

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS
NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS E ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE CIMENTO E CAL E CIMENTO E SAIBRO**

Dissertação submetida a Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

ORLANDO LUZ FILOMENO

FLORIANÓPOLIS

1993

**CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS
NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS E ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE CIMENTO E CAL E CIMENTO E SAIBRO**

ORLANDO LUZ FILOMENO

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

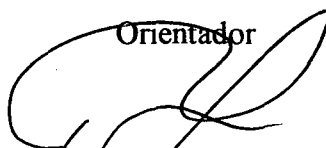
MESTRE EM ENGENHARIA

Especialidade ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo programa de
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL.



Prof. Humberto Ramos Roman

Orientador



Prof. Roberto Lamberts

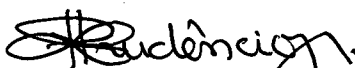
Coord. do Curso de Pós-Graduação

BANCA EXAMINADORA



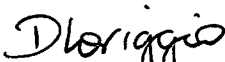
Prof. Humberto Ramos Roman

Dr. pela Universidade de Sheffield, UK



Prof. Luis Roberto Prudêncio Jr.

Dr. pela Universidade de São Paulo, BR



Prof. Daniel Domingues Loriggio

Dr. pela Universidade de São Paulo, BR

AGRADECIMENTO

A todos os professores, colegas, funcionários e bolsistas, em especial ao **Jacson Koester** e ao **Luciano Schütz**, que tanto colaboraram para a realização deste trabalho.

PARA MARIA, FELIPE E ANDRÉA

RESUMO

O trabalho descreve a caracterização das argamassas de assentamento empregadas nas construções em Florianópolis e o estudo comparativo entre argamassas de cimento e cal e saibro.

Inicia-se com uma parte conceitual, onde se revisa as origens e evolução do uso deste material, bem como, descreve-se as funções e tipos de argamassas. Faz-se a revisão do estado da arte, analisando-se as principais propriedades que devem apresentar as argamassas, e comenta-se sobre sua produção e controle de qualidade.

A caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis é feita a partir do levantamento de campo realizado em 27 obras em andamento e sistematizada com base na revisão do estado da arte.

Posteriormente, descreve-se a metodologia do estudo experimental comparativo, e se apresenta os resultados obtidos, analisando a influência da cal e do saibro nas propriedades mais importantes das argamassas de assentamento.

Por fim, faz-se recomendações para a melhoria da qualidade do produto e comenta-se sobre os estudos ainda necessários para o aprimoramento deste material de construção.

Pretende este trabalho contribuir para a formação de um acervo de informações técnicas sobre as argamassas, visando a elevação da qualidade do produto e racionalização do uso dos materiais nas construções.

ABSTRACT

The work describes research work carried out to determine the characteristics of masonry mortar used in buildings located in Florianopolis. A comparison between cement-lime and cement-clay mortars is also presented.

The literature review presents the origin and evolution of the use of these material, as well as, it describes the functions and types of mortars. The state-of-the-art is presented, by analysing the main properties and coments about production and quality control of mortar.

The characterization of mortar is carried out through data collected in 27 buildings, and sistematized based on state-of-the-art review.

Afterly, the comparative experimental research, and is reported the obtained results presented. The influence of either lime or clay on the main properties of mortars is analised.

The conclusion presents considerations about quality of the product and coments the researches needed for the improvement of these construction material.

The purpose of this work is to contribute to the constitution of data base about mortars, in order to improve the quality and of this material used by the construction industry.

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS E ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO DE CIMENTO E CAL E CIMENTO E SAIBRO

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
SUMÁRIO	vii
NOMENCLATURA	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. O ASSENTAMENTO DE TIJOLOS E BLOCOS COM ARGAMASSAS	5
2.1. Aspectos históricos do emprego de argamassas	6
2.1.1. Evolução do uso de argamassas no mundo	6
2.1.2. Evolução do uso de argamassas no Brasil	7
2.2. Funções da argamassa de assentamento	7
2.3. Tipos de argamassa de assentamento	8
2.3.1. Argamassa de cal	8
2.3.2. Argamassa de cimento	9
2.3.3. Argamassa mista de cimento e cal	10
2.3.4. Argamassa mista de cimento e saibro	10
3. PROPRIEDADES, PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	12
3.1. Principais propriedades das argamassas de assentamento	13
3.1.1. Trabalhabilidade	13
3.1.2. Retentividade de água	14
3.1.3. Capacidade de absorver deformações	15
3.1.4. Aderência	16
3.1.5. Resistência mecânica	16
3.2. Produção de argamassas de assentamento	18
3.3. Ensaios de caracterização de argamassas de assentamento	19
3.4. Contrôlo de qualidade da produção	20

4. CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS	23
4.1. Considerações iniciais.....	24
4.2. Coleta de dados.....	24
4.3. Sistematização dos dados	25
4.3.1. Materiais empregados.....	25
4.3.2. Determinação do traço	26
4.3.3. Dosagem da argamassa.....	28
4.3.4. Mistura de materiais	28
4.3.5. Avaliação da consistência	28
4.3.6. Condições da unidade de alvenaria.....	29
4.4. Análise dos dados.....	29
5. ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS DE CIMENTO E CAL OU SAIBRO	31
5.1. Objetivos.....	32
5.2. Materiais e traços	32
5.3. Metodologia.....	33
5.3.1. Conversão dos traços	33
5.3.2. Definição da metodologia dos ensaios.....	34
5.3.3. Produção das argamassas	40
5.4. Estudo comparativo dos custos das argamassas.....	41
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL	43
6.1. Análise das propriedades no estado fresco	44
6.2. Análise das propriedades no estado endurecido.....	47
7. CONCLUSÕES	53
BIBLIOGRAFIA	58

ANEXOS

ANEXO A - QUESTIONÁRIO UTILIZADO NAS VISITAS ÀS OBRAS.....	1
ANEXO B - COLETÂNEA DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO UTILIZADO NAS VISITAS ÀS OBRAS.....	3
ANEXO C - METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE ARGAMASSAS NÃO NORMALIZADOS A NÍVEL NACIONAL E EMPRE- GADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL.....	13
C.1. Retenção de água BSI de argamassa fresca	14
C.2. Massa específica e teor de ar de argamassa no estado fresco	16
C.3. Resistência de aderência.....	18
ANEXO D - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO ESTUDO EXPERI- MENTAL	20

NOMENCLATURAS

ABCP - Associação Brasileiro de Cimento Portland

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

BS - British Standards

BSI - British Standards Institution

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

NBR - Norma Brasileira Registrada

RILEM - International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.3.a: Relação de traços nominais e efetivos, cimento:cal ou saibro: areia.....	27
Tabela 5.2.a: Relações aglomerante:agregado e cimento:cal/saibro em volume dos traços de argamassas estudados.....	33
Tabela 5.3.1.a: Traços em volume e traços em massa das argamassas de cimento:saibro estudadas.....	34
Tabela 5.3.1.b: Traços em volume e traços em massa das argamassas de cimento:cal estudadas.....	34
Tabela 5.3.2.a: Propriedades caracterizadas no estudo, métodos de ensaio no estado fresco correspondentes e número de determinações ou corpos-de-prova, por traço de argamassa.....	36
Tabela 5.3.2.b: Propriedades caracterizadas no estudo, métodos de ensaio no estado endurecido correspondentes e número de determinações ou corpos-de-prova, por traço de argamassa.....	38
Tabela 5.4.a: Consumos dos materiais constituintes dos traços por m ³ de argamassa, e respectivos custos finais em cruzeiros reais; preços de setembro/93.....	42
Tabela 6.1.a: Argamassas de cimento:saibro: Resultados dos testes.....	44
Tabela 6.1.b: Argamassas de cimento:cal: Resultados dos testes.....	44
Tabela 6.2.a: Argamassas de saibro: Resultados dos testes.....	47
Tabela 6.2.b: Argamassas de cal: Resultados dos testes.....	48
Tabela 6.2.c: Resistência de aderência média das argamassas de cimento: saibro e cimento:cal, por traço.....	52
Tabela D.1: Caracterização do cimento utilizado no preparo das argamassas.....	21
Tabela D.2: Caracterização da cal utilizada no preparo das argamassas.....	21
Tabela D.3: Caracterização do agregado miúdo utilizado no preparo das argamassas.....	22
Tabela D.4: Caracterização do saibro utilizado no preparo das argamassas.....	22
Tabela D.5: Caracterização do tijolo usado no ensaio de resistência de aderência.....	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1.a: Resistência da alvenaria em relação à resistência da argamassa (BRE Digest 246)	17
Figura 5.3.2.a: Fotografia da realização do ensaio de consistência	35
Figura 5.3.2.b: Fotografia da execução do ensaio de retenção de água	36
Figura 5.3.2.c: Fotografia da execução do ensaio de massa específica	37
Figura 5.3.2.d: Fotografia dos corpos de prova de argamassa antes do ensaio de resistência à compressão	39
Figura 5.3.2.e: Fotografia do dispositivo para execução do ensaio de resistência de aderência preparado para ensaio	40
Figura 6.1.a: Variação da relação água/cimento em função da relação aglomerante/agregado e relação cimento:cal/saibro das argamassas	45
Figura 6.1.b: Variação da retenção de água em função da relação aglomerante/agregado das argamassas de cimento:cal e cimento:saibro	46
Figura 6.2.a: Variação da resistência à compressão em função da relação água/cimento	49
Figura 6.2.b: Variação da resistência à compressão em função da relação aglomerante/agregado	50
Figura 6.2.c: Variação da resistência à compressão das argamassas em função da idade	51
Figura 6.2.d: Variação da resistência à compressão das argamassas em função da idade	51
Figura C.3.1: Esquema do dispositivo usado para o ensaio de resistência de aderência	19

