	33,7501	4,54	S
Traço	2	0,116306	311,8134	3,68	S
Interação	2	0,002679	7,1835	3,68	S
Erro	15	0,000373	-	-	-

O comportamento das argamassas com relação à resistência à tração, em função do tipo de cimento e do traço das argamassas, respectivamente, encontra-se na figura 4.33 (a) e (b). A interação entre estes dois fatores é mostrada na figura 4.34.

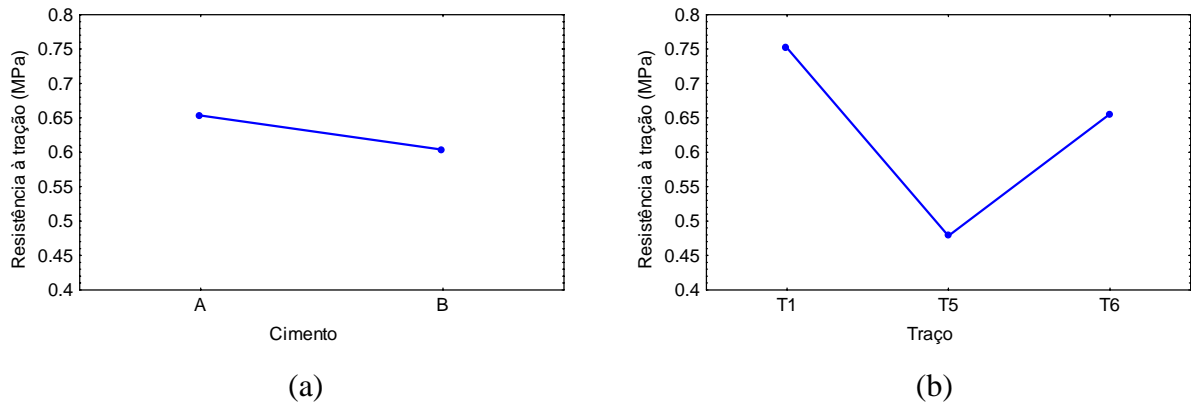


Figura 4.33 Comportamento das argamassas quanto à resistência à tração por compressão diametral – grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

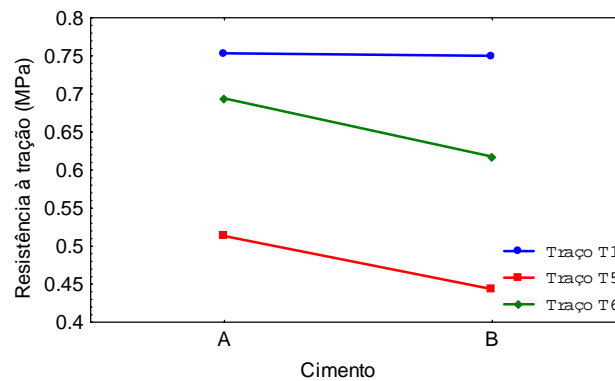


Figura 4.34 Resistência à tração por compressão diametral em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

Ao contrário do esperado, somente para o cimento B houve indícios de correlação bem definida entre as resistências à tração e à compressão, de acordo com a figura 4.35. Para o cimento A, o valor do coeficiente de determinação (R^2) foi de apenas 52%. Conforme a figura 4.36, a relação entre as resistências à tração e à compressão novamente encontra-se entre 5,1% e 7,7%, sendo os maiores valores para os traços T1 e T5 e os menores para os traços T6. O baixo valor de R^2 para o cimento A deve-se justamente ao baixo valor desta relação para o traço T6-A. De uma forma qualitativa, pode-se concluir que as argamassas T6 possuem menor capacidade de deformação, enquanto que as argamassas T1 e T5 apresentam desempenho semelhantes.

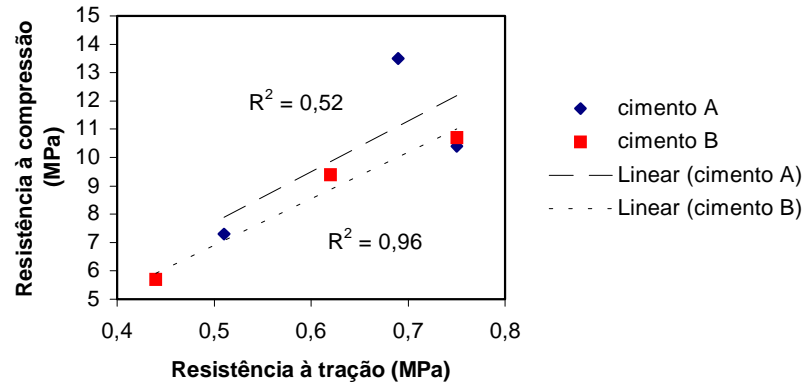


Figura 4.35 Correlação da resistência à tração por compressão diametral com a resistência à compressão, para o grupo II.

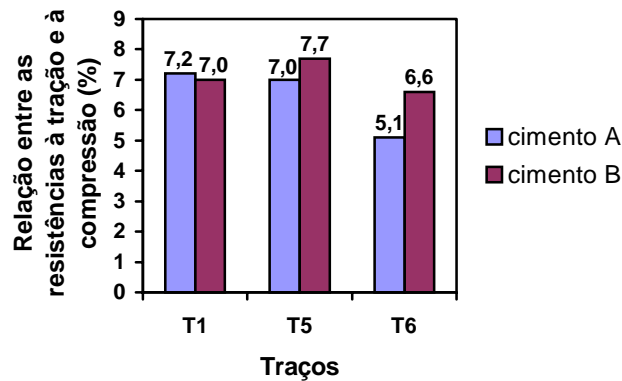


Figura 4.36 Variação percentual da relação entre as resistências à tração e à compressão, para as argamassas do grupo II.

4.2.5 Massa específica no estado endurecido

a) Grupo I

Os resultados analisados neste item foram obtidos através do ensaio de absorção por imersão, sendo utilizados os dados referentes à massa específica seca sem fervura. Na tabela 4.9 os resultados da ANOVA são apresentados, avaliando a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na massa específica no estado endurecido. Através desta análise constatou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade.

Tabela 4.9 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica no estado endurecido – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,002865	7,111011	4,13	S
Traço	3	0,001170	2,904094	2,87	S
Interação	3	0,002729	6,773145	2,87	S
Erro	34	0,000403	-	-	-

O comportamento das argamassas quanto à esta propriedade encontra-se na figura 4.37 (a) e (b), com relação ao tipo de cimento e ao traço das argamassas, respectivamente. A figura 4.38 mostra o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

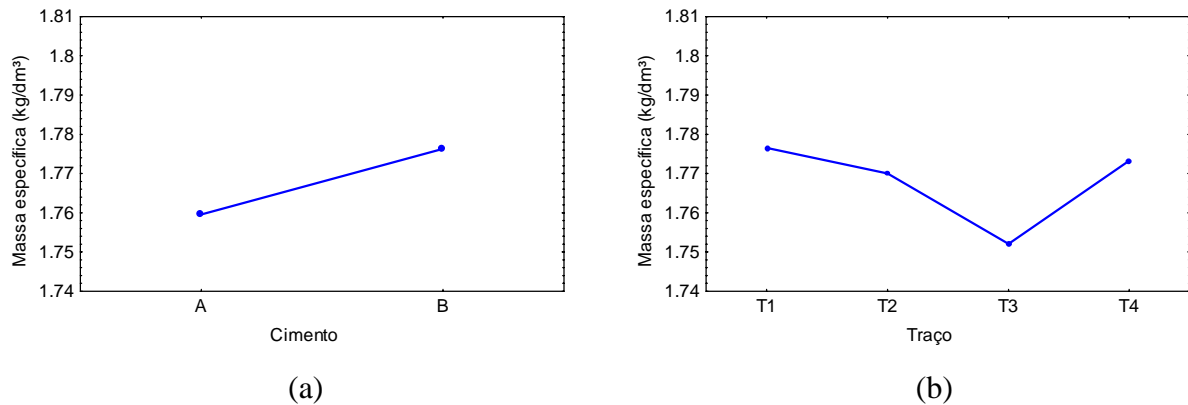


Figura 4.37 Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado endurecido – grupo I:

- (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

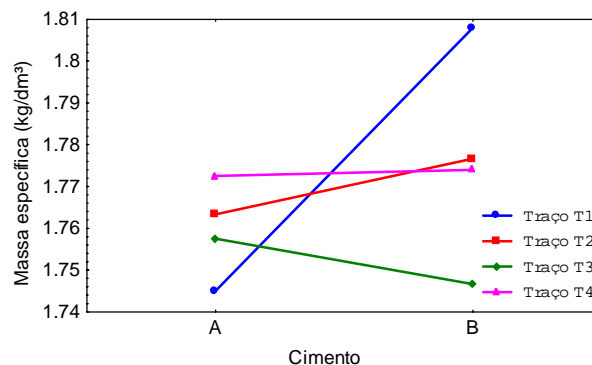


Figura 4.38 Massa específica no estado endurecido em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.

De acordo com a figura 4.39, as argamassas produzidas com o cimento A apresentaram valores entre 1,75 e 1,77 kg/dm³, enquanto que as argamassas produzidas com o cimento B apresentaram uma faixa de variação maior, com valores entre 1,75 e 1,81 kg/dm³.

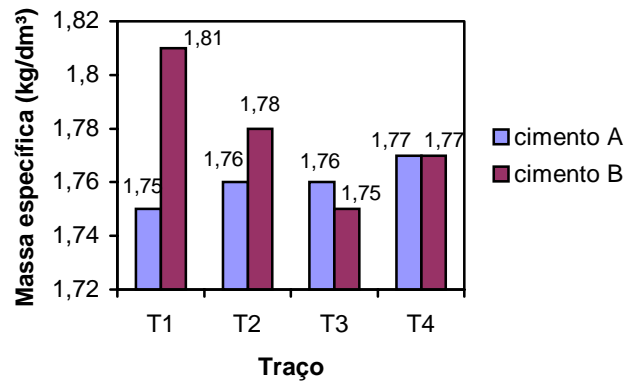


Figura 4.39 Massa específica no estado endurecido das argamassas do grupo I.

Mesmo não se dispondo dos valores para o teor e a finura das adições pozolânicas empregadas nos cimentos, estes fatores poderiam estar contribuindo para os valores mais elevados de massa específica observados no cimento B. Através da comparação múltipla de médias constatou-se que para o cimento A não existem diferenças significativas entre os valores, ou seja, todas as argamassas apresentam massa específica estatisticamente iguais. Entretanto, nas argamassas produzidas com o cimento B constatou-se diferenças significativas entre os traços T1-B e T3-B, e entre T1-B e T4-B, mesmo havendo uma diferença de apenas 3,3% e 2,2% entre estes traços, respectivamente.

Uma possível explicação para esta situação seria que a adição de saibro no traço T1-B tornou a mistura mais densa e compacta, visto que o cimento B é menos fino que o cimento A, portanto o teor de finos argilosos do saibro pode ter proporcionado uma granulometria mais contínua, resultando em aumento da massa específica. Este fato demonstra novamente que a relação saibro/areia igual a 0,173 parece ser mais adequada para otimizar as propriedades das argamassas. Um outro fato que pode reforçar esta hipótese é que a adição de sílica ativa, que poderia ter contribuído para a redução da porosidade, principalmente através do efeito microfíler, não exerceu efeito devido aos seguintes fatores: a) dimensão semelhante à apresentada pelo cimento, onde a distribuição granulométrica das argamassas pode ter ficado com excesso de finos após sua adição; b) o aumento da coesão da mistura pode ter causado um aumento no teor de ar aprisionado, prejudicando desta forma a massa específica da argamassa T4-B.

Na figura 4.40 não se observa tendência de redução da massa específica no estado endurecido com o aumento da relação água/aglomerante, devido ao aumento da porosidade.

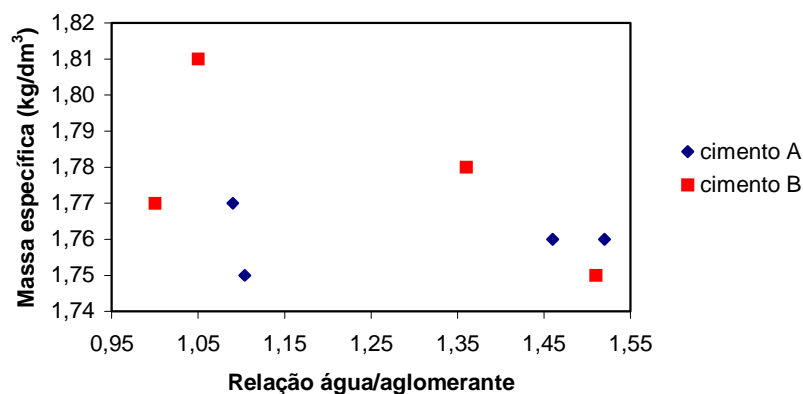


Figura 4.40 Variação da massa específica no estado endurecido com a relação água/aglomerante – grupo I.