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

De modo geral, conceitua-se argamassa como um material obtido a partir da mistura, em proporções adequadas de materiais inertes de baixa granulometria - agregado miúdo - e de uma pasta com propriedades aglomerantes. Esta pasta é composta por um ou mais aglomerantes minerais e água. Eventualmente, podem ser incorporados à sua composição aditivos, com a finalidade de conferir características especiais à argamassa.

As argamassas caracterizam-se por apresentarem elevada plasticidade quando recém-misturadas e rigidez e resistência quando endurecidas. Estas propriedades determinam seu emprego no assentamento de elementos de alvenaria, como os blocos e tijolos.

Nas alvenarias as argamassas formam a junta. Com forma e função bem definidas, a junta de argamassa tem grande influência no desempenho final de uma parede.

Denomina-se traço à proporção relativa entre os constituintes da argamassa, exceto a água. O traço pode ser dado em volume ou massa, tomando-se como unidade o volume ou a massa do aglomerante. No caso das argamassas mistas convencionou-se que a unidade é o cimento, por ser o aglomerante que resulta em maiores resistências.

Representa-se o traço por uma relação numérica. Por exemplo, 1:2:9 em volume corresponde a argamassa dosada com um volume unitário de cimento, 2 volumes unitários de cal e 9 de areia. No canteiro de obras, apesar de ser menos preciso, é mais comum o traço em volume, tendo em vista a necessidade de uma balança na obra para efetivar o traço em massa, o que torna a dosagem volumétrica através de latas ou padiolas mais acessível.

As argamassas de assentamento têm sido usadas no Brasil com dosagens empíricas válidas para qualquer situação, predominando em muitas regiões, como Santa Catarina, Rio de Janeiro e Espírito Santo o uso de materiais alternativos como o saibro, nem sempre recomendáveis, no atual estágio tecnológico da engenharia de construção civil.

Históricamente, a utilização de argamassas, bem como o ensino deste assunto nas escolas de engenharia foi baseado em conceitos empíricos, possivelmente herdados da experiência de antigos mestres de obra estrangeiros que para cá imigraram, consolidados por séculos de tradição construtiva.

Tal ocorrência pode ser atribuída a carência de informações e práticas tecnológicas que orientem engenheiros e mestres de obra, quanto à métodos de dosagem e métodos de avaliação tecnológica da argamassa "in situ" e em laboratório.

Em decorrência dessa situação, o descaso pelas argamassas durante a construção pode levar à ocorrência de patologias, originadas pelo emprego de argamassas de características inadequadas ao fim a que se destina.

Além disso, a racionalização da construção deve obrigatoriamente passar pela redução de custos e eliminação de desperdício de materiais. Deste modo, o emprego de argamassas inadequadas, como as argamassas super dosadas, mais ricas em aglomerante, pode gerar um incremento desnecessário de custos na construção.

Em visitas realizadas em obras em andamento na região de Florianópolis, constatou-se a ocorrência dos fatos acima. Observou-se que a produção de argamassas é atividade relegada a segundo plano. À inexistência de dosagem ou adoção de traços e materiais apropriados, soma-se a total falta de controle de produção das argamassas.

Ainda a partir das informações colhidas, constatou-se o emprego disseminado de saibro nas argamassas de assentamento, em substituição a cal. Poucos são os trabalhos científicos desenvolvidos até o momento para avaliar a influência do uso do saibro na argamassa. Esta influência pode se manifestar tanto nas características físicas e mecânicas das argamassas quanto na ocorrência de fenômenos patológicos. Deste modo, achou-se conveniente completar a pesquisa de campo com um estudo que comparasse as propriedades das argamassas mistas de cal e de saibro.

O objetivo principal deste trabalho é contribuir com subsídios que poderão gerar o desenvolvimento tecnológico da produção de argamassas de assentamento. Visa-se, desta maneira, determinar parâmetros técnicos que possibilitem a racionalização do uso dos materiais nas construções, possibilitando economia de recursos e elevação da qualidade do produto.

Para se alcançar o objetivo principal, separou-se o trabalho em dois objetivos específicos:

- caracterização das argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis, afim de obter um retrato do estado tecnológico atual;
- estudo comparativo entre argamassas de assentamento produzidas com cimento e cal ou saibro, visando determinar a influência da cal e do saibro nestas.

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

O capítulo 2 faz um breve apanhado do emprego de argamassas nas construções através da história, no Brasil e no mundo, suas origens e evolução. Prossegue-se descrevendo as funções exercidas pelas argamassas de assentamento nas alvenarias. Por fim, conceitua-se os diversos ti-

pos de argamassas empregados correntemente na construção, classificando-as segundo o número e tipo de aglomerante.

No capítulo 3, aborda-se as propriedades das argamassas que são importantes para seu desempenho quando recém-misturada e depois de endurecida. São analisados os fatores que influenciam estas propriedades. Descreve-se os passos que envolvem a produção das argamassas, ressaltando a importância de cada passo para se obter um produto melhor. Posteriormente, relata-se os diversos métodos de ensaio existentes no Brasil e exterior, que podem ser utilizados para avaliação das argamassas. Ao final, discute-se os meios de controle de qualidade durante a produção.

No capítulo 4 são apresentados os resultados da pesquisa de campo realizada em obras em andamento na região de Florianópolis. São relatados e comentados, os materiais empregados, os traços adotados, os meios de dosagem, os modos de mistura e a avaliação da consistência das argamassas empregadas.

O capítulo 5 é dedicado à descrição do trabalho experimental realizado com vistas ao segundo objetivo específico desta dissertação. São descritos os materiais e traços adotados. prossegue-se relatando os diversos passos obedecidos dentro da metodologia adotada, para a realização dos ensaios e a produção das argamassas ensaiadas.

No capítulo 6 faz-se a apreciação dos resultados dos ensaios tecnológicos realizados. Relata-se as propriedades apresentadas no estado fresco e no estado endurecido, analisando-se os fatores que as influenciam.

Na conclusão faz-se observações sobre o atual estado tecnológico das argamassas, bem como, faz-se recomendações visando a melhoria da qualidade das argamassas de assentamento. Conclui-se discutindo as pesquisas subseqüentes que se considera importante para o desenvolvimento deste material de construção.

CAPÍTULO 2

O ASSENTAMENTO DE TIJOLOS E BLOCOS COM ARGAMASSAS

2.1. Aspectos históricos do emprego de argamassas

2.1.1. Evolução do uso de argamassas no mundo

A alvenaria de tijolos de barro cozido ou não, é um dos processos construtivos mais antigos empregados pelo homem. O emprego deste sistema está relacionado à disponibilidade da matéria-prima, ou seja, civilizações antigas que se localizavam em regiões carentes de madeira ou pedra desenvolveram avançadas técnicas construtivas em barro e argila.

Acredita-se, segundo Choisy (1963), tenha sido na Pérsia, cuja civilização prosperou entre 538 A.C. e 642 de nossa era, que se utilizou originalmente uma alvenaria de tijolos secos ao sol, assentados com o emprego de uma argamassa de cal. As ruínas de Firuz-Abad e Sarvistan, são os exemplos mais antigos do emprego de alvenaria argamassada.

No antigo Egito, empregou-se a alvenaria de adôbe, que era um tijolo de argila misturado com palha e seco ao sol, medindo aproximadamente 20 x 34 x 11 cm. Estas unidades eram assentadas com argamassa de argila ou simplesmente uma camada de areia fina, como descreve Genovese (1946).

No zigurat (templo e observatório) de Mougheir na Mesopotâmia, construído pelos babilônios, foi empregada alvenaria de tijolos de argila cozida, com argamassa de cinza e cal. Devido à disponibilidade na região da Mesopotâmia, o betume também foi empregado no preparo de argamassas pelos babilônios. Segundo Choisy (1963), constatou-se também a presença de argamassa de cal nas ruínas de Birs-Nimrud e Kars, na mesma região.

Mas foi em Roma o grande desenvolvimento da utilização da alvenaria como sistema construtivo. Aproveitando os conhecimentos obtidos em suas incursões conquistadoras pelo oriente, os romanos acabaram levando para a península Itálica, a técnica de construção em alvenaria de tijolos cozidos. Associado ao emprego de uma argamassa de grande qualidade, produzida com cinza vulcânica, pozolana ou cal, produziram exemplares arquitetônicos notáveis que permanecem perenes até nossos dias.

Genovese (1946) relata, que na civilização bizantina também foram descobertos empregos de alvenaria de tijolos e pedras, assentados com argamassas feitas com mármore calcinado.

Ao fim do Império Romano, o sistema construtivo em alvenaria de tijolos cozidos, assentados com argamassa, alastrou-se pela Europa Meridional, sendo utilizado nas construções religiosas, militares, palácios e residências a partir do período medieval até nossos dias.

Cabe à invenção do cimento, no final do século XIX, o início de uma nova era na construção civil de um modo geral e para as alvenarias de um modo especial, devido à possibilidade de produção de argamassas de melhor qualidade empregando este novo material.

2.1.2. Evolução do uso de argamassas no Brasil

De acordo com Vasconcellos (1958), no Brasil, a alvenaria de pedra data do primeiro século de colonização, só precedida talvez, pela taipa de pilão. A alvenaria de pedra, por ser uma estrutura mais forte, era empregada principalmente na arquitetura militar, para construção de fortificações. As alvenarias de adôbe, tipo de tijolo de barro seco ao sol, também foram utilizadas nos primórdios da colonização.

As alvenarias de pedra ou adôbe eram empregadas nos alicerces, embasamentos ou em paredes, assentadas ou rejuntadas com argamassa de barro ou de cal. Cal esta, segundo Vasconcellos (1958), primeiramente importada, depois obtida de conchas e mariscos queimados, até o aparecimento da cal comum.

Outro material muito utilizado como aglomerante, era o óleo de baleia, que era misturado à areia, mais barro ou cal, no preparo de argamassas para assentamento de tijolos ou pedras.

2.2. Funções da argamassa de assentamento

De acordo com Sabbatini (1984), as argamassas de assentamento não têm forma definida, mas possuem uma função específica: destina-se ao assentamento de unidades de alvenaria. A argamassa de assentamento forma a junta de argamassa que é um componente com forma e funções bem definidas.

Segundo o código "Walling" da British Standards Institution, apud Sabbatini (1984), as funções primárias das juntas de argamassa em uma parede de alvenaria são:

- a) Unir solidariamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais;
- b) Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;

- c) Absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita;
- d) Selar as juntas contra a penetração de água da chuva.

É errôneo fazer-se analogia entre o concreto e a argamassa. Muito embora sejam produzidos basicamente pelos mesmos materiais (aglomerantes e agregados), suas funções e empregos são radicalmente opostos. Tal concepção é evidente se se considerar que o concreto é por si só um elemento estrutural, enquanto a argamassa é utilizada para unir elementos que formarão uma estrutura.

As propriedades mecânicas da argamassa são muito importantes para resistir às solicitações horizontais que ocorrem em uma parede. Segundo Franco (1988), estas solicitações laterais são de flexão e cisalhamento, provocadas pela ação do vento, perpendiculares ou paralelas ao plano das paredes dos edifícios. Segundo o mesmo autor, para a resistência à compressão, a resistência dos blocos ou dos tijolos é o grande determinante da resistência da parede, enquanto a resistência da argamassa tem influência menor.

Muito embora o revestimento externo das paredes seja o principal responsável pela estanqueidade da alvenaria, a possibilidade de penetração de água através das juntas em paredes externas não deve ser desprezada. De outra forma, nas alvenarias chamadas de "tijolo aparente" ou "tijolo à vista", onde não há revestimento, a função de evitar a penetração de umidade é exclusiva da junta de argamassa.

2.3. Tipos de argamassas de assentamento

2.3.1. Argamassa de Cal

É uma mistura de areia e cal. A cal forma com a água e a areia uma mistura pastosa que penetra e preenche as reentrâncias e vazios dos blocos ou tijolos, cimentando-os. A cal é um aglomerante aéreo, por isso diferentemente do cimento, seu endurecimento se dá por secagem, pela recristalização dos hidróxidos, e por reação com o ar, através de sua reação química com o anidrido carbônico.

As cales podem ser de dois tipos: a cal virgem, que para ser usada tem que ser obrigatoriamente transformada em hidratada, e a cal hidratada, ou seja, aquela que já é fornecida pronta para uso. O processo de hidratação da cal é chamado de "extinção", que consiste na adição de água à cal. Deste processo irão depender as principais características da cal para a preparação de ar-ga-

massas. A cal para ser usada no preparo de argamassas deve estar completamente extinta, por isso recomenda-se que mesmo a cal hidratada antes de ser usada, deva ser misturada à água e colocada em repouso por um determinado período de tempo. Além de melhorar a trabalhabilidade, este procedimento evita uma série de patologias que podem aparecer, principalmente nos revestimentos, devido a nódulos ou grãos de cal que venham a se hidratar após o seu emprego, causando expansões pontuais e empolamentos.

A cal pode se apresentar em três estados para a mistura com o agregado e formação da argamassa: na forma de pasta de cal (suspensão contendo 30 a 45% de água), na forma de leite de cal (suspensão contendo 70 a 99% de água), e em pó. As cales que apresentam melhores resultados são aquelas empregadas na forma de pasta ou leite, não em pó.

A cal confere à argamassa trabalhabilidade e capacidade de retenção de água, mas quando endurecida, fornece resistências pequenas. As resistências mecânicas das argamassas de cal são muito baixas e independem do traço. Para a resistência à compressão aos 28 dias de idade, os valores oscilam entre 0,5 e 1,5 MPa, podendo-se tomar como valor médio 1,0 MPa (Petrucci, 1979).

2.3.2. Argamassa de Cimento

Todos os cimentos portland produzidos no Brasil contém clínquer portland com pequenas proporções de gipsita (cerca de 5%). Além disso, a maior parte deles ainda possui alguma adição, que pode ser escória granulada de alto forno, pozolanas ou materiais carbonáticos. As normas brasileiras classificam os cimentos brasileiros segundo estas adições e a resistência que apresentam aos 28 dias.

Os cimentos normalmente utilizados são o cimento portland comum CP I, o cimento portland composto com escória CP II-E, o cimento portland composto com pozolana CP II-Z, o cimento portland pozolânico CP IV, e o cimento portland de alto-forno CP III. Usualmente são empregados aqueles que apresentam resistência à compressão de 32 MPa aos 28 dias de idade. Este material por possuir uma qualidade bastante controlada, é um dos poucos produtos nacionais que tem uma "marca de conformidade", apresentando pouquíssima variação de propriedades.

As argamassas de cimento e areia desenvolvem resistências elevadas rapidamente, sendo portanto indicadas para suportar cargas. No entanto, ajustar a resistência desejada para uma argamassa variando a proporção cimento:areia, pode influenciar negativamente outras propriedades

importantes. Argamassas pobres em cimento possuem pouca trabalhabilidade, enquanto as ricas são antieconômicas.

Para se atingir o máximo de qualidade no uso do cimento deve-se tomar cuidados quanto à estocagem e prazo de utilização, observando as recomendações das normas. A hidratação precoce do cimento pode prejudicar as propriedades finais da argamassa.

2.3.3. Argamassa mista de Cimento e Cal

São argamassas com proporções adequadas de cal e cimento, onde cada um dos aglomerantes contribui com suas características na formação de uma mistura mais completa. A função da cal na argamassa mista é atuar como plastificante da mistura, por sua capacidade de retenção de água e de conferir trabalhabilidade. O cimento contribui para se atingir resistências mais elevadas e aumentar a velocidade de endurecimento. Desta forma, variando-se a proporção relativa de cal e cimento pode-se produzir um rol de argamassas com as propriedades adequadas a cada uso.

Segundo Cincotto et alli (1985), "Comprovou-se que a adição de cal a uma argamassa de areia e cimento pode ser sempre positiva. Na proporção de 0,25 em volume do cimento as vantagens são sensíveis. Há melhoria de todas as propriedades físicas e mecânicas, inclusive um aumento na capacidade de absorver deformações".

Este tipo de argamassa, portanto, se adapta e é indicado aos mais diversos usos em alvenaria, seja ela estrutural ou não, pois incorpora as vantagens de cada um dos aglomerantes e minimiza suas desvantagens.