Com relação ao percentual de variação de massa, de acordo com a tabela 4.10, os traços T4-A e T3-A apresentaram os menores valores, indicando melhor desempenho, seguidos pelos traços T1-A e T2-A, que apresentaram praticamente o mesmo valor. Porém, esta situação se modifica para o cimento B, pois os traços T2-B e T1-B apresentaram os mais baixos valores, resultando em argamassas com menor possibilidade de retração, enquanto que os traços T4-B e T3-B apresentaram os maiores valores.

Acredita-se que a adoção de um intervalo muito grande, entre 250 e 280 mm, para o índice de consistência possa ter contribuído para este comportamento contraditório, pois observou-se certa tendência de que as argamassas com maior quantidade de água apresentassem maior percentual de redução de massa.

Tabela 4.10 Variação percentual da massa específica do estado fresco para o endurecido, para o grupo I.

Traço	Massa específica (kg/dm ³)		Redução percentual de massa (%)
	no estado fresco	no estado endurecido	
T1-A	2,11	1,75	17,1
T2-A	2,12	1,76	17,0
T3-A	2,07	1,76	15,0
T4-A	2,07	1,77	14,5
T1-B	2,15	1,81	15,8
T2-B	2,07	1,78	14,0
T3-B	2,10	1,75	16,7
T4-B	2,11	1,77	16,1

b) Grupo II

A tabela 4.11 mostra os resultados da ANOVA, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na massa específica no estado endurecido. De acordo com a análise de variância, os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos são significativos.

Tabela 4.11 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na massa específica aparente no estado endurecido – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,033522	44,7712	4,24	S
Traço	2	0,209474	279,7710	3,39	S
Interação	2	0,036420	48,6425	3,39	S
Erro	25	0,000749	-	-	-

O comportamento das argamassas quanto à esta propriedade encontra-se na figura 4.41 (a) e (b), em função do tipo de cimento e do traço das argamassas, respectivamente. Da mesma forma, o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço encontra-se na figura 4.42.

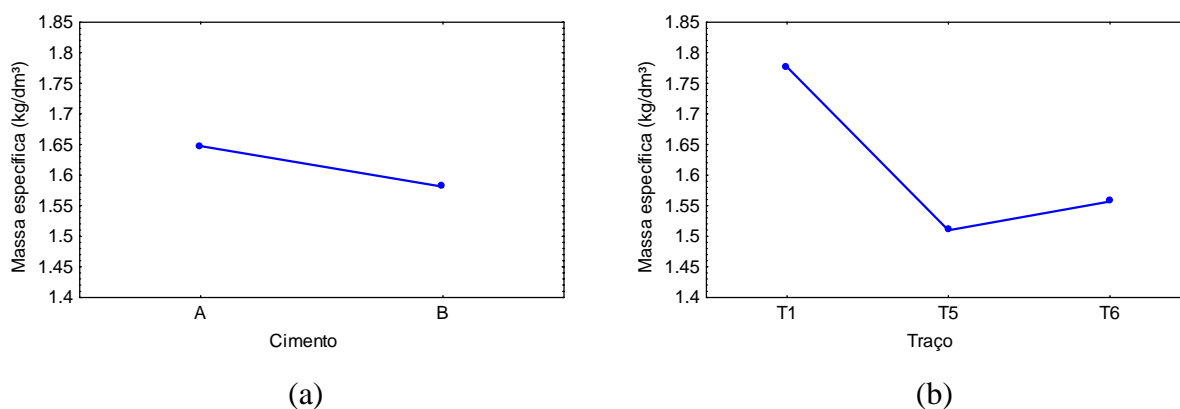


Figura 4.41 Comportamento das argamassas quanto à massa específica no estado endurecido – grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

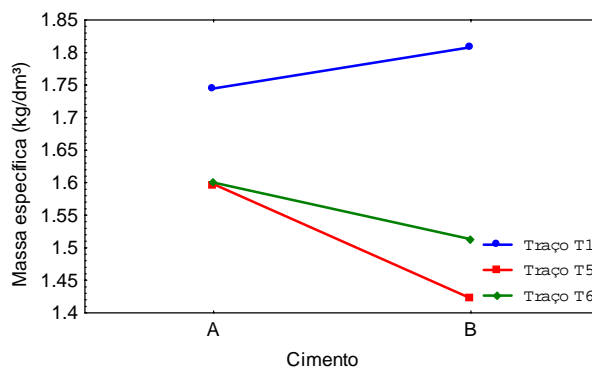


Figura 4.42 Massa específica no estado endurecido em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

As argamassas compostas com o cimento A apresentaram valores na faixa de 1,6 a 1,75 kg/dm³, enquanto que as argamassas compostas com o cimento B apresentaram uma faixa mais ampla, compreendida entre 1,42 a 1,81 kg/dm³, conforme a figura 4.43.

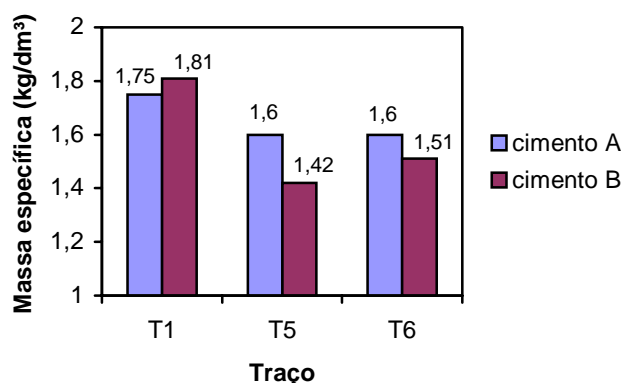


Figura 4.43 Massa específica no estado endurecido das argamassas do grupo II.

A tendência das curvas das figuras 4.41 e 4.42 estão de acordo com a tendência das curvas para a resistência à compressão (figuras 4.29 e 4.30), conforme o esperado. Os traços T6, apesar de não apresentarem as maiores massas específicas, possuem elevadas resistências à compressão, o que pode ser explicado, em parte, pelo efeito pozolânico da sílica ativa.

Houve uma redução de 8,6% do traço T1-A para os traços T5-A e T6-A, no entanto, esta redução foi maior ainda para as argamassas compostas pelo cimento B, sendo igual a 21,5% do traço T1-B para o T5-B e igual a 16,6% do traço T1-B para o T6-B. Os valores mais baixos dos traços T5 e T6 eram esperados, devido à incorporação de bolhas de ar, sendo que não existem diferenças significativas entre estes traços, para o cimento A, segundo a comparação múltipla de médias. Porém, esperava-se que a adição de sílica ativa contribuísse para o aumento desta propriedade, o que só ocorreu para a argamassa T6-B, produzida com o

cimento B. Esta situação pode ser explicada pela menor finura deste cimento, onde a adição de sílica ativa pode ter resultado numa distribuição granulométrica mais contínua.

De acordo com a figura 4.44, ao contrário do esperado, percebe-se a tendência de uma correlação bem definida entre esta propriedade e a relação água/aglomerante, diferentemente do comportamento observado para as argamassas do grupo I.

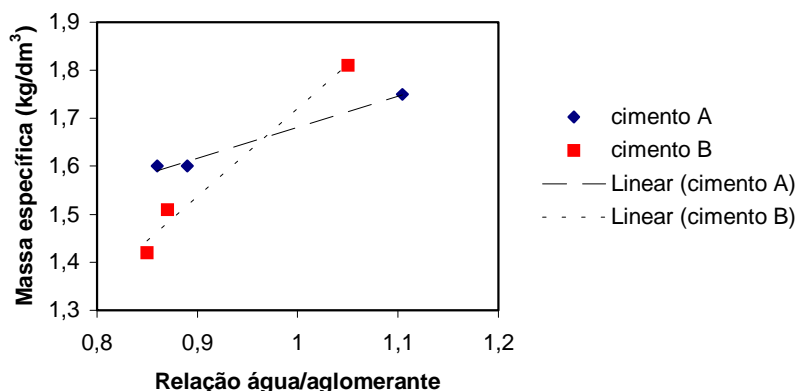


Figura 4.44 Variação da massa específica no estado endurecido com a relação água/aglomerante – grupo II.

Conforme a tabela 4.12, observa-se que os traços T6-A e T5-A apresentaram os menores percentuais de redução de massa, em relação ao traço T1-A, estando de acordo com o relatado por CALHAU & TRISTÃO (1999) para argamassas de cimento, cal e areia com aditivo incorporador de ar. O menor percentual de variação de massa, indicando melhor desempenho, provavelmente ocorreu devido a menor quantidade de água presente nestas argamassas, porém, para o cimento B, houve comportamento oposto, ou seja, os traços T5-B e T6-B, mesmo apresentando menores consumos de água, resultaram em argamassas com os maiores percentuais de redução de massa, onde o traço T6-B apresentou resultado semelhante ao do traço T1-B.

Tabela 4.12 Variação percentual da massa específica do estado fresco para o endurecido, para o grupo II.

Traço	Massa específica (kg/dm ³)		Redução percentual de massa (%)
	no estado fresco	no estado endurecido	
T1-A	2,11	1,75	17,1
T5-A	1,85	1,60	13,5
T6-A	1,83	1,60	12,6
T1-B	2,15	1,81	15,8
T5-B	1,70	1,42	16,5
T6-B	1,80	1,51	16,1

4.2.6 Absorção de água por imersão e índice de vazios

a) Grupo I

Os resultados analisados neste item foram calculados com os dados obtidos sem a fervura dos corpos-de-prova. Os resultados da ANOVA são mostrados na tabela 4.13, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na absorção por imersão. Através desta análise de variância, constatou-se que somente o fator traço e a interação entre os fatores traço e cimento são significativos.

Tabela 4.13 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na absorção por imersão – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,00099	0,0176	4,13	NS
Traço	3	11,55142	205,4893	2,87	S
Interação	3	1,20573	21,4489	2,87	S
Erro	34	0,056214	-	-	-

A figura 4.45 (a) e (b) demonstra o comportamento das argamassas quanto à absorção por imersão, em função do traço das argamassas e da interação entre os fatores cimento e traço, respectivamente.

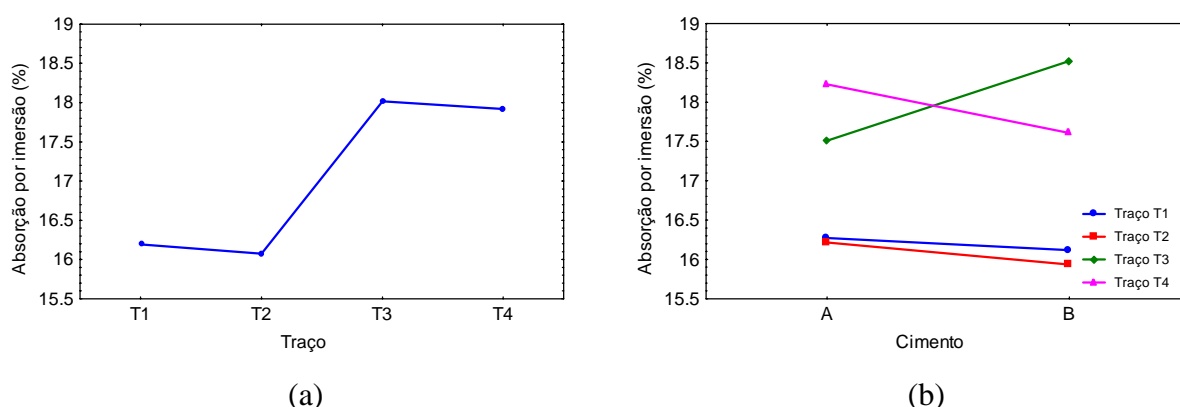


Figura 4.45 Comportamento das argamassas quanto à absorção por imersão – grupo I:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função da interação entre o tipo de cimento e os traços analisados.

De acordo com a figura 4.46, pode-se observar que, para as argamassas produzidas com o cimento B, o traço T3-B apresentou maior absorção, sendo predominante a influência da maior relação saibro/areia para o aumento da relação água/aglomerante e conseqüente

aumento da porosidade. Para o cimento A ocorreu o oposto, visto que, mesmo possuindo menor relação saibro/areia do que o traço T3-A, o traço T4-A apresentou maior capacidade de absorção. Uma possível explicação seria o aumento do teor de ar devido ao aumento da coesão da argamassa, porém este comportamento não ocorreu para o cimento B, sendo necessária a realização de outros ensaios para melhor compreensão deste comportamento.