2.3.4. Argamassa mista de Cimento e Saibro

Tipo de argamassa muito empregada em algumas regiões do Brasil, como Santa Catarina. É uma argamassa de cimento, em que o saibro é adicionado com dupla função de atuar como plastificante e aumentar o volume da mistura. Devido à parcela argilosa que contem, acredita-se que possa melhorar a trabalhabilidade das argamassas de cimento.

O saibro ou barro é um material de origem mineral, resultante de alterações de rocha, expostas na superfície da crosta terrestre, onde predominam minerais argilosos, geralmente da família da caulinita, algum quartzo e mica, ao lado de minerais de ferro e manganês (Guimarães, 1985). São materiais cujas propriedades não são homogêneas, nem mesmo quando oriundos de uma mesma jazida.

Prescreveu Caricchio (1957): "O saibro para ser empregado em argamassas deve ser proveniente da desagregação dos granitos e gnaisses; conter, no máximo, 30% de argila e, no mínimo, 20% de areia. Deve ser claro, isento de matéria orgânica, áspero, fortemente arenoso, quando destinado a enchimentos e assentamento de pavimentações; macio e liguento, quando indicado para alvenaria e colocação de revestimentos".

Pouco se conhece sobre a real influência deste material nas propriedades das argamassas, permanecendo seu emprego sendo devido à tradição construtiva herdada da experiência dos antigos mestres de obra e supostas vantagens econômicas.

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES, PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

3.1. Principais propriedades das argamassas de assentamento

3.1.1. Trabalhabilidade

O atual estágio de desenvolvimento da tecnologia da construção, tem revelado que, ao contrário do que se acreditava, a resistência mecânica não é a propriedade mais importante numa argamassa de assentamento. A crença anterior baseava-se no fato que a argamassa fresca ainda no estado plástico interessava mais à fase construtiva da vida do material. Verificou-se no entanto, que as propriedades da argamassa fresca e as da endurecida estão intrinsecamente relacionadas.

Isto significa que não se pode produzir uma argamassa endurecida de alta qualidade, se a mesma no estado plástico não tem propriedades satisfatórias. Segundo Davidson (1974), "a trabalhabilidade é a mais importante propriedade da argamassa no estado plástico".

Do ponto de vista prático, diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando: "distribui-se facilmente ao ser assentada preenchendo todas as reentrâncias; "agarra" a colher de pedreiro (quando transportada e não "agarra" quando distribuída no tijolo); não segrega ao ser transportada; não endurece em contato com blocos de sucção elevada e, permanece plástica por tempo suficiente para que os blocos (tijolos) sejam ajustados facilmente no nível e no prumo" (Sabbatini, 1986).

A noção de trabalhabilidade é, portanto, muito mais subjetiva que física. O componente físico mais importante da trabalhabilidade é a consistência, termo que traduz propriedades intrínsecas da mistura fresca relacionadas com a mobilidade da massa e a coesão entre os elementos componentes. Assim a medida da trabalhabilidade é feita indiretamente através da correlação com a consistência da argamassa, que pode ser avaliada por diversos ensaios normalizados internacionalmente.

Shalon e Soroka, apud Sabbatini (1984), pesquisando as consistências reais adotadas por diferentes oficiais pedreiros chegaram a três importantes conclusões:

- a consistência adequada para um pedreiro não o é para outro;
- é uma qualidade de escolha individual de cada pedreiro e não pode ser generalizada;
- os oficiais pedreiros têm a capacidade de manter uma dada consistência constante qualquer que seja a composição da argamassa.

Segundo a consistência, as argamassas são classificadas em seca, plástica e fluída. Na argamassa seca a pasta só preenche os vazios entre os grãos, permanecendo estes em contato, o que se traduz por massas ásperas e pouco trabalháveis. Na argamassa plástica uma fina película de pasta "molha" a superfície dos grãos de areia atuando como lubrificante. Na argamassa fluída, as partículas de areia estão imersas na pasta, sem coesão interna e com tendência a segregar e, sem possibilidade de ser empregada, pois ela se esparrama tal qual um líquido.

3.1.2. Retentividade de água

A capacidade de retenção de água está intimamente relacionada a manutenção da consistência da argamassa. Entende-se retenção de água como a propriedade da argamassa de não perder a água que possui para o substrato onde foi assentada.

A influência da água nas propriedades da argamassa fresca é muito grande, tendo em vista, as diferenças de comportamento que podem ocorrer conforme se verifique que o teor de água existente é menor, próximo ou maior do que o teor limite de saturação. No primeiro caso, a água se reparte sobre os grãos e forma pontes que acarretam o aparecimento de fortes atrações entre os grãos. A atração exercida pelos meniscos, pode ser bastante elevada se a distância entre os grãos é pequena (Sobral, 1983).

Quando o teor de água é maior que o limite de saturação, e não há uma grande proporção de bolhas de ar, a ausência do menisco suprime toda atração capilar. A coesão interna do material, agora limitada, em face do desaparecimento de um certo número de pontes, diminui em seguida, pelo desaparecimento da maior parte dos meniscos, até chegar a uma fase em que age praticamente só a distância entre os grãos (*idem*).

Portanto, manter a água de amassamento é fundamental para a retenção da consistência e conseqüentemente da manutenção da trabalhabilidade. Também as propriedades da argamassa endurecida, como a resistência mecânica, dependem da retenção de água, porque as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuam durante a cura.

A água em excesso é extremamente prejudicial, porém por não ter força de atração suficiente é facilmente cedida por efeito da sucção da base onde é assentada. Segundo Sabbatini (1984), em não ocorrendo uma retenção adequada da água pela argamassa irá ocorrer que: a argamassa perdendo muita água provocará uma diminuição na resistência de aderência e apresentar-se-á mais rígida (maior módulo de deformação) quando endurecida, o que implica em menor capacidade de absorver deformações; a argamassa poderá ter reduzida sua resistência pois a hidra-

tação do cimento e a carbonatação da cal serão prejudicadas com a perda inadequada de água. Em decorrência destes fatores haverá ainda prejuízo na durabilidade e na estanqueidade da parede.

3.1.3. Capacidade de absorver deformações

Uma das principais características que deve apresentar uma argamassa de assentamento é a capacidade de absorver deformações. Ocorre que no caso das argamassas empregadas em juntas de alvenaria este fenômeno é restringido, ocasionando tensões que são resistidas pelas ligações internas do material ou vão se acumulando até ultrapassarem a capacidade resistente dessas ligações. Desta forma, as argamassas devem apresentar uma resiliência adequada ao uso que se fará dela.

Especificamente, resiliência de um material é: "a capacidade que um material apresenta de se deformar sem apresentar ruptura quando sujeito a solicitações diversas e de retornar à dimensão original quando cessam estas solicitações".

No caso de uma argamassa forte, ou seja, que apresenta elevado módulo de deformação, as tensões vão se acumulando até atingirem níveis elevados, de modo que a ruptura, se houver, se manifestará por fissuras macroscópicas. Nas argamassas ditas fracas, ou seja, que apresentam baixo módulo de deformação, as ligações internas são pouco resistentes, de modo que as tensões são dissipadas na forma de microfissuras invisíveis.

Enquanto as macrofissuras são prejudiciais, por permitirem a penetração de água de chuva através da parede, e outros problemas de desempenho do material, as fissuras microscópicas não causam problemas. Cincotto et alli (1985), relatam a perda de estanqueidade à chuva de paredes externas de blocos assentados com argamassa de areia e cimento: patologia resultante do fissuramento da argamassa de assentamento, por incapacidade de absorção de tensões.

Para o caso das argamassas devemos entender resiliência como um estado tal de deformação plástica no qual a ruptura ocorre sob a forma de fissuras microscópicas. Deste modo então, a capacidade de absorver deformações de uma argamassa é inversamente proporcional ao seu módulo de deformação, ou seja, argamassas com elevada capacidade de acomodação plástica são argamassas com baixo módulo de deformação. Assim, as argamassas com maiores capacidades de absorverem deformações são as argamassas mais fracas.

3.1.4. Aderência

Muito embora esta propriedade não seja uma exigência para as argamassas de assentamento de alvenaria de vedação tanto quanto o são para argamassas de assentamento de alvenaria estrutural ou de revestimento, cabe lembrar que a aderência insuficiente entre a argamassa e a superfície da unidade de alvenaria (bloco ou tijolo) pode produzir problemas patológicos. Podem aparecer trincas ou fissuras na interface unidade de alvenaria/argamassa devidas a fraca capacidade de aderência entre ambas.

A aderência argamassa de assentamento/unidade de alvenaria é resultante de uma ação mútua. Não é uma característica inerente às argamassas, mas depende das condições de ambos. A aderência entre a argamassa e o tijolo ou bloco é um fenômeno mecânico, ou seja, o que ocorre é uma ancoragem da argamassa na unidade de alvenaria através da penetração da nata de aglomerante nas reentrâncias e poros do substrato. Com o endurecimento da argamassa, esta fica encunhada na superfície rugosa do substrato.

Pesquisa realizada por Laurence e Cao (1988) na microestrutura da interface entre tijolo e argamassa, baseada em observação microscópica por varredura eletrônica, difração de raios-X e espectometria, constatou que a aderência depende principalmente da umidade do tijolo e da microestrutura dos hidratos de cimento.

Concluem os pesquisadores que, quando o tijolo está saturado, a sucção é baixa e a penetração da argamassa nos poros é mínima. Aparece uma grande porosidade na interface devido ao fator água/cimento no local. Quando o tijolo é muito seco há uma grande sucção que promove a penetração da argamassa nos poros, podendo-se obter portanto, altas resistências de ligação. Alertam para o risco de perda de água de hidratação do cimento.

Portanto, a capacidade de aderência depende da argamassa, mas também depende do substrato. A capacidade de sucção dos tijolos ou blocos tem muita influência, bem como a manipulação dos materiais em obra e as condições de cura.

3.1.5. Resistência mecânica

Devido a sua posição como elemento de alvenaria, o principal esforço que solicita uma junta de argamassa é o esforço de compressão. No entanto outros esforços não podem ser desprezados, como flexão e cisalhamento provocados por esforços laterais nas paredes. Bem

como o esforço de tração provocado pelas tensões internas que agem no material como as movimentações de origem térmica e de variação no conteúdo de umidade.

Ao contrário do que se acreditava anteriormente, a resistência dos tijolos ou blocos é a grande determinante da resistência da alvenaria. A resistência da alvenaria aumenta modestamente com o aumento de resistência da argamassa, mas cresce consideravelmente com a resistência dos tijolos. Conforme observa-se na figura abaixo, uma argamassa de traço 1:2:9 (cimento, cal, areia seca em volume) possui cerca de 20% da resistência à compressão de uma argamassa de traço 1:3 (cimento, areia). Porém a resistência à compressão da alvenaria executada com aquela argamassa é só 8% inferior à da executada com o traço 1:3.

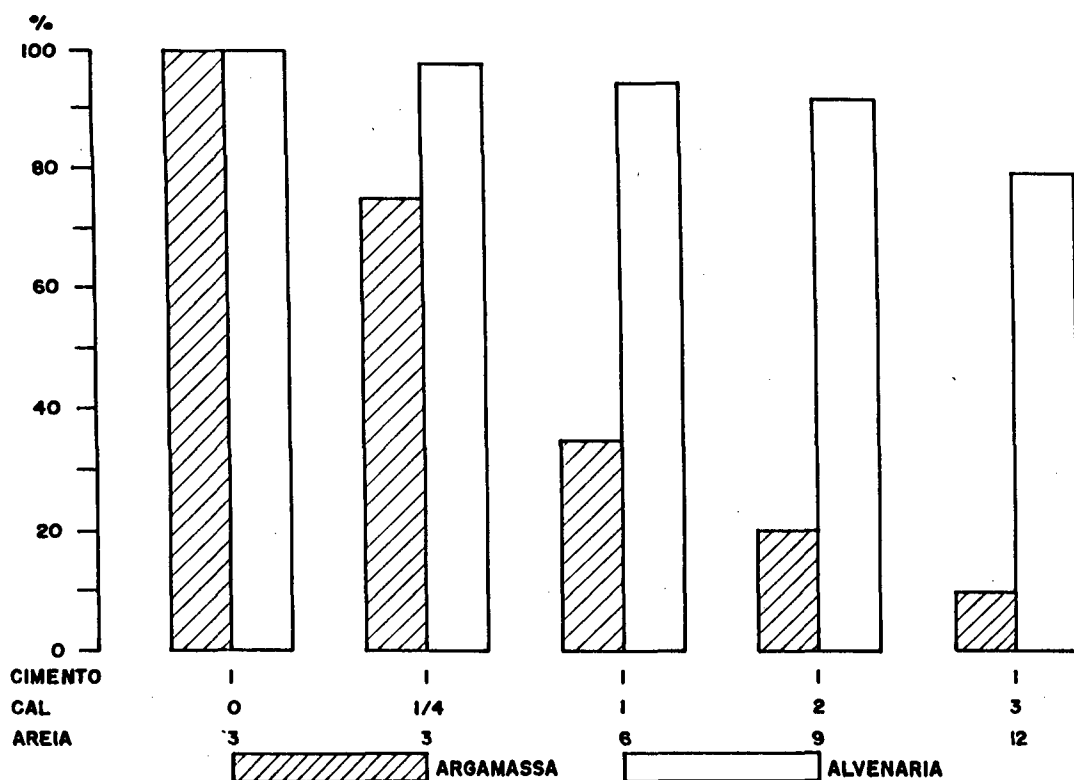


Figura 3.1.a: Resistência da alvenaria em relação à resistência da argamassa. (BRE Digest 246).

Deste modo, a não ser que a argamassa tenha um uso especial como aquelas empregadas na alvenaria estrutural para edifícios de grande porte, ou em locais em que as condições ambientais são adversas (umidade constante, ambiente agressivo), produzir argamassas resistentes, muito ricas em cimento, nada mais é do que desperdício de recursos.

Davidson (1974) afirma: "Talvez por causa da confusão entre concreto e argamassas de assentamento a importância da resistência à compressão tem sido muito enfatizada. Resistência de aderência é mais importante, bem como boa trabalhabilidade e retenção de água.....".

Os motivos para ainda hoje se ensaiar a argamassa quanto a resistência à compressão, é que esta característica, se mantida constante e sem grande variação indica que a mesma tem sido produzida com bom controle.

3.2. Produção de argamassas de assentamento

A fabricação de uma argamassa de assentamento resume-se basicamente em misturar os componentes, previamente escolhidos e dosados, em uma certa sequência, por um determinado tempo. A dosagem dos componentes é chamada de "traço", ou seja, é a proporção relativa de cada componente, dada em volume, tendo sempre o cimento como unidade.

A mistura dos materiais constituintes pode ser feita via manual ou mecânica. A mistura manual dos constituintes em caixas "maseiras" com o auxílio de pás e enxadas, só é admissível quando a quantidade de argamassa a ser produzida é muito pequena. A mistura mecânica é normalmente utilizada por proporcionar uma melhor homogeneização, além de precisão da dosagem e evitar desperdícios de material. As betoneiras reversíveis de eixo inclinado são os equipamentos mais utilizados na mistura mecânica dos materiais constituintes da argamassa, embora não sejam as mais indicadas. As betoneiras são próprias para a produção de concreto, que possui propriedades reológicas diferentes da argamassa em virtude da presença do agregado graúdo.

Para a produção de argamassas existem no mercado equipamentos chamados "argamasseiras", que são máquinas compostas de uma cuba fixa de grande diâmetro e eixo vertical. Diferem da betoneira por dispor de pás móveis que giram em torno de um eixo central. Este equipamento é mais apropriado às características de uma argamassa.

Definido o traço da argamassa a ser produzida, o primeiro passo da fabricação em si, é a dosificação dos materiais constituintes. Como o traço é dado em volume, deve-se empregar um recipiente com capacidade previamente conhecida, para a dosagem dos materiais. É recomendável o emprego de recipientes feitos com materiais que não venham a se deformar com o uso, alterando a sua capacidade interna com o tempo. Não devem ser empregados também equipamentos que tornem a dosagem subjetiva e incerta como pás ou carrinhos de mão. A adoção de caixas especiais, denominadas "padiolas", com volume interno igual ao ocupado por um saco

de cimento, tem facilitado o trabalho nas obras onde é empregado, visto que no traço o volume de cimento é a unidade da mistura.

Para se otimizar as propriedades da cal nas argamassas mistas, recomenda-se a produção de uma argamassa prévia de cal e areia. Esta argamassa deve ser deixada em repouso por um período de no mínimo 16 horas, segundo o CP-121 "Walling". Isto porque, segundo Sabbatini (1986), o hidróxido de cálcio obtido no processo de hidratação em reatores (em pó) possui uma superfície específica relativamente pequena se comparada com a obtida no processo de extinção. Mas esta superfície específica pode ser muito aumentada se a cal permanecer um certo tempo em contato com a água. Por exemplo, para se produzir uma argamassa de traço 1:1:6 em volume, primeiramente prepara-se uma argamassa com 1 parte de cal para 6 partes de areia e deixa-se repousar por 16 horas. Depois mistura-se 6 partes dessa argamassa prévia e 1 parte de cimento.

Quanto ao tempo de mistura, na betoneira ou argamasseira, recomenda-se que seja o suficiente para se obter homogeneidade e uniformidade de cor da mistura. Como parâmetro, a recomendação é que este tempo não ultrapasse os 5 minutos e não seja menor que 3 minutos.