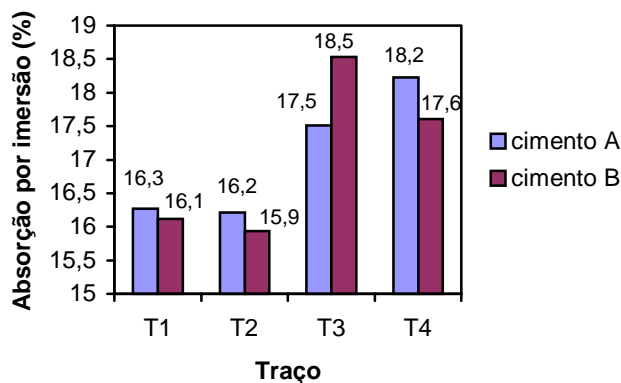


Figura 4.46 Absorção de água das argamassas do grupo I.

Com base na comparação múltipla de médias, não houve comportamento diferenciado entre os traços T1 e T2, para ambos os tipos de cimento, sendo também os que apresentaram os menores valores nesta propriedade. Este comportamento é justificado pelos menores teores de saibro, iguais a 14,8% e 12,6%, para T1 e T2, respectivamente, em relação à massa total de agregado, estando de acordo com o relatado por UNIKOWSKI (1982). Desta forma, os mais elevados valores de absorção dos traços T3-A e T3-B, conforme indica a figura 4.47, mesmo sendo apenas 1,2% e 2,4% superiores em relação aos traços T1-A e T1-B, respectivamente, são significativos e provavelmente devem-se ao maior teor de saibro presente, resultando em maior consumo de água dentre todas as argamassas e, conseqüentemente, maior porosidade.

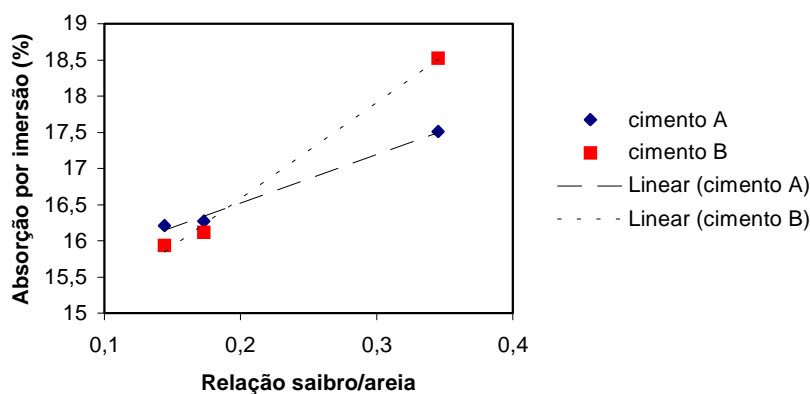


Figura 4.47 Variação da absorção por imersão com a relação saibro/areia.

Os traços T4, com adição de sílica ativa, não apresentaram melhoria de desempenho em relação aos traços T1, embora a absorção seja somente 1,8% superior, em média, é significativa, de acordo com a comparação múltipla de médias. Novamente, esta situação indica que devido ao elevado teor de finos na mistura, aliado à distribuição granulométrica apresentada pela sílica ativa, resultaram no não desenvolvimento do seu potencial de efeito microfíler, que deveria interromper os vazios capilares da argamassa, reduzindo desta forma a absorção. Ao contrário do esperado, até prejudicou esta propriedade ao proporcionar o aumento do seu valor.

A figura 4.48 mostra que, conforme o esperado, a absorção foi regida pela quantidade de água, onde constatou-se indícios de uma correlação bem definida entre a absorção e a relação água/materiais secos.

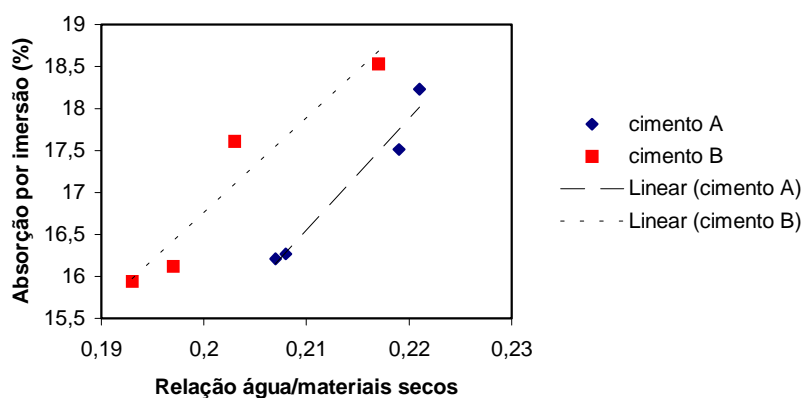


Figura 4.48 Variação da absorção por imersão com a relação água/materiais secos – grupo I.

O teor de cimento parece não influenciar na absorção por imersão, visto que os traços T1 possuem 26% de cimento a mais do que os traços T2, mesmo assim ambos apresentaram valores semelhantes, sendo notada a tendência de que esta propriedade tenha sido regida pela relação água/materiais secos, decorrente do teor de finos originado do saibro ou da distribuição granulométrica da argamassa.

Como a absorção por imersão está diretamente relacionada com os poros permeáveis, também existem indícios de correlação do índice de vazios com a relação água/materiais secos, de acordo com a figura 4.49. As observações feitas na absorção por imersão também podem ser comprovadas por esta figura. Com relação ao índice de vazios, também constatou-se, através da análise de variância, que o fator traço e a interação entre os fatores traço e cimento são significativos. Segundo a comparação múltipla de médias, não existem diferenças

significativas entre T1-A e T2-A, da mesma forma que ocorreu para a absorção, exceto pelo fato de ser somente para este tipo de cimento.

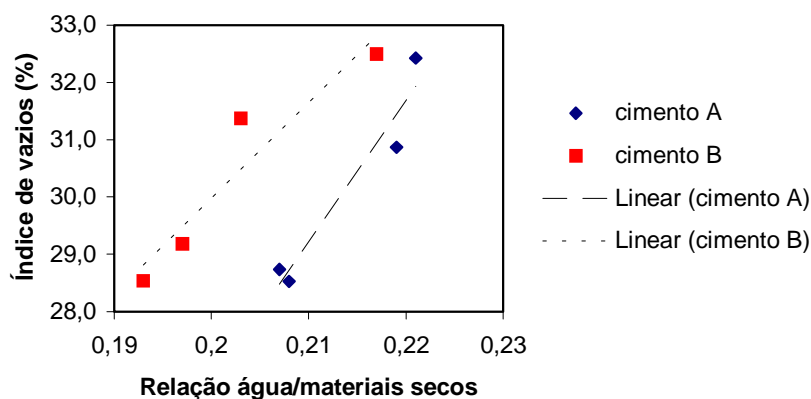


Figura 4.49 Variação do índice de vazios com a relação água/materiais secos – grupo I.

b) Grupo II

Os resultados da ANOVA encontram-se na tabela 4.14, ao avaliar a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados na absorção por imersão. Seguindo um comportamento diferente do observado nas argamassas do grupo I, através da análise de variância, verificou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores são significativos.

Tabela 4.14 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, na absorção por imersão – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,61104	6,2077	4,24	S
Traço	2	10,61751	107,8661	3,39	S
Interação	2	0,86522	8,79	3,39	S
Erro	25	0,098432	-	-	-

O comportamento das argamassas quanto à esta propriedade está indicado na figura 4.50 (a) e (b), em função dos tipos de cimento e do traço das argamassas, respectivamente. A figura 4.51 mostra o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

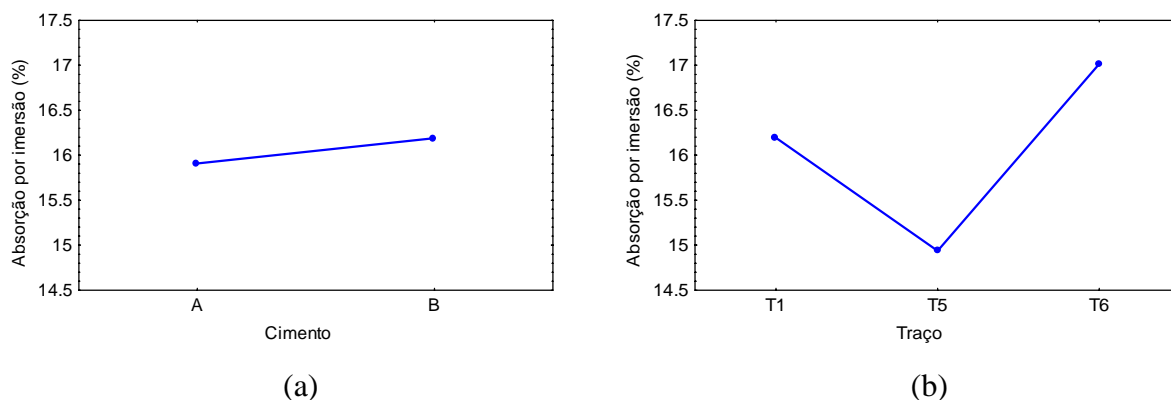


Figura 4.50 Comportamento das argamassas quanto à absorção por imersão – grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

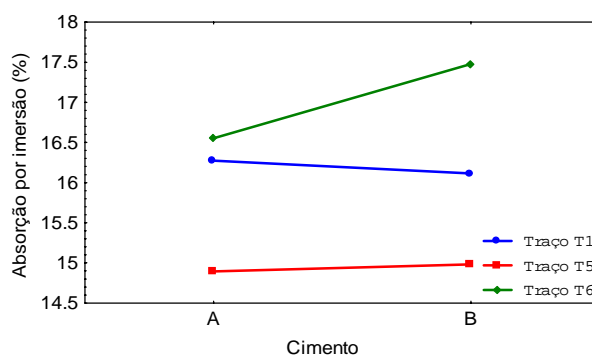


Figura 4.51 Absorção por imersão em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

Conforme o esperado, os traços T5-A e T5-B apresentaram os mais baixos valores de absorção, sendo 1,4% e 1,1% inferiores aos valores apresentados pelos traços T1-A e T1-B, respectivamente, indicando melhor desempenho para ambos os tipos de cimento, de acordo com a figura 4.52. Porém, esperava-se um maior percentual de redução nesta propriedade, devido à presença do aditivo incorporador de ar, que pode ter interrompido alguns poros capilares, assim como diminuiu a porosidade total proveniente da perda da água de amassamento, pois estas argamassas apresentaram os menores consumos de água.

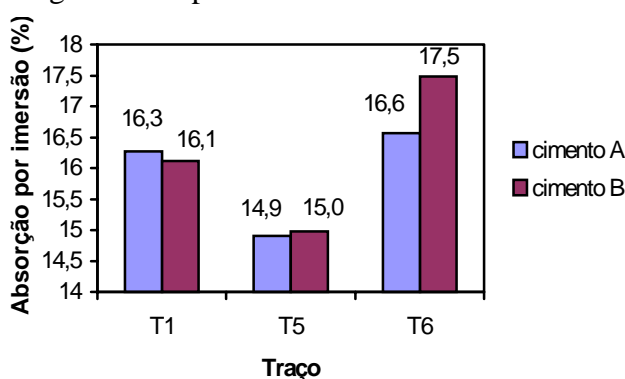


Figura 4.52 Absorção de água das argamassas do grupo II.

Segundo a comparação múltipla de médias, não existem diferenças significativas entre T1-A e T6-A. Para o cimento A, a adição de sílica ativa ao traço T6-A não contribuiu para a redução da absorção por imersão, ao contrário do esperado, ao apresentar absorção semelhante à do traço T1-A e 1,6% superior à absorção do traço T5-A, mesmo tendo relação água/materiais secos 5% inferior ao valor de T1-A. Entretanto, para o cimento B, a adição de sílica ativa ainda representou um incremento de 1,4% na absorção do traço T6-B, em relação ao traço T1-B, e 2,5%, em relação ao traço T5-B. Ressalta-se que estas diferenças, em termos percentuais, são bem reduzidas, porém devem ser consideradas significativas, segundo a comparação múltipla de médias. Mais uma vez, pode-se supor que a adição de sílica ativa resultou numa distribuição granulométrica uniforme, com excesso de finos e maior porosidade.

De acordo com a figura 4.53, pode-se verificar novamente que a absorção por imersão é regida pela quantidade de água presente na mistura, pois quanto maior a quantidade de água, maior será a porosidade da argamassa, resultando em maior absorção. Esta observação encontrou-se claramente definida para o cimento B, enquanto que o cimento A apresentou apenas uma certa tendência de correlação.