Após a incorporação do cimento à argamassa prévia de cal e areia, a argamassa possui um prazo de utilização não superior a 2 horas. Neste período, com o início das reações de pega do cimento e a evaporação da água de amassamento, a massa começa a se enrijecer, perdendo fluidez e plasticidade. No caso de necessidade de se restaurar a plasticidade, deve-se acrescentar o mínimo de água possível, sempre dentro do prazo de 2 horas.

3.3. Ensaios de caracterização de argamassas de assentamento

Os ensaios de caracterização destinam-se a estabelecer parâmetros físicos e mecânicos das argamassas de assentamento, de modo que se permita a qualquer tempo, comparar diversas composições com o objetivo de escolher o traço mais conveniente para determinada finalidade.

São ensaios físicos e mecânicos que medem determinadas propriedades das argamassas de assentamento que poderão ter influência no desempenho destas como junta de alvenaria. São indispensáveis para o projeto e especificação da composição ou traço da argamassa, tendo em vista que as propriedades de uma argamassa não podem, a priori, ser estabelecidas a partir das características individuais dos seus materiais constituintes.

Os ensaios de caracterização podem ser divididos em dois grupos, de acordo com o estado em que se encontra a argamassa, em: ensaios de caracterização da argamassa fresca e ensaios de caracterização da argamassa endurecida.

A propriedade que mais interessa para a argamassa no estado fresco, como já vimos no item 3.1.1, é a sua trabalhabilidade. Os ensaios relacionados com a avaliação da trabalhabilidade envolvem normalmente a determinação da consistência, a capacidade de retenção de água, a medida da massa específica e o conteúdo de ar incorporado.

Embora, como já vimos anteriormente, a resistência à compressão não seja a propriedade mais importante que se espera de uma argamassa depois de endurecida, é o ensaio mais adotado para parametrizar as argamassas de assentamento. Isto se deve à possibilidade de se executar ensaios de boa reprodutividade e baixa variação. São indicados ainda os ensaios de determinação da resistência à tração, capacidade de aderência e determinação do módulo de deformação. Este último sim uma informação importante para a especificação de uma composição de argamassa.

No Brasil inexistem métodos de ensaio normalizados específicos para avaliação destas propriedades das argamassas de assentamento. As pesquisas desenvolvidas até o momento sobre as argamassas de assentamento, têm adotado outros ensaios brasileiros normalizados, principalmente os ensaios de cimento e concreto. Também são utilizados os ensaios normalizados para testar cal. Quando não é possível a adaptação de algum método de ensaio brasileiro, são empregados métodos desenvolvidos em países onde existe normalização específica para testar argamassas, como os Estados Unidos, a Inglaterra e a Alemanha.

A Comissão RILEM/CIB (trad. Guimarães, 1977) para o estudo de argamassas publicou um relatório em que são analisados e comparados os métodos de ensaio empregados em 15 países. Além disso, diversos pesquisadores têm desenvolvido em seus trabalhos, métodos de ensaio com a finalidade de cobrir a lacuna existente neste campo da pesquisa em construção civil.

3.4. Controle de qualidade da produção

Primeiramente, o controle de qualidade da produção de uma argamassa passa pela exigência de requisitos quanto à qualidade dos materiais constituintes da mistura. As propriedades finais do produto dependem das características dos seus componentes, mas deles não pode ser deduzida.

A variabilidade das características dos materiais básicos que compõem uma argamassa, principalmente a cal, o saibro e o agregado, causam variabilidade também no produto obtido.

Por exemplo, as cales existentes no mercado brasileiro, conforme analisado em diversas pesquisas, principalmente os trabalhos de Cincotto, M. A., apresentam uma variação de qualidade muito grande de fabricante para fabricante. A NBR 7215-Cal Hidratada para Argamassas (ABNT, 1982) e a NBR 6453-Cal Virgem para Construção (ABNT, 1988), preconizam uma série de exigências que devem ser observadas quanto a qualidade destes materiais, bem como os métodos de ensaio para avaliação.

Os saibros são utilizados em diversos estados do Brasil, como Santa Catarina, Rio de Janeiro e Espírito Santo, como substituto da cal nas argamassas de assentamento. Contudo estes materiais possuem uma composição mineralógica muito variável, que pode influir nas propriedades das argamassas. Afirma Guimarães (1985), que estes materiais, denominados de "saibro" ou "barro", são originários de depósitos de alterações de rochas e heterogêneos em seus vários aspectos. A progressão do desmonte numa mesma jazida normalmente produz materiais com composições diferentes.

Desta forma, o uso do saibro deve ser feito com cautela. O pequeno número de trabalhos científicos sobre as características destes materiais e sua influência sobre as propriedades das argamassas, faz com que inexistam parâmetros de qualidade para este material. O controle de qualidade então, fica restrito à determinação da distribuição granulométrica e teor de materiais argilosos. Recomenda-se controle periódico do material recebido em obra.

No controle de qualidade do agregado miúdo, recomenda-se determinações periódicas, quando não houver constância nas características visuais do material ou suspeita sobre sua composição química e mineralógica. Não há norma brasileira específica de agregado para argamassa. Adotam-se usualmente os parâmetros da NBR 7211-Agregados para Concreto (ABNT, 1983). Na ausência da padronização brasileira podem ser adotadas as normas ASTM C-144-Aggregate for Masonry Mortar (ASTM, 1987) e BS 1200 - Buildings Sands from Natural Sources (BSI, 1980).

Quanto ao cimento, devido ao seu elevado grau de industrialização e o alto nível de controle de qualidade exercido pela indústria cimenteira, através da ABCP, requer apenas no momento de seu recebimento, a verificação do carregamento se está de acordo com a especificação técnica.

A não uniformidade dos materiais básicos que compõem uma argamassa de assentamento, torna cada obra um caso, porque as características daquela argamassa irão depender dos materiais empregados naquela obra. Portanto, torna-se necessário o controle de qualidade no sentido de

manter a uniformidade da produção. Usualmente é adotado o ensaio de resistência à compressão apresentado por um corpo-de-prova, a uma certa idade, para se controlar a produção de uma argamassa.

Este ensaio requer tempo e além de não representar de forma correta a situação em que argamassa vai ser empregada, precisa ser realizado em laboratório. O ideal seria que se pudesse obter uma resposta imediata através de ensaio realizado no próprio canteiro, antes do emprego da argamassa.

Devido a sua relação com a capacidade de aderência, com a capacidade de absorver deformações e a retenção de consistência; a capacidade de retenção de água da argamassa pode ser usada para parametrizar aquelas propriedades. A relação entre a retenção de água e estas propriedades não é uma relação diretamente proporcional, mas é adotada nos Estados Unidos como ensaio de controle de qualidade de argamassas. O método inglês da BS 4551 (BSI,1980), pela sua simplicidade pode ser empregado no canteiro de obras com o mesmo resultado que em laboratório. Ele fornece diretamente a quantidade de água retida pela argamassa ao entrar em contato com um material poroso em condições padronizadas (disco de papel filtro).

A massa específica e o teor de ar incorporado das argamassas no estado fresco, são propriedades relacionadas à trabalhabilidade e definem juntamente com o traço, em massa, o consumo de materiais nas argamassas. A norma inglesa BS 4551 (idem), contém um método de ensaio para determinação da massa específica e o teor de ar incorporado muito simples de ser realizado no canteiro de obra.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO EMPREGADAS NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS

4.1. Considerações iniciais

Este capítulo descreve um estudo de caso, em um conjunto de obras em andamento na região de Florianópolis e municípios vizinhos, com o objetivo de caracterizar as argamassas empregadas no assentamento de alvenarias. Através desta pesquisa de campo visou-se obter um retrato do atual estado em que se encontra a tecnologia das argamassas nesta região.

A caracterização das argamassas permite efetuar uma avaliação qualitativa das argamassas de assentamento, que servirá como fonte para a formação do conhecimento tecnológico sobre este material de construção. Com base na análise das informações obtidas, poder-se-á propor alterações nos procedimentos de produção das argamassas visando uma racionalização no uso dos materiais componentes, com conseqüente redução de custos, bem como melhorar as qualidades do produto final.

A argamassa de assentamento, será aqui estudada como material de construção, sendo assim entendida como um material composto, cujas propriedades dependem do proporcionamento dos seus componentes e da interação deles entre si. Não serão abordados os aspectos relativos à fabricação da junta de argamassa, pois esta envolve outros aspectos. Quando houver menção de pontos relativos à produção e aplicação das argamassas, estes se deverão a sua influência sobre as propriedades das mesmas e o desempenho delas em uso.

A metodologia para caracterização das argamassas foi dividida em 3 procedimentos:

- a) Coleta de dados: através de pesquisa de campo em obras da região;
- b) Sistematização dos dados: reunião das informações estabelecendo pontos concordantes;
- c) Análise dos dados: reflexão sobre as informações sistematizadas.

4.2. Coleta de dados

Foram visitadas 27 obras em andamento na região da grande Florianópolis. As obras foram escolhidas aleatoriamente, dentre aquelas que estavam em fase de execução de alvenaria. Procurou-se distribuir quantitativamente o tamanho das construções, segundo a classificação em pequena, média e grande construção, cabendo a cada grupo aproximadamente 1/3 das obras visitadas. Considerou-se, apenas para efeito deste trabalho, pequena construção os edifícios com até 500 m² de área. Média construção as obras com até 4.000 m² de área e grande construção as obras com mais de 4.000 m² de área.

Durante as visitas aos canteiros de obras, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pelas mesmas. É importante ressaltar que nenhuma das visitas foi previamente marcada com o responsável pela obra, engenheiro ou mestre de obras, visando-se com este procedimento, uma maior autenticidade dos dados coletados. Paralelamente à entrevista procurou-se observar os diversos aspectos da obra relacionados com as argamassas de assentamento, bem como manter contato com operários e serventes, na busca de subsídios para a caracterização das argamassas.

Foi realizado um questionário previamente elaborado, respondido pelo mestre de obra ou engenheiro responsável pela obra ou pelo operário encarregado da preparação da argamassa, e preenchido pelo pesquisador. As perguntas constantes neste questionário, estão relacionadas no anexo A deste trabalho.

4.3. Sistematização dos dados

Para sistematizar os dados visando caracterizar as argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis, dividiu-se as informações coletadas nos seguintes aspectos:

- Materiais empregados;
- Determinação do traço;
- Dosagem da argamassa;
- Mistura de materiais;
- Avaliação da consistência;
- Condições da unidade de alvenaria.

4.3.1. Materiais empregados

O cimento é o principal aglomerante empregado na produção das argamassas. Este é predominantemente da classe 32, marca Votoran, procedente de Itajaí. Também foram encontrados o cimento marca Serrana, o Itambé e o Pozosul.

Enquanto o cimento é encontrado em todas as obras, o mesmo não se pode dizer da cal, pois em somente três das obras pesquisadas foi encontrada. Em duas era do tipo virgem e na outra do tipo hidratada, marca Minersol, procedente de Colombo-PR.

O barro ou saibro é o material empregado em substituição a cal, com o objetivo de conferir às argamassas a trabalhabilidade adequada. Acredita-se também numa hipotética redução de custos com o emprego deste material. A procedência do saibro é incerta. Diversos forne-

cedores (caçambeiros) recolhem este material em jazidas localizadas nos arredores da cidade e entregam nas obras, onde o barro é utilizado na forma como é entregue.

O agregado empregado é a areia natural quartzosa, comercialmente classificada, segundo o tamanho dos grãos, como "média" e "grossa". Esta areia é extraída de jazidas localizadas nas barrancas do Rio Tijucas, nos municípios de Tijucas e São João Batista. Também é empregada a areia proveniente do Rio Maciambú, localidade de Morro dos Cavalos, município de Paulo Lopes.

Em apenas 2 obras foi relatado que o agregado passava por ensaios de qualidade, e neste caso, tratavam-se de construções de grande porte, pertencentes a empresas construtoras que tradicionalmente operam nesta região. De modo geral a areia é utilizada na produção das argamassas de assentamento na forma como é recebida em obra, não sofrendo sequer o peneiramento.

A água empregada em todas as obras visitadas é a água fornecida pela rede pública, portanto adequada ao emprego na produção de argamassas. Não foi constatada a adição de qualquer tipo de aditivo às argamassas de assentamento.

4.3.2. Determinação do traço

A principal constatação é a de que não se especificam traços de acordo com a finalidade, a nível de projeto, especificação de materiais ou caderno de encargos. De modo geral a determinação do traço fica a cargo do mestre de obra, mas em muitos casos, fica mesmo a critério do operário encarregado de operar a betoneira.

Das entrevistas com os mestres e operários conclui-se que o traço é uma informação tirada da experiência empírica. Na grande maioria das vezes, é um conhecimento passado de pai para filho e de mestre para aprendiz. A experiência também ensinou a função de cada um dos componentes da mistura que formam a argamassa de assentamento. O cimento tem como função dar a "dureza" (resistência) à argamassa endurecida, o saibro a função de melhorar a "liga" (trabalhabilidade) da argamassa fresca, enquanto a areia deve contribuir para dar "massa" (aumentar o volume).

Outra constatação verificada é o desencontro de informações. Assim, era relatada uma determinada proporção em volume dos materiais, mas na observação dos procedimentos de dosagem, percebia-se que o traço efetivamente realizado era outro. Desta forma, foi necessário extrair o traço através da observação da dosagem dos componentes durante o abastecimento da betoneira, bem como uniformizar os volumes dos meios empregados para a dosagem (pás, baldes,

latas, etc.), para se obter os traços efetivos. A tabela 4.3.a mostra os traços nominais coletados e os efetivamente usados, após realizados os cálculos de uniformização. Observa-se que 9 traços nominais não eram efetivamente realizados, e nos 18 traços restantes o traço relatado era o realizado.

Tabela 4.3.a.:Relação de traços nominais e efetivos, cimento:cal ou saibro:areia.

Obra	Traço Nominal	Traço Efetivo
1	1 : 2 : 8	1 : 2 : 8
2	1 : 2 : 3	1 : 2 : 3
3	1 : 3 : 9	1 : 3 : 9
4	1 : 1 : 7	1 : 1 : 10
5	1 : 4 (1)	1 : 4
6	1 : 4 : 6	1 : 4 : 6
7	1 : 1 : 3 (2)	1 : 1 : 3
8	1 : 8 (3)	1 : 8
9	1 : 2 : 4	1 : 2 : 4
10	1 : 1 : 4	1 : 1 : 3
11	1 : 3 (4)	1 : 3
12	1 : 4 : 6 (5)	1 : 4 : 6
13	1 : 3 : 5	1 : 3 : 7
14	1 : 1 : 6	1 : 1 : 5
15	1 : 1 : 5	1 : 1 : 5
16	1 : 1 : 5	1 : 1 : 5
17	1 : 1 : 4	1 : 1 : 5
18	1 : 1 : 5	1 : 1 : 5
19	1 : 1 : 6	1 : 1 : 5
20	1 : 3 : 7	1 : 2 : 6
21	1 : 2 : 6	1 : 2 : 6
22	1 : 2 : 4	1 : 2 : 5
23	1 : 2 : 5	1 : 2 : 5
24	1 : 2 : 6	1 : 2 : 5
25	1 : 2 : 5	1 : 2 : 5
26	1 : 2 : 5	1 : 2 : 5
27	1 : 2 : 5	1 : 2 : 5

Obs.: (1) cimento:areia; (2) cimento:cal virgem:areia; (3) cimento:saibro:areia; (4) cimento : argamassa de cal virgem; (5) cimento:cal hidratada:areia.

Feita esta sistematização dos traços, constatou-se que o traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia) era empregado em 6 obras, e o traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia) em outras 6 obras, sendo portanto os mais utilizados. Nas obras restantes observou-se pelo menos mais 14 composições de traços diferentes. Importante ressaltar não haver traços específicos para diferentes situações de uso, como assentamento de diferentes unidades de alvenaria ou paredes internas e externas. Constatou-se também não haver predominância de um determinado traço conforme o tamanho da obra, mesmo naquelas executadas por empresas construtoras.

4.3.3. Dosagem da argamassa

A dosagem da argamassa é aqui entendida como a medição das quantidades dos componentes da argamassa, dados por um traço em volume.

Da mesma forma como ocorre com a determinação dos traços, a dosagem dos materiais é feita sem critérios por operários sem o preparo adequado para esta importante tarefa. Por falta de orientação, os operários empregam os instrumentos mais diversos possíveis para a medição do volume dos materiais que irão compor a argamassa, como por exemplo, pás, baldes, latas, carrinhos-de-mão e padiolas.

Além da total inadequação de alguns equipamentos como as pás e carrinhos de mão, que tornam a dosagem totalmente subjetiva e aleatória, em várias obras constatou-se a utilização de dois ou três tipos diferentes de instrumentos de medição de volume na confecção de um mesmo traço. Por exemplo, numa determinada obra, observou-se uma "betonada" de argamassa sendo dosada da seguinte forma: meio saco de cimento, acrescido de 4 latas de 18 litros de saibro e 25 pás de areia.

4.3.4. Mistura de materiais

Para a mistura dos materiais verificou-se em todas as obras visitadas a opção pela mistura mecânica. Eram empregadas betoneiras reversíveis de eixo inclinado, geralmente com capacidade para 320 litros.