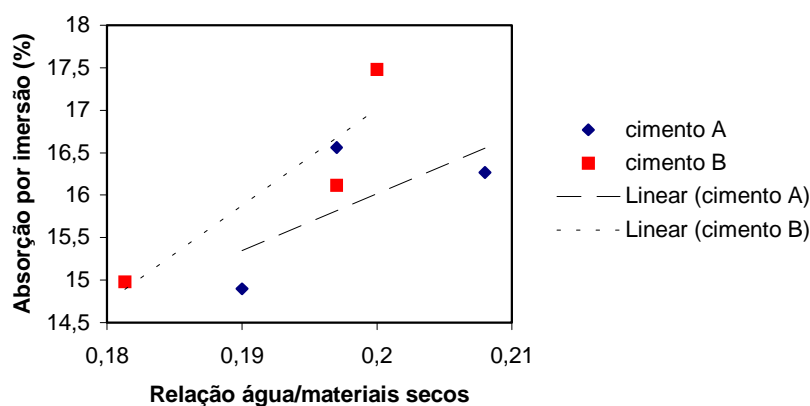


Figura 4.53 Variação da absorção por imersão com a relação água/materiais secos – grupo II.

Novamente, percebe-se a tendência de correlação do índice de vazios com a relação água/materiais secos, conforme indica a figura 4.54. Porém, através da comparação múltipla de médias, constatou-se que os traços T1-A e T6-A apresentaram índices de vazios diferentes, mesmo apresentando valores de absorção iguais, sendo que o traço T6-A apresentou índice de vazios 1,6% inferior ao valor de T1-A. Este comportamento pode ter ocorrido em função da maior finura do cimento A, onde a adição de sílica ativa teve os efeitos microfíler e pozolânico minimizados, devido à sua granulometria atípica. Com relação ao índice de vazios,

através da análise de variância, constatou-se que o fator traço e a interação entre os fatores traço e cimento são significativos, apresentando comportamento diferenciado da absorção por imersão.

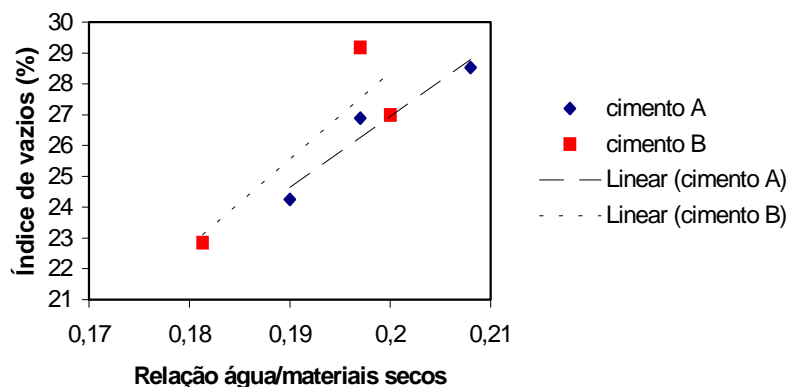


Figura 4.54 Variação do índice de vazios com a relação água/materiais secos – grupo II.

4.2.7 Absorção de água por capilaridade

a) Grupo I

Neste ensaio, além da absorção superficial aos 4320 minutos (72 horas), calculou-se também o coeficiente de absorção por capilaridade, sendo definido como a declividade da curva de capilaridade no seu trecho retilíneo. A curva de capilaridade é traçada com a raiz quadrada do tempo no eixo das abcissas e com a absorção superficial correspondente no eixo das ordenadas, conforme procedimento descrito em TRISTÃO (1995). Como era esperado, obteve-se correlação linear entre a absorção superficial e o coeficiente de absorção capilar, conforme a figura 4.55, sendo obtido o coeficiente de determinação de 99% para ambos os tipos de cimento.

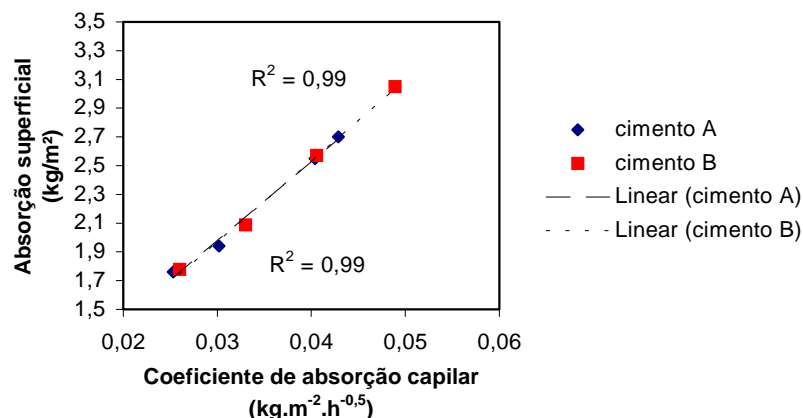


Figura 4.55 Relação entre o coeficiente de absorção capilar e a absorção superficial de água por capilaridade, aos 4320 minutos (72 horas) – grupo I.

Os resultados da ANOVA encontram-se na tabela 4.15, que avaliam a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados no coeficiente de absorção capilar. Através da análise de variância, constatou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade.

Tabela 4.15 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, no coeficiente de absorção capilar – grupo I.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,000054	13,2012	4,17	S
Traço	3	0,000683	168,18	2,92	S
Interação	3	0,000045	11,1373	2,92	S
Erro	30	0,000004	-	-	-

A figura 4.56 (a) e (b) demonstra o comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar, em função dos tipos de cimento e do traço das argamassas, respectivamente, enquanto que a figura 4.57 apresenta o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

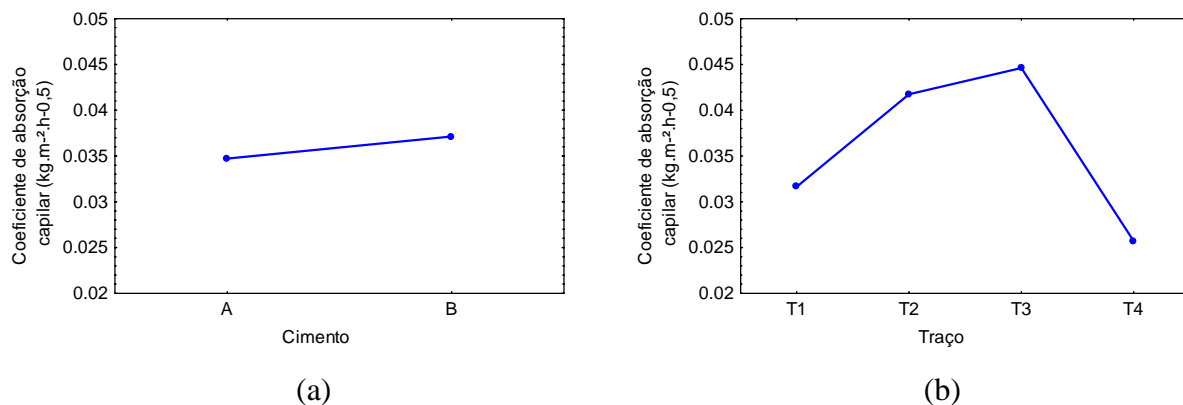


Figura 4.56 Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar – grupo I:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

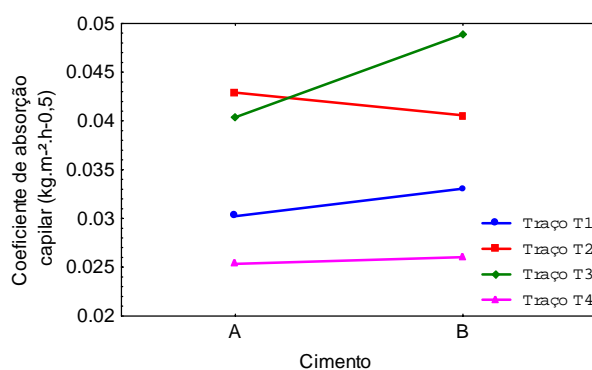


Figura 4.57 Coeficiente de absorção capilar em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo I.

As argamassas produzidas com o cimento A apresentaram coeficiente de absorção capilar entre 0,0253 e 0,0429 kg.m⁻².h^{-0.5}, enquanto que as argamassas produzidas com o cimento B apresentaram coeficiente entre 0,026 e 0,0489 kg.m⁻².h^{-0.5}, conforme mostra a figura 4.58.

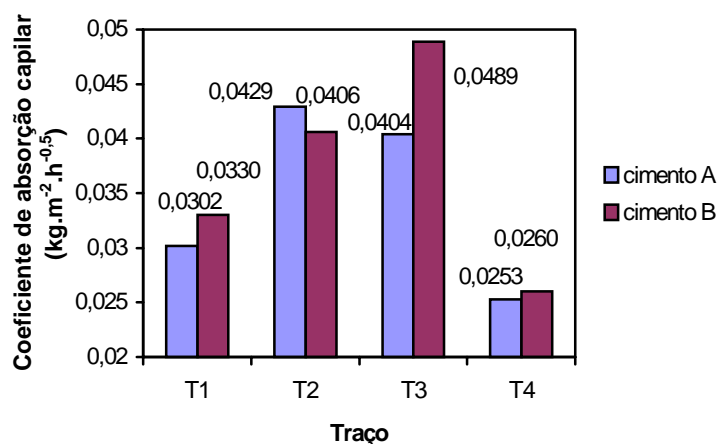


Figura 4.58 Coeficiente de absorção capilar das argamassas do grupo I.

Os traços T4 apresentaram os menores coeficientes de absorção capilar, para ambos os tipos de cimento, onde na figura 4.59 observa-se a tendência de que este coeficiente é proporcional à relação água/aglomerante. Portanto, os traços T4, que possuem menores consumos de água e menores relações água/aglomerante, apresentam melhor desempenho. Embora a distribuição granulométrica da sílica ativa não seja a mais adequada para haver o efeito microfíler, acredita-se que esta adição também tenha contribuído para a redução do número de poros capilares da argamassa.

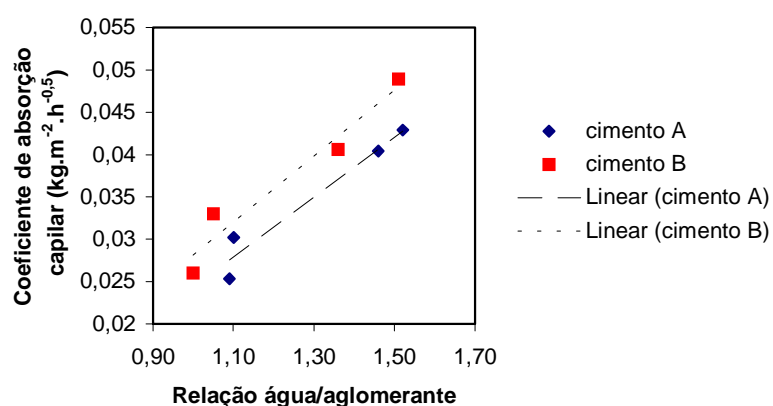


Figura 4.59 Variação do coeficiente de absorção capilar com a relação água/aglomerante – grupo I.

O traço T1, para o cimento A, apresentou coeficiente de absorção 16% maior do que o T4, enquanto que para o cimento B apresentou-se 21% maior, havendo uma tendência de melhor desempenho da sílica ativa para o traço com o emprego do tipo de cimento menos fino. As argamassas T1-A e T1-B apresentaram o segundo melhor desempenho, pois apresentaram relações água/aglomerante ligeiramente superiores às relações das argamassas T4-A e T4-B. Observa-se que estes traços contém o mesmo teor de saibro, em relação à areia. Os traços T2 e T3, para ambos os tipos de cimento, foram as argamassas que apresentaram o pior desempenho devido as maiores relações água/aglomerante, ocasionada pelo maior teor de agregado total, conforme exposto no item 4.2.1, onde através da comparação múltipla de médias constatou-se que, para o cimento A, não existem diferenças significativas entre estes dois traços.

Aparentemente, o desempenho das argamassas com sílica ativa pode parecer contraditório ao desempenho apresentado no item 4.2.6, porém o ensaio de absorção por imersão e o índice de vazios fornecem uma idéia da quantidade dos poros permeáveis, não indicando o tamanho e a distribuição destes poros. Na absorção capilar, o mecanismo de absorção desenvolve-se através dos poros capilares.

b) Grupo II

Neste grupo, também obteve-se excelente correlação entre a absorção superficial e o coeficiente de absorção capilar, conforme a figura 4.60. O coeficiente de determinação foi igual a 99% para as argamassas produzidas com ambos os tipos de cimento.

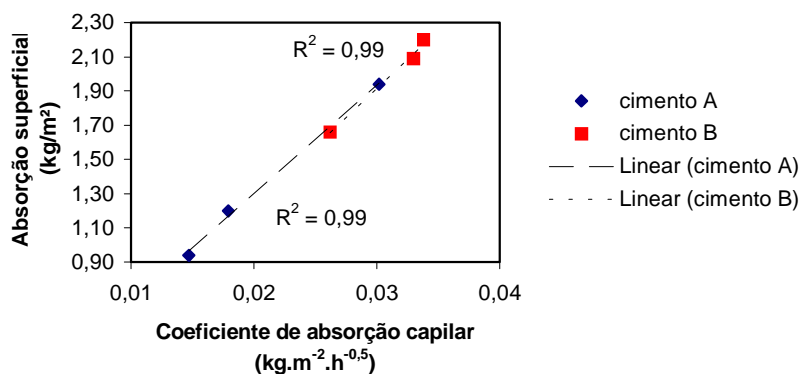


Figura 4.60 Relação entre o coeficiente de absorção capilar e a absorção superficial de água por capilaridade, aos 4320 minutos (72 horas) – grupo II.

A tabela 4.16 demonstra os resultados da ANOVA, que avaliam a influência do tipo de cimento e dos traços utilizados no coeficiente de absorção capilar. De acordo com esta análise, constatou-se que os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores são significativos, apresentando o mesmo comportamento observado nas argamassas do grupo I.

Tabela 4.16 Resultados da ANOVA da influência do tipo de cimento e dos traços utilizados, no coeficiente de absorção capilar – grupo II.

Fator	GDL	MQ	F _{calculado}	F _{0,05}	Significância
Cimento	1	0,000697	49,75767	4,3	S
Traço	2	0,000294	21,00379	3,44	S
Interação	2	0,000104	7,43041	3,44	S
Erro	22	0,000014	-	-	-

O comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar consta na figura 4.61 (a) e (b), em função dos tipos de cimento e do traço das argamassas, respectivamente. A figura 4.62 demonstra o comportamento da interação entre os fatores cimento e traço.

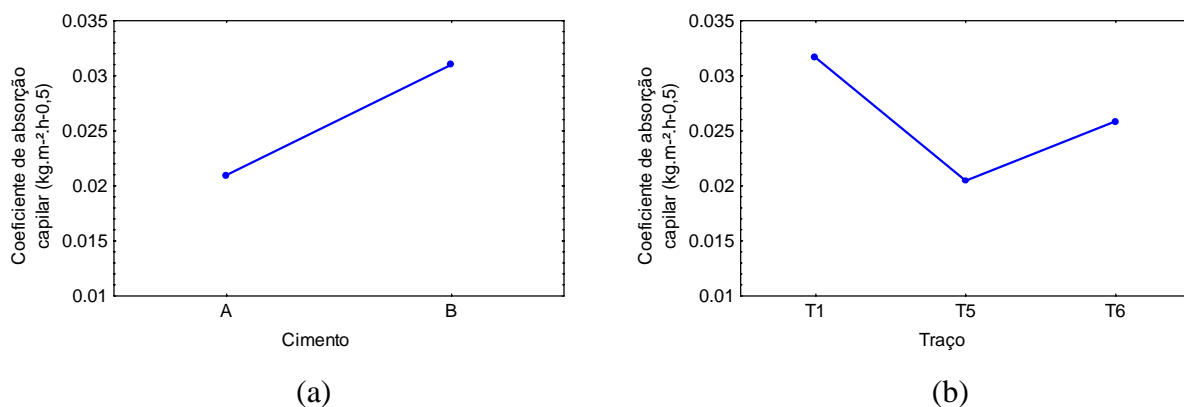


Figura 4.61 Comportamento das argamassas quanto ao coeficiente de absorção capilar grupo II:
 (a) em função do tipo de cimento;
 (b) em função dos traços analisados.

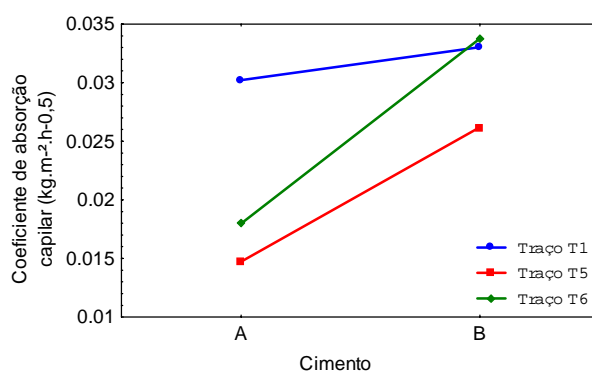


Figura 4.62 Coeficiente de absorção capilar em função da interação entre os fatores tipo de cimento e traço das argamassas – grupo II.

De acordo com a figura 4.63, as argamassas produzidas com o cimento A apresentaram uma faixa mais ampla, com o coeficiente de absorção capilar entre 0,0147 e 0,0302 $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-0,5}$. As argamassas produzidas com o cimento B apresentaram coeficientes entre 0,0262 e 0,0338 $\text{kg.m}^{-2}.\text{h}^{-0,5}$.

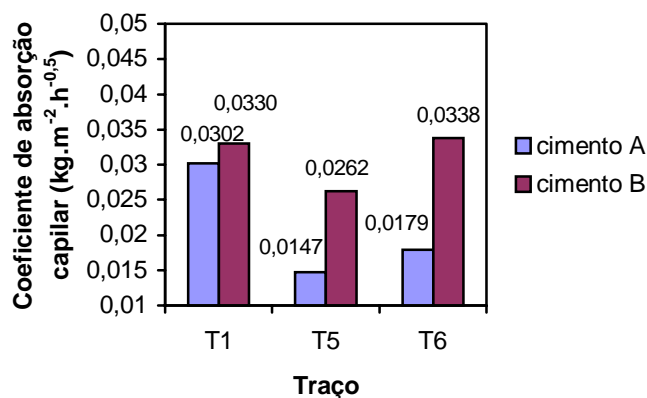


Figura 4.63 Coeficiente de absorção capilar das argamassas do grupo II.

Para o cimento A, o traço T5-A apresentou o melhor desempenho, ou seja, o menor coeficiente, cerca de 51,3% inferior ao apresentado pelo traço T1-A, seguido pelo traço T6-A, sendo que a comparação múltipla de médias constatou que não existem diferenças significativas entre os traços T5-A e T6-A. Para o cimento B, o traço T5-B apresentou o mais baixo valor, 20,6% inferior ao observado no traço T1-B e, portanto, o melhor desempenho, seguido pelos traços T1-B e T6-B, os quais são estatisticamente iguais, segundo a comparação múltipla de médias. O melhor desempenho dos traços T5-A e T5-B já era esperado, em virtude do efeito do ar incorporado pelo aditivo, que contribuiu para o impedimento da passagem de água para o interior da argamassa. As bolhas de ar incorporado desta forma interromperam parte dos poros capilares destas argamassas.

Entretanto, a adição de sílica ativa aos traços T6-A e T6-B não representou melhoria do seu desempenho. No cimento A, o traço T6-A ainda apresentou desempenho semelhante ao do traço T5-A, porém no cimento B, seu coeficiente de absorção capilar ainda se mostrou 22,5% superior ao do traço T5-B. Acredita-se que as bolhas de ar provenientes do aditivo já tenham interrompido o maior número possível de poros capilares, sendo que a sílica ativa não foi eficiente no preenchimento destes poros, resultando numa argamassa com maior teor de finos total e, conseqüentemente, mais porosa e com maior coeficiente de absorção. Estes resultados se mostram coerentes ao serem comparados com os resultados da absorção de água por imersão.

Ao contrário das argamassas do grupo I, a figura 4.64 mostra tendência de correlação bem definida entre a variação do coeficiente de absorção capilar e a relação água/aglomerante somente para as argamassas produzidas com o cimento A, onde percebe-se que o aumento da relação água/aglomerante reflete em aumento do coeficiente de absorção, conforme o esperado. Para o cimento B, este comportamento deve-se principalmente ao desempenho apresentado pela argamassa T6-B.

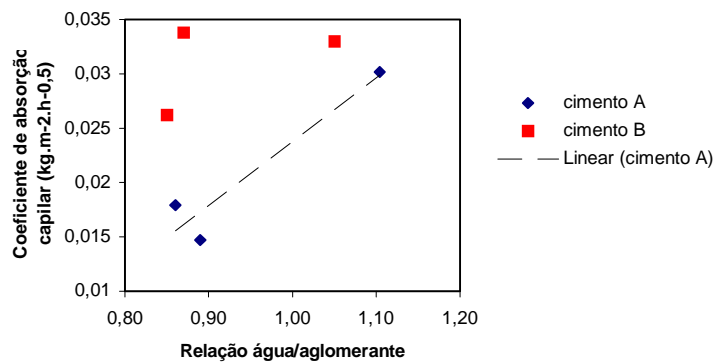


Figura 4.64 Variação do coeficiente de capilaridade com a relação água/aglomerante – grupo II.

De um modo geral, observou-se que as argamassas com maior consumo de cimento apresentaram os menores valores para o coeficiente de absorção capilar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ausência de adequados critérios técnicos, no que se refere ao uso de argamassas com os materiais locais de Belém-PA, torna freqüente a ocorrência de diversas manifestações patológicas, o que tem resultado na busca de outros materiais que possam melhorar o desempenho destas argamassas, como os aditivos incorporadores de ar. Em função desta situação, este trabalho teve o objetivo principal de identificar e caracterizar o comportamento das argamassas mais utilizadas na expectativa de contribuir para o estabelecimento de parâmetros para o emprego dos materiais locais, tais como o saibro, bem como do aditivo incorporador de ar como agente plastificante.

A partir dos resultados obtidos no levantamento exploratório e no estudo experimental, obteve-se diversas conclusões que são apresentadas neste capítulo. Estas conclusões restringem-se ao âmbito desta pesquisa, sendo necessária a realização de outras pesquisas que possam estabelecer o embasamento para o completo entendimento do comportamento destas argamassas para revestimentos externos. Desta forma, também são feitas algumas sugestões para futuros trabalhos.

5.1 ESTUDO EXPLORATÓRIO

Na primeira fase do programa experimental foi realizada uma pesquisa exploratória em empresas de construção civil na cidade de Belém-PA (item 3.1), com o objetivo de identificar os traços e os materiais mais utilizados para argamassas de revestimento externo.

Entre as empresas de construção civil pesquisadas, observou-se que não houve grande variação na relação aglomerante/agregado, situada entre 1:4,33 e 1:6,05, em massa, sendo percebido também pouca variação na proporção saibro/areia da fração agregado, ao contrário do relatado na literatura. Com relação aos materiais utilizados, destaca-se o uso de até três tipos diferentes de cimento. Percebeu-se também o uso crescente de diversos tipos de aditivos impermeabilizantes com o objetivo de melhorar o desempenho das argamassas, bem como o uso de aditivos plastificantes, substituindo o tradicional saibro.

Esta situação levou à constatação de que 72% das empresas pesquisadas executam empreendimentos somente com o revestimento externo em cerâmica, não somente devido ao

critério do padrão de acabamento utilizado, mas também provavelmente devido à grande incidência de manifestações patológicas nos revestimentos produzidos com argamassa. Foi observada também a necessidade de estudos para a adequação de traços com aditivos plastificantes, bem como grande interesse no uso de argamassas industrializadas.

5.2 ESTUDO EXPERIMENTAL

Partindo-se dos traços especificados na tabela 3.8, as argamassas foram divididas em dois grupos para a análise dos resultados, com exceção da avaliação da trabalhabilidade. O **grupo I** compreende as argamassas T1, T2, T3 e T4, produzidas com dois tipos de cimento, avaliando a influência do teor de saibro e dos agregados nas argamassas, bem como avalia os efeitos da adição de sílica ativa na argamassa com saibro. O **grupo II** compreende as argamassas T1 (argamassas de referência), T5 e T6, também produzidas com dois tipos de cimento, onde são analisados os efeitos do aditivo incorporador de ar em substituição ao saibro, além dos efeitos da adição de sílica ativa na argamassa com aditivo incorporador de ar.

a) Trabalhabilidade

Com relação à variação do índice de consistência, as argamassas apresentaram 3 faixas de comportamento. As argamassas T2 e T3 apresentaram as maiores relações água/aglomerante, seguidas pelas argamassas T1 e T4, com relações inferiores as da primeira faixa. Esta situação deve-se principalmente ao maior teor de agregados, para obter o volume de pasta suficiente para envolvê-los. A terceira faixa, constituída pelos traços T5 e T6 apresentou as menores relações água/aglomerante (e menores consumos de água) devido à presença do aditivo químico e aos teores mais baixos de agregados. As argamassas produzidas com o cimento B apresentaram menores relações água/aglomerante, para uma mesma relação agregado/aglomerante.

b) Massa específica no estado fresco

- Grupo I: Os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam a massa específica, sendo mais forte a influência da interação. Os traços T3-A, T4-A e T2-B apresentaram os mais baixos valores. A adição de sílica ativa aos traços T4 não

representou melhoria de desempenho em relação aos traços T1. Foi observada uma tendência de que o aumento do teor de saibro contribui para a redução desta propriedade.

- Grupo II: Os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade, onde o traço exerce influência mais forte. Os traços T5-B e T6-B, com aditivo incorporador de ar, apresentaram os menores resultados. A adição de sílica ativa não influenciou esta propriedade para a argamassa produzida com o cimento A. Existe uma tendência muito clara de que o aumento da relação água/aglomerante reflete em aumento da massa específica.

c) Retenção de água

- Grupo I: Somente o traço exerce influência significativa nesta propriedade. Todas as argamassas apresentaram retenção superior a 80%, onde os traços T3 e T4 apresentaram os melhores resultados, devido ao maior teor de saibro (T3) e ao maior teor de finos total (T4). A adição de sílica ativa só contribuiu para a melhoria do desempenho do traço T4-A. Houve fortes indícios da influência do teor de argila na retenção, prevalecendo sobre a influência do consumo de cimento.
- Grupo II: Os fatores cimento, traço e a interação entre os mesmos influenciam a variação da retenção, sendo mais forte a influência do traço. As argamassas apresentaram retenção superior a 80%, com exceção do traço T5-B. A substituição do saibro pelo aditivo incorporador de ar foi mais eficaz com a adição de sílica ativa, principalmente para o cimento A, visto que as argamassas com aditivo apresentaram o pior desempenho.

d) Resistência mecânica

- Grupo I: Os fatores cimento, traço e a interação entre estes fatores são significativos, onde o fator traço exerceu influência mais forte. Os traços T2 e T3 apresentaram os mais baixos valores, mesmo assim, estas resistências encontram-se muito acima do necessário, refletindo em elevados consumos de cimento. A adição de sílica ativa resultou num aumento médio de 22% na resistência. Foi observada a tendência de que a relação saibro/areia de 0,173 foi a adequada para obtenção de maior resistência. Esta propriedade foi regida pela relação aglomerante/agregado e pela relação água/aglomerante.

A resistência à tração por compressão diametral apresentou o mesmo comportamento da resistência à compressão, onde o traço também exerceu influência mais forte. A relação entre as resistências à tração e à compressão manteve-se entre 6 e 8%. Deste modo, pode-se afirmar que as argamassas com saibro podem apresentar menor capacidade de deformação do que as argamassas com cal, de uma forma qualitativa, onde a adição de sílica ativa pode contribuir mais para o aumento da capacidade de deformação.

- Grupo II: Os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade, onde a influência do traço e do tipo de cimento se mostraram mais fortes. Os traços T5, com aditivo incorporador de ar, apresentaram os menores valores. A presença de sílica ativa representou incremento de resistência somente para o traço T6-A, devido à ação conjunta da adição mineral e do incorporador de ar. Novamente, as resistências encontram-se muito acima do necessário, onde todas estas argamassas em estudo podem estar mais sujeitas à incidência de fissuras, por serem muito rígidas.

Com relação à resistência à tração por compressão diametral, os fatores traço, cimento e a interação entre os fatores influenciam esta propriedade, sendo mais forte a influência do traço. Somente para as argamassas produzidas com o cimento B houve indícios de correlação bem definida entre as resistências à tração e à compressão. Neste grupo, a relação entre as resistências apresentou uma faixa mais baixa, entre 5,1% e 7,7%, sendo que as argamassas T6 apresentaram menor capacidade de deformação enquanto que T1 e T5 apresentaram desempenho semelhantes.

e) Massa específica no estado endurecido

- Grupo I: Os fatores traço, cimento e a interação entre eles influenciam a variação desta propriedade, sendo mais forte a influência do tipo de cimento e da interação. De um modo geral, as argamassas produzidas com o cimento B apresentaram maior massa específica. As argamassas T3-B e T4-B apresentaram os mais baixos valores, sendo que a adição de sílica ativa não contribuiu para o aumento desta propriedade. As argamassas com o cimento A apresentaram valores estatisticamente iguais. Quanto ao percentual de variação de massa, o melhor desempenho foi apresentado pelas argamassas T4-A e T3-A, bem como pelos traços T2-B e T1-B, este comportamento contraditório ocorreu provavelmente devido à utilização de um intervalo amplo para o índice de consistência, sendo desejável

outros estudos com o uso de um intervalo menor de variação de consistência para um melhor conhecimento deste comportamento.

- Grupo II: Os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores são significativos, onde o traço exerceu maior influência. As argamassas T5 e T6 apresentaram os mais baixos valores, onde a adição de sílica ativa aos traços T6 só contribuiu para o aumento desta propriedade para o cimento B. Com relação ao percentual de redução de massa, as argamassas T5-A e T6-A apresentaram os menores valores, não sendo observado o mesmo comportamento para as argamassas produzidas com o cimento B.

f) Absorção de água por imersão

- Grupo I: Somente o fator traço e a interação entre os fatores traço e cimento influenciam na variação desta propriedade, sendo mais forte a influência do traço. Os traços T3 e T4 apresentaram as maiores capacidades de absorção. Constatou-se tendência de que o aumento do teor de saibro reflete em aumento da absorção. A presença de sílica ativa nos traços T4 não representou melhoria nesta propriedade. Verificou-se que o consumo de cimento não influenciou esta propriedade, havendo predominância da relação água/materiais secos. O índice de vazios esteve diretamente relacionado com a absorção, apresentando o mesmo comportamento.
- Grupo II: Os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores influenciaram esta propriedade, onde o traço exerceu maior influência. Os traços T5 apresentaram o melhor desempenho, com a menor absorção, porém a adição de sílica ativa aos traços T6 até prejudicou esta propriedade, ao aumentar seu valor para o traço T6-B. Constatou-se a tendência de que esta propriedade seja diretamente proporcional à quantidade de água presente, através da relação água/materiais secos. O índice de vazios apresentou comportamento diferenciado, onde somente os fatores traço e cimento são significativos, porém também esteve diretamente relacionado com a absorção.

g) Absorção de água por capilaridade

- Grupo I: Obteve-se correlação linear entre a absorção superficial e o coeficiente de absorção capilar. Os fatores traço, cimento e a interação entre estes fatores são significativos. Os traços T4 apresentaram os menores coeficientes de absorção,

possivelmente devido à presença de sílica ativa e do menor consumo de água, visto que houve a tendência de correlação bem definida entre o coeficiente de absorção e a relação água/aglomerante. De um modo geral, quanto maior o teor de agregado, maior o coeficiente de absorção, em média.

- Grupo II: Neste grupo também obteve-se correlação linear entre a absorção superficial e o coeficiente de absorção capilar. Os fatores traço, cimento e a interação entre os mesmos influenciam esta propriedade. Os traços T5-A, T6-A e T5-B apresentaram os mais baixos coeficientes de absorção. A adição de sílica ativa não contribuiu para a melhoria de desempenho, principalmente para o traço T6-B, ao aumentar o seu valor. Só houve tendência de correlação bem definida entre a variação do coeficiente de absorção e a relação água/aglomerante para as argamassas compostas pelo cimento A. As argamassas com maior consumo de cimento apresentaram os menores coeficientes de absorção.

Com base nestes resultados pode-se concluir que o estudo exploratório permitiu a caracterização dos materiais e a identificação dos traços mais utilizados, assim como a pesquisa experimental permitiu avaliar o desempenho das argamassas selecionadas e das inovações propostas, através dos ensaios comparativos. Neste contexto, pode-se afirmar que existe influência significativa do tipo de cimento empregado e do teor de saibro, em relação à quantidade total de agregado, na maioria das propriedades analisadas.

Quanto às hipóteses formuladas, elas não foram confirmadas, visto que a substituição do saibro pelo aditivo incorporador de ar nem sempre apresentou os efeitos esperados. A adição de sílica ativa também não representou melhoria de desempenho, tanto para as argamassas produzidas com saibro, como para as argamassas produzidas com aditivo químico. Esta situação pode ter ocorrido devido à granulometria atípica apresentada pela sílica ativa, prejudicando principalmente as propriedades relacionadas com a permeabilidade e a durabilidade das argamassas.

5.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Como complemento deste trabalho e para o melhor entendimento do comportamento das argamassas analisadas, sugere-se a realização dos seguintes estudos:

- a) determinação do desempenho destas argamassas após a aplicação do revestimento;
- b) nova avaliação dos efeitos da adição de sílica ativa, com a granulometria usual, nos estados fresco e endurecido;
- c) avaliação dos efeitos da granulometria saibro-areia nas propriedades das argamassas;
- d) avaliação da influência dos processos de mistura e aplicação na porosidade das argamassas com aditivo incorporador de ar;
- e) determinação da influência da sílica ativa e do aditivo incorporador de ar na estrutura dos poros da pasta, através de técnicas como a microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a porosimetria por intrusão de mercúrio.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. G. **Efeito das adições minerais na resistividade elétrica de concretos convencionais**. Porto Alegre, 1998. 126p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- AGOPYAN, V. A importância da pureza dos agregados para argamassas e concretos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1986. p. 115-119.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 226. Silica fume in concrete. **ACI Materials Journal**, v. 84, n. 2, p. 158-166, Mar./Apr. 1987.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C-270-92a. **Standard specification for mortar for unit masonry**. Philadephy, 1993.
- ARAÚJO, G. A. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió (AL) para revestimentos**. Porto Alegre, 1996. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de agregados: NBR 7216**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados em estado solto: determinação da massa unitária – Método de ensaio: NBR 7251**. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados – ensaio de qualidade de agregado miúdo: NBR 7221**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: determinação da composição granulométrica - Método de ensaio: NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapmann: NBR 9776**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo – Método de ensaio: NBR 7220**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis – Método de ensaio: NBR 7218**. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados: determinação do teor de materiais pulverulentos – Método de ensaio: NBR 7219**. Rio de Janeiro, 1987.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto – Especificação: NBR 7211.** Rio de Janeiro, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados miúdos para concretos: determinação do inchamento – Método de ensaio: NBR 6467.** Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto – Procedimento: NBR 7389.** Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos – Método de ensaio: NBR 7222.** Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica – Método de ensaio: NBR 9778.** Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade – Método de ensaio: NBR 9779.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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: NBR 13278.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência à compressão – Método de ensaio: NBR 13279.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água – Método de ensaio: NBR 13277.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos: determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão – Método de ensaio: NBR 13276.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland composto - Especificação: NBR 11578.** Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland: determinação da resistência à compressão: NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó: determinação da massa específica – Método de ensaio: NBR 6474.** Rio de Janeiro, 1984.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm: determinação da massa específica – Método de ensaio: NBR 6508.** Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Classificação: NBR 13530.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação: NBR 13749.** Rio de Janeiro, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia: NBR 13529.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e solos – Terminologia: NBR 6502.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: análise granulométrica – Método de ensaio: NBR 7181.** Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos – Método de ensaio: NBR 12004.** Rio de Janeiro, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do limite de liquidez – Método de ensaio: NBR 6459.** Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo: determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio: NBR 7180.** Rio de Janeiro, 1984.
- BARATA, M. S. **Concreto de alto desempenho no estado do Pará: Estudo de viabilidade técnica e econômica de produção do CAD com materiais disponíveis em Belém, através do emprego de adição de sílica ativa e metacaulim.** Porto Alegre, 1998. 153 p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BERRA, M.; FERRARA, G.; TAVANO, S. Behaviour of high erosion-resistant silica fume-mortars for repair of hydraulic structures. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 3., 1989, Trondheim, Norway. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. 2v. v.2, p. 827-847. (ACI Special Publication, 114).
- BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais.** Porto Alegre, 1999. 138p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 15-25.

- BOMBLED, J. P.; KALVANES, O. Comportment rhéologique des pâtes, mortiers et bétons: mesure, évolution, influence de certains paraèters. **Révue des Materiaux de Construction et de Travaux Publics: Cements et Bétons**, Paris, n. 617, fév. 1967.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5262 – External Rendered Finishes**. London: BSI, 1976, 21p. (Code of Practice 221).
- CABRERA, J. L. A. La adherencia en los morteros de albañilería. **Materiales de Construcción**, v. 45, n. 240, p. 47-52, oct./nov./dic. 1995.
- 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, 1999. p. 219-230.
- CAMPAGNOLO, J. L.; JAWOROSKI, H. C. Análise do desempenho de aditivos substitutivos da cal para argamassas de assentamento. In: **SIMPÓSIO SOBRE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES – PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO**, 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989. p. 213-228.
- CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. In: **MODERNIDADE E SUSTENTABILIDADE**, 2000, Salvador. **Anais...** Salvador: ANTAC, 2000. 2v. v.2, p. 900-907.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988, 2.v v.1.
- CARASEK, H. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. São Paulo, 1996. 285p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O; SANTOS, P. de F. dos. Avaliação de revestimentos em argamassa contendo saibro. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995a. p. 247-260.
- CARASEK, H.; CASCUDO, O; SANTOS, P. de F. dos. Estudo do comportamento das argamassas de assentamento contendo saibro. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995b. p. 153-164.
- CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. Avaliação da trabalhabilidade para argamassas de assentamento e revestimento. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO**, 1., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1993. p. 407-426.
- CARDOSO, F. F. **Vedações verticais**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, 1987.

- CARNEIRO, E. F.; ANDRADE, J. R. A.; ALMEIDA JR., W. Avaliação dos reparos executados na soleira do vertedouro da UHE Porto Primavera. In: REUNIÃO DO IBRACON, 38., 1996, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1996. 2v. v.1, p. 393-398.
- CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** São Paulo, 1999. 170p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia – sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre.** Porto Alegre, 1993. 85p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. Requisitos e critérios de desempenho para revestimento de camada única em argamassas de cimento e cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 326-337.
- CARVALHO, C. H.; CAVALCANTI JR., D. de A. Argamassas com adição utilizadas em Aracaju. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 162-172.
- CARVALHO FILHO, A. C. et al. Caracterização das argamassas usuais na região metropolitana do Recife/PE. In: QUALIDADE E TECNOLOGIA NA HABITAÇÃO, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. 2v. v.2, p. 743-748.
- CASCUDO, O. et al. (1993). **Estudo experimental de argamassas empregando saibros da região metropolitana de Goiânia-GO;** relatório técnico. Goiânia, 1993. Universidade Federal de Goiás.
- CASCUDO, O.; CARASEK, H. O saibro nas argamassas de assentamento – estudo de trabalhabilidade e comportamento no estado endurecido – parte 1. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1994. p. 84-93.
- CAVALHEIRO, O. P. Argamassa de assentamento: receita, dosagem ou adequação de traço? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 134-142.
- CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 110-119.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. Conditions générales d’emploi et de mise en oeuvre des enduits d’imperméabilisation de murá base de liants hydrauliques faisant l’objet d’un avis technique. **Cahiers du CSTB**, Paris, CSTB, n. 230, cahier 1777, juin 1982, 7p.

- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT – CSTB. Certifications des enduits monocouches d'imperméabilisation – Modalités d'essais. **Cahiers du CSTB**, Paris, CSTB, n. 341, cahier 2669-4, juil./août 1993, 7p.
- CHENG YI, H.; FELDMAN, R. F. Influence of silica fume on the microstructural development in cement mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 15, n. 2, p. 285-294, 1985.
- CIB Report. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. **Working with the performance approach in building**. Rotterdam: CIB, 1982. (Publication 64).
- CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória, 1999. p. 59-68.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Publicação IPT 2378)
- CINTRA, C. C.; MIGUEL JR., I.; PEREIRA, W. L. **O emprego do saibro nas argamassas de assentamento e revestimento**. Goiânia, 1994. Universidade Federal de Goiás. [não publicado]
- COSTA, M. L.; ANGÉLICA, R. S.; AVELAR, J. O. G. Outeiro e Mosqueiro: exemplos de evolução laterítica imatura. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 3., 1991, Belém. **Anais...** Belém, 1991. p. 479-494.
- COSTA, T. C. D. **Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando a aplicação e formulação de diretrizes para a cartografia da área metropolitana de Belém, escala 1:50.000**. Belém, 2001. Tese (Doutorado em andamento). Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará.
- DASTOL, M. Produção e propriedades da microssílica da Elkem. In: SEMINÁRIO TECNOLÓGICO DA ELKEM MICROSSÍLICA, 1., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo, ELKEM, 1984. p.1-19.
- DETWILER, R. J.; MEHTA, P. K. Chemical and physical effects of silica fume on the mechanical behavior of concrete. **ACI Materials Journal**, v. 86, n. 6, p. 609-614, Nov./Dec. 1989.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 18550 – Part 1 – Plasters, terminology and requirements**. Berlin, DIN, Jan. 1985. 13p.
- FILOMENO, O. L. Estudo comparativo entre argamassas de assentamento de cimento-cal e cimento-saibro. In: AVANÇOS EM TECNOLOGIA E GESTÃO DA PRODUÇÃO DE EDIFICAÇÕES, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 1993. 2v. v.1, p. 297-306.
- FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudo e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

- GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 117-133.
- GASTALDINI, A. L. G. et al. Influência das adições minerais na porosidade de pastas de cimento Portland. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 4., 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1996. p. 119-136.
- GOMES, C. F. **Argilas - o que são e para que servem.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988.
- GOMES, A. M.; NERO, J. M. G.; APPLETON, J. A. S. Novo método para a avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 83-91.
- GOMES, A. de O. **Influência dos argilominerais nas propriedades das argamassas de revestimento em Salvador: uma contribuição à qualidade ambiental.** Salvador, 2000. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia.
- GOODWIN, J. F.; WEST, H. W. **A review of literature on brick/mortar bond.** The British Ceramic Research Association. July, 1980. (Technical Note, n. 308)
- GOULART NETO, A. A. et al. Reparos com argamassa de cimento e microsílica. In: REUNIÃO DO IBRACON, 37, Goiânia, GO. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1995. 2v. v.2, p. 585-600.
- GRIM, R. E. **Applied clay mineralogy.** São Paulo: McGraw-Hill, 1962.
- GRIMM, C. T. Effect of mortar air content on masonry. **The Masonry Society Journal**, v. 14, n. 2, p. 21-24, Dec. 1996.
- GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na Engenharia Civil.** São Paulo: Pini, 1998.
- HAN, K.; KISHITANI, K. A study on the bond strenght of brick masonry mortars. **Journal of the Faculty of Engineering, The University of Tokio (B)**, v. 37, n. 4, p. 757-798, Sept. 1984.
- HERNÁNDEZ, Y.; RINCÓN, O. de; FERNÁNDEZ, R. Estudio de mezclas especiales com ceniza volante y microsílica en ambientes marinos. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES, 5., CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD, 7., 1999, Montevideo. **Anais...** Montevideo, 1999. 3v. v.1, p. 279-287.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. **Estanqueidade.** São Paulo, IPT, 1981. p. 23-25. (Série de avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares, 3)

- IOPPI, P. R. **Estudo da aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto**. Florianópolis, 1995. 135p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ISBERNER, A. W. **Masonry mortars – a progress report**. Skokie, Portland Cement Association, 1964. (Report PCA.R&D.SER.1086)
- JOHN, V. et al. Cal x aditivos orgânicos. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 11, p. 25-28, jul./ago. 1994.
- JOISEL, A. **Fisuras y grietas en morteros y hormigones: sus causas y remedios**. 5. ed. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1981.
- JUNG, E. The binding between mortar and brick. In: INTERNATIONAL BRICK AND BLOCK CONFERENCE, 8., 1988, Dublin. **Proceedings...** London: Elsevier, 1988. v.1, p. 182-193.
- KAMPF, L. Workability of masonry mortars. **Materials, Research and Standard**, Easton, p. 7-8, Jan. 1961.
- KULAKOWSKI, M. P. **Argamassa com adição de microssílica para reparos estruturais: estudo da penetração de cloretos**. Porto Alegre, 1994. 106p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- LARA, D. et al. Dosagem das argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 63-72.
- MALHOTRA, V. M.; CARETTE, G. G.; SIVASUNDARAM, V. Role of silica fume in concrete: a review. In: MALHOTRA, V. M. (Ed.). **Advances in concrete technology**. Ottawa, Canada: CANMET, 1994. p. 915-990. 2. ed.
- MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. Pozzolanic and cementitious materials. **Advances in concrete technology**, Ottawa, Canada: CANMET, 1996. v. 1, 191p.
- MARTINELLI, F. A. **Contribuição ao estudo da dosagem das argamassas mistas destinadas ao assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo, 1989. 168p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MEHTA, P. K. Pozzolanic and cementitious by-products in concrete. Another look. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE USE OF FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 3., 1989, Trondheim, Norway. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1989. 2v. v.1, p. 1-44. (ACI Special Publication, 114).
- MÜLLER, A. **Efeitos de sílica ativa e de látex polímero EVLC sobre as características de argamassas de assentamento**. Florianópolis, 1999. 175p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

- NANNI, L. F. **Probabilidade e estatística**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1981. 177p. (Caderno Técnico, 30).
- NANNI, L. F.; RIBEIRO, J. L. **Planejamento e avaliação de experimentos**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1992, 213p. 2. ed. (Caderno de Engenharia, 17).
- NASCIMENTO, V. M. **Método para mapeamento do fluxo de informações do processo de suprimento na indústria da construção civil: um estudo de caso múltiplo em empresas do subsetor edificações**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- NEVES, C. et al. A influência do caulim no comportamento das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 219-225.
- NEVES, C. et al. Arenosos da região metropolitana de Salvador – características para seu emprego em argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 38-49.
- NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.
- OLIVEIRA, H. P. **Uma introdução para o emprego racional das argamassas nos edifícios**. Salvador, 1959. 54p. Tese (Concurso para a Cátedra de Construções Cíveis e Arquitetura). Escola Politécnica da Universidade da Bahia.
- OLIVEIRA, M. B. **Verificação de algumas propriedades de argamassas com saibro da região de Uberlândia para assentamento de tijolos cerâmicos**. São Paulo, 1989. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PAES, I. N. L. et al. O efeito de finos calcários nas propriedades da argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória, 1999. p. 335-347.
- PARÁ. Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração – SEICOM, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Plano diretor de mineração em áreas urbanas: região metropolitana de Belém e adjacências**. Belém, 1995.
- PINTO, J. A. N. **Elementos para a dosagem de argamassas**. Santa Maria: Editora UFSM, 1986.
- RAGO, F. et al. Desempenho de argamassas de revestimento mistas e aditivadas – metodologia de avaliação. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 5., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1994, p. 71-83.
- RENTON, K. H.; LEE, H. N. Lime mortars and plasters in building. **Building Technology and Management**, v. 27. n. 2, p. 16-20, Apr./May 1989.
- RIVERO, R. **Arquitetura e clima, acondicionamento térmico natural**. Porto Alegre: D. C. Luzzatto, 1986.

- ROBINSON, G. C.; BROWN, R. H. Inadequacy of property specifications in ASTM C 270. In: HARRIS, H. A. (Ed.). **Masonry: materials, design, construction and maintenance**. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 1988. p. 7-17. (ASTM Special Technical Publication, 778)
- SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 1989.
- SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas, aplicada às argilas brasileiras**. 2. ed. rev. São Paulo: Edgar Blücher/Ed. Universidade de São Paulo, 1989, 3v. v.1.
- SCHULER, A. **Caracterização de argamassas com adições de sílica ativa como material para reparos e reforços de estruturas de concreto armado**. Porto Alegre, 1998. 141p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SEBRAE. **PATME - Programa de apoio às micro e pequenas empresas**. Anexo I: Cadastro de empresas. Belém, 1999.
- SEBRAE. **PATME - Programa de apoio às micro e pequenas empresas – manual operacional**. Brasília, 1996.
- SELLEVOLD, E. J.; NILSEN, T. Condensed silica fume in concrete: a world review. In: MALHOTRA, V. M. (Ed.). **Supplementary Cementing Materials for Concrete**. Ottawa, Canada: CANMET, 1987. p. 167-229. (Publication SP 86-8E)
- SELMO, S. M. S. Agregados miúdos para argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1986, p. 27-43.
- SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de edifícios**. São Paulo, 1989. 202p. Dissertação (Mestrado). CPGECC/Escola Politécnica da USP.
- SELMO, S. M. S.; BUCHER, H. R. E. O saibro na formulação de argamassas de assentamento e revestimento – contribuição ao estabelecimento de critérios para dosagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CIMENTO, 2., 1990, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1990. v.2, p. 477-496.
- SILVA FILHO, A. F. da; SILVA, A. S. R. da; AZEVEDO, M. T. de. Emprego de microsílica em obras de reabilitação de estruturas de concreto armado. In: REUNIÃO DO IBRACON, 38, Ribeirão Preto, SP. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1996. 2v. v.1, p. 297-301.
- SIQUEIRA, N., SELMO, S. Estudo de caso de revestimentos externos de argamassas mistas e de cimento com solo fino beneficiado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 271-282.
- SOUZA, P. S. L. **Caracterização do estágio atual do uso das técnicas de execução das alvenarias de vedação, por empresas de construção civil de Belém-PA**. Porto Alegre,

1994. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TARALLO JR., J. et al. Reparo em concreto, utilizando argamassa com microssílica. In: REUNIÃO DO IBRACON, 36, Porto Alegre, RS. **Anais...** São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1994. 2v. v.1, p. 185-198.

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

UNIKOWSKI, Z. R. **Influence des argiles sur les propriétés des mortiers de ciment.** Paris: LCPC, 1982.

WOLF, J. **Estudo sobre a durabilidade de concretos de alta resistência com adição de microssílica.** Porto Alegre, 1991. 145 p. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

VARGAS, J. L.; COMBA, G. J. M. Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo para la actualización de la Norma Básica MV 201-1972. **Materiales de Construcción**, v. 34, n. 196, p. 3-41, oct./nov./dic. 1984.

YOSHIDA, A. T., BARROS, M. M. B. de. Caracterização de argamassas no estado fresco – peculiaridades na análise de argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 53-62.

ANEXO A – PESQUISA EXPLORATÓRIA

A.1 QUESTIONÁRIO UTILIZADO DURANTE O LEVANTAMENTO DA PESQUISA EXPLORATÓRIA.

Data:

Empresa:

Código:

Entrevistado:

- Indique na tabela abaixo as proporções dos materiais utilizados na preparação de argamassas para revestimento.

Argamassa para revestimento externo (traço em volume)			
cimento	saibro	areia	aditivos (especifique)

- Qual o tipo de cimento utilizado?
- Qual o motivo que leva a adotar estes materiais e traço(s)?
- Existe algum problema já identificado devido à utilização deste traço?
- Qual a altura média (número de pavimentos) das obras construídas?
- Se existir algum prédio em fase de acabamento, caracterizar o tipo de empreendimento.
- Qual o número total de empregados e/ou de engenheiros e arquitetos?

A.2 RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO QUESTIONÁRIO.

Resultados obtidos	Para as empresas A, C e D	Para todas as empresas
Quanto ao tipo de cimento utilizado	N° de empresas	N° de empresas
CP II - F 32	2	4
CP II - Z 32 ou CP II - Z 32 RS	1	1
CP II - Z 32	-	2
Quanto às razões que levam a utilizar os traços especificados	N° de empresas	N° de empresas
São especificações da diretoria, de acordo com a tradição	2	2
A substituição do saibro pelo aditivo foi mais vantajosa tanto em nível técnico, como econômico	1	5
Quanto às manifestações patológicas identificadas devido à utilização dos traços	N° de empresas	N° de empresas
nenhuma	2	6
fissuração excessiva	1	1

ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Tabela B.1 Composição granulométrica dos grãos de saibro inferiores a 0,075 mm.

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Diâmetro	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7181	(mm)	individual	acumulada
		0,0698	1,76	67,5
		0,05	3,21	70,71
		0,0357	2,41	73,12
		0,022	0,8	73,92
		0,0156	0,8	74,72
		0,0111	0,03	74,75
		0,0078	0,81	75,56
		0,0056	0,32	75,88
		0,0031	0,77	76,65
		0,0013	0,8	77,45
		< 0,0013	22,55	100

Tabela B.2 Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T1 (14,8 % saibro e 85,2 % areia).

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7217	ABNT (mm)	individual	acumulada
		4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	1	1
		0,6	5	6
		0,3	28	34
		0,15	53	87
		0,075	9	96
		< 0,075	4	100
		DMC	NBR 7217	1,2 mm
Módulo de finura	NBR 7217	1,27		

Tabela B.3 Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T2 (12,6 % saibro e 87,4 % areia).

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7217	ABNT (mm)	individual	acumulada
		4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	1	1
		0,6	4	5
		0,3	48	53
		0,15	36	89
		0,075	8	97
		< 0,075	3	100
DMC	NBR 7217	0,6 mm		
Módulo de finura	NBR 7217	1,48		

Tabela B.4 Composição granulométrica da mistura saibro-areia do traço T3 (25,6 % saibro e 74,4 % areia).

Determinações	Método de ensaio	Resultados obtidos		
		Abertura da peneira	Porcentagem retida (em massa)	
Composição granulométrica	NBR 7217	ABNT (mm)	individual	acumulada
		4,8	0	0
		2,4	0	0
		1,2	1	1
		0,6	5	6
		0,3	37	42
		0,15	45	87
		0,075	9	96
		< 0,075	4	100
DMC	NBR 7217	1,2 mm		
Módulo de finura	NBR 7217	1,36		

Tabela B.5 Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado fresco.

Traço	Índice de consistência (mm)	Massa específica (kg/dm ³)		Retenção de água (%)	
		valores obtidos	CV (%)	valores obtidos	CV (%)
T1-A	266	2,09	1,06	89	0,53
	264	2,13		88	
	270	2,10			
T2-A	251	2,12	0,71	86	2,37
	252	2,14		89	
	251	2,11			
T3-A	256	2,07	0,29	93	0,64
	257	2,07		94	
	257	2,06			
T4-A	266	2,07	0,06	93	0,08
	265	2,07		93	
	265	2,07			
T5-A	275	1,84	0,48	81	1,26
	270	1,85		82	
	272	1,86			
T6-A	268	1,86	1,2	89	0,04
	267	1,81		89	
	268	1,84			
T1-B	279	2,15	0,31	90	0,74
	278	2,15		91	
	279	2,14			
T2-B	254	2,08	0,2	89	0,1
	253	2,07		89	
	254	2,08			
T3-B	260	2,11	0,18	93	0,17
	263	2,10		93	
	264	2,10			
T4-B	260	2,12	0,17	92	0,23
	260	2,11		92	
	260	2,11			
T5-B	254	1,68	2,03	77	0,08
	255	1,68		77	
	253	1,74			
T6-B	278	1,79	1,08	85	0,56
	276	1,79		86	
	279	1,82			

CV – Coeficiente de variação

Tabela B.6 Resultados do ensaio teor de ar incorporado das argamassas aditivadas.

Traço	Teor de ar incorporado (%)	
	valores obtidos	CV (%)
T5-A	13	3,22
	13	
	13	
T6-A	12	8,03
	14	
	13	
T5-B	21	7,87
	22	
	19	
T6-B	14	6,67
	15	
	13	

CV – Coeficiente de variação

Tabela B.7 Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado endurecido.

Traço	Resistência à compressão* (MPa)	Resistência à tração* (MPa)	Absorção por imersão (%)		Índice de vazios (%)	
			valores obtidos	CV (%)	valores obtidos	CV (%)
T1-A	10,0	0,76	15,92	2,15	27,47	3,14
	10,1	0,75	16,32		27,83	
	10,8	0,75	16,46		29,61	
	10,9		15,85		28,18	
			16,80		29,58	
			16,29		28,51	
T2-A	6,9	0,52	16,15	1,8	28,58	0,96
	7,5	0,53	16,44		29,22	
	7,1	0,53	16,22		28,71	
	7,1	0,54	16,42		28,87	
	7,1		16,39		28,53	
			15,67		28,49	
T3-A	6,9	0,51	17,51	0,61	30,74	0,67
	7,2	0,46	17,62		30,95	
	6,9	0,48	17,55		31,12	
	6,9	0,48	17,36		30,66	
		0,48				
T4-A	14,6	0,83	18,27	0,45	32,47	0,57
	14,1	0,86	18,31		32,66	
	13,7	0,87	18,19		32,32	
	14,1	0,83	18,13		32,24	
	13,3	0,83				
	13,8					
T5-A	7,5	0,48	14,49	2,31	23,66	2,03
	7,4	0,53	14,98		24,24	
	7,0	0,53	15,32		24,86	
			14,79		24,23	
T6-A	14,0	0,70	16,56	0,23	26,73	0,55
	13,4	0,67	16,54		26,77	
	13,0	0,71	16,62		27,09	
		0,71	16,52		26,88	
		0,68	16,53		26,99	
T1-B	10,7	0,74	15,97	0,69	28,81	1,34
	10,5	0,75	16,06		28,77	
	10,6	0,76	16,10		29,68	
	11,3		16,23		29,23	
	10,6		16,22		29,42	

CV – Coeficiente de variação.

* Valores considerados com desvio relativo inferior a 6%, conforme a NBR 13279 (ABNT, 1995).

Continuação

Traço	Resistência à compressão* (MPa)	Resistência à tração* (MPa)	Absorção por imersão (%)		Índice de vazios (%)	
			valores obtidos	CV (%)	Valores obtidos	CV (%)
T2-B	6,6	0,44	16,32	1,55	28,93	1,06
	6,6	0,47	16,03		28,90	
	6,7	0,44	15,86		28,20	
	6,5	0,46	15,74		28,39	
			16,03		28,51	
			15,63		28,34	
T3-B	5,3	0,44	18,64	1,17	32,68	1,36
	5,4	0,42	18,17		31,63	
	5,0	0,41	18,57		32,50	
	5,0		18,51		32,80	
			18,82		32,81	
			18,44		32,52	
T4-B	14,0	0,89	17,78	1,35	31,62	1,65
	13,1	0,91	17,42		31,11	
	12,7	0,89	17,66		31,48	
			17,31		30,63	
			17,87		31,99	
T5-B	5,7	0,45	14,84	2,81	22,12	2,33
	5,7	0,43	14,82		22,58	
	5,9	0,45	15,61		23,39	
	5,4		15,14		23,32	
			14,49		22,77	
T6-B	9,2	0,62	17,14	2,17	26,33	2,08
	9,7	0,64	16,93		26,82	
	9,4	0,58	17,56		27,37	
		0,63	17,63		27,38	
			17,98		27,68	
			17,62		26,40	

CV – Coeficiente de variação.

* Valores considerados com desvio relativo inferior a 6%, conforme a NBR 13279 (ABNT, 1995).

Tabela B.8 Resultados dos ensaios realizados na argamassa no estado endurecido.

Traço	Massa específica (kg/dm ³)		Coef. de absorção capilar (kg.m ⁻² .h ^{-0,5})		Absorção superficial por capilaridade (kg/m ²)
	valores obtidos	CV (%)	valores obtidos	CV (%)	valores obtidos
T1-A	1,72	1,94	0,0292	10,96	1,76
	1,70		0,0354		2,26
	1,79		0,0312		1,8
	1,77		0,0267		2,23
	1,75		0,0286		1,97
	1,74				1,65
T2-A	1,76	1,53	0,0439	3,59	2,69
	1,77		0,0403		2,56
	1,76		0,0439		2,78
	1,75		0,0439		2,72
	1,73		0,0437		2,78
	1,81		0,0417		2,66
T3-A	1,75	0,53	0,0418	6,15	2,69
	1,75		0,0418		2,53
	1,77		0,0375		2,43
	1,76				
T4-A	1,77	0,22	0,0259	4,13	1,82
	1,78		0,0261		1,78
	1,77		0,0255		1,8
	1,77		0,0238		1,65
T5-A	1,60	0,59	0,0129	19,73	0,81
	1,59		0,0129		0,89
	1,59		0,019		1,21
	1,61		0,0141		0,86
T6-A	1,59	0,38	0,0172	8,62	1,14
	1,60		0,0172		1,13
	1,60		0,0203		1,16
	1,60		0,0172		1,38
	1,61				
T1-B	1,80	1,13	0,0355	5,9	2,06
	1,79		0,034		2,2
	1,84		0,0332		2,27
	1,80		0,0322		1,91
	1,81		0,0303		2,03

CV – Coeficiente de variação

Continuação

Traço	Massa específica (kg/dm ³)		Coef. de absorção capilar (kg.m ⁻² .h ^{-0,5})		Absorção superficial por capilaridade (kg/m ²)
	valores obtidos	CV (%)	valores obtidos	CV (%)	valores obtidos
T2-B	1,75	0,99	0,0432	4,02	2,65
	1,78		0,0399		2,58
	1,77		0,041		2,58
	1,79		0,0391		2,59
	1,77		0,0396		2,44
	1,80				
T3-B	1,74	0,76	0,049	1,99	3,08
	1,73		0,0473		3,12
	1,74		0,05		2,97
	1,77		0,049		2,97
	1,74		0,049		3,08
	1,76				
T4-B	1,77	0,44	0,0243	8,78	1,63
	1,78		0,025		1,67
	1,78		0,0298		1,82
	1,76		0,0266		2,06
	1,78		0,0245		1,71
T5-B	1,40	2,88	0,0204	16,73	1,46
	1,43		0,0273		1,87
	1,37		0,0311		1,72
	1,44		0,0291		1,97
	1,47		0,0231		1,29
T6-B	1,50	2,24	0,0387	17,49	2,46
	1,56		0,0281		1,71
	1,52		0,0266		1,86
	1,53		0,0375		2,49
	1,51		0,038		2,47
	1,46				

CV – Coeficiente de variação