A sequência de colocação dos materiais na betoneira é obedecida em todas as obras: primeiro carrega-se a areia, depois adiciona-se o saibro ou cal, após o cimento e por último a água. O tempo de mistura desses materiais é determinado empiricamente pela observação visual da mesma.

4.3.5. Avaliação da consistência

A consistência da argamassa é controlada pelo operador da betoneira através da adição de água e seu parâmetro de avaliação é a experiência adquirida através dos anos de trabalho. Como também ocorre com os outros materiais que compõem a argamassa, não constatou-se nenhuma recomendação técnica sobre teor ou quantidade de água a ser adicionada à mistura, ficando totalmente a critério do operador da betoneira a determinação da quantidade de água a ser adicionada.

4.3.6. Condições da unidade de alvenaria

O que interessava particularmente era saber a capacidade de absorção da unidade de alvenaria empregada na obra. De modo geral, são empregados tijolos cerâmicos de 6 ou 8 furos, de uso corrente e nos edifícios de mais de 4 pavimentos é empregado o bloco de concreto celular autoclavado, nas paredes das escadas enclausuradas.

Constatou-se não haver preocupação por parte dos mestres e pedreiros em corrigir um maior ou menor poder de absorção da água de amassamento da argamassa pela unidade de alvenaria. Apenas em 2 das 27 obras visitadas verificou-se a prática da molhagem dos tijolos antes do assentamento.

4.4. Análise dos dados

Com base na revisão bibliográfica e nas observações feitas durante as visitas, pode-se fazer uma série de considerações sobre as argamassas de assentamento empregadas na região de Florianópolis.

A principal consideração a ser feita é que observou-se a total falta de critérios técnicos quanto à produção e uso das argamassas de assentamento. Para realizar uma obra, esta deveria ser precedida de um projeto que englobe a especificação técnica dos materiais, bem como um caderno de encargos, onde se possa encontrar as normas e condições necessárias para realizar os serviços. Desta forma é necessário realizar um estudo prévio das solicitações a que será submetido o material na edificação, e após isto especificar as características que devem apresentar estes materiais.

Nas argamassas de assentamento o estudo das solicitações a que será submetida a junta de argamassa, consiste basicamente na determinação das funções que lhe são atribuídas, principalmente a trabalhabilidade quando fresca e a capacidade de absorver deformações quando endurecida. Devem também ser analisadas outras variáveis como o tipo de unidade de alvenaria; se é alvenaria estrutural ou de simples vedação; se é externa ou interna; proximidade do solo; entre outras.

Como as especificações devem ser feitas a nível de projeto, estas atividades não são atribuições dos profissionais envolvidos na execução da obra, mestres-de-obra, pedreiros, estagiários ou mesmo engenheiro de obra. As especificações devem ser baseadas na caracterização dos materiais, que deve ser feita por profissional qualificado, tecnologista de materiais, em laboratório específico.

Da mesma forma, com os traços observa-se também a falta de critério técnico na especificação da proporção entre os componentes das argamassas. A responsabilidade é delegada ao operador da betoneira, quando muito ao mestre, que não são os mais indicados por não serem profissionais qualificados para esta função. Além disto, a falta de controle técnico foi verificada na adoção de um mesmo traço para condições de uso diferentes; na dosagem inadequada dos materiais, provocada pelo uso de instrumentos de medição de volume impróprios; e na observação de relação aglomerante: agregado muito alta, caracterizando argamassas muito fortes.

Outro aspecto importante na produção das argamassas de assentamento é a determinação da consistência ideal, ou seja a trabalhabilidade do material, que irá refletir a maior ou menor facilidade do seu espalhamento pelo pedreiro. Fatores como tipo de aglomerante, distribuição granulométrica do agregado e quantidade de água, influenciam a consistência de uma argamassa. Desta forma, é importante a fixação experimental em laboratório dos traços mais adequados para cada uso, visto que a alteração dos dois primeiros fatores só pode ser feita pela alteração da composição da argamassa.

Também devem ser feitas recomendações quanto ao prazo de utilização da argamassa depois da adição de água, pois o reaproveitamento de argamassas após o início da pega do cimento, através da adição de mais água é altamente prejudicial.

Por último é de suma importância para a especificação da argamassa o conhecimento das características do tijolo ou bloco de alvenaria, visto que, propriedades como a aderência da argamassa, dependem do substrato onde ela está assentada. Principalmente a absorção de água pelo tijolo ou bloco deve ser avaliada.

CAPÍTULO 5

ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ENTRE ARGAMASSAS DE CIMENTO E CAL OU SAIBRO COMO MATERIAL PLASTIFICANTE

5.1. Objetivos

Na pesquisa de campo realizada, constatou-se o emprego de cimento como aglomerante principal, e o uso de cal ou saibro como segundo aglomerante, este último predominantemente. Considerando que pouco se conhece sobre as argamassas com saibro, decidiu-se então realizar este estudo, onde avaliou-se a influência da dosagem, e comparou-se o uso da cal ou do saibro nas argamassas de assentamento.

Para a definição dos traços a serem analisados, tendo em vista a inexistência de normalização, os parâmetros escolhidos foram as relações "aglomerante:agregado" e "cimento:cal/saibro", em volume aparente. Estes são os parâmetros adotados usualmente pelo meio técnico para a especificação de traços.

As argamassas foram estudadas no estado fresco e no estado endurecido. Nas argamassas frescas foram feitos ensaios de retenção de água, massa específica e teor de ar incorporado. Também foi determinado o índice de consistência, mas este índice foi adotado como parâmetro de uniformização da trabalhabilidade apresentada pelas argamassas, determinada pela quantidade de água adicionada à mistura.

A argamassa endurecida foi ensaiada em corpos de prova quanto à resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação. Os corpos-de-prova de junta de argamassa foram ensaiados quanto à resistência de aderência.

5.2. Materiais e traços

De acordo com os parâmetros estabelecidos ou sejam, as relações aglomerante:agregado e cimento:cal ou saibro, e com base nos traços mais empregados nas obras visitadas na pesquisa de campo, determinou-se 6 traços em volume, que constam da tabela 5.2.a, com os quais foram produzidas 12 argamassas, 6 empregando o saibro, e 6 empregando cal como segundo aglomerante.

Tabela 5.2.a:Relações aglomerante:agregado e cimento:cal/saibro em volume aparente dos traços de argamassas estudados.

Relação cimento:cal/saibro	Relação aglomerante:agregado em volume		
	1 : 2	1 : 2,5	1 : 3
1:1	1 : 1 : 4 n.1	1 : 1 : 5 n.3	1 : 1 : 6 n.5
1:2	1 : 2 : 6 n.2	1 : 2 : 7,5 n.4	1 : 2 : 9 n.6

Os aglomerantes escolhidos para o estudo foram o cimento portland pozolânico, marca Votoran CP-IV-32, procedente de Itajaí-SC e a cal calcítica hidratada em pó da marca Minersol, fabricada em Colombo-PR. As características físicas estão apresentadas no anexo D.

O saibro e a areia empregados foram adquiridos no comércio local, procedentes de jazidas situadas na região de Florianópolis. A areia adotada é a classificada comercialmente como "média". Tanto o saibro como a areia sofreram peneiramento para retirada dos grãos maiores, em uma peneira de abertura de malha 2,4 mm. As características físicas da areia e do saibro são apresentadas no anexo D.

5.3. Metodologia

O estudo experimental foi dividido em 5 etapas: conversão dos traços em volume para traços em massa, definição da metodologia dos ensaios, produção das argamassas, ensaios no estado fresco e ensaios no estado endurecido. A seguir são detalhadas estas etapas.

5.3.1. Conversão dos traços em volume para traços em massa

A conversão dos traços em volume para traços em massa, visa garantir a repetibilidade de argamassas iguais em laboratório. Desta forma, após estabelecidos os traços em volume das diversas argamassas a serem ensaiadas, procedeu-se à conversão destas para traços em massa, através da seguinte expressão:

$$1 : \frac{V_p \cdot \gamma_p}{\gamma_c} : \frac{V_q \cdot \gamma_q}{(V_h/V_o) \cdot \gamma_c} \quad (5.3.1)$$

Onde:

V_p = proporção de cal hidratada ou saibro no traço da argamassa, em volume aparente;

V_q = proporção do agregado miúdo úmido no traço da argamassa, em volume aparente;

γ_c = massa unitária do cimento, no estado solto, em kg/dm^3 ;

γ_p = massa unitária da cal hidratada ou saibro, no estado solto, em kg/dm^3 ;

γ_q = massa unitária do agregado miúdo, no estado seco e solto, em kg/dm^3 ;

V_h/V_o = coeficiente médio de inchamento do agregado, NBR 6467 (ABNT, 1985);

Obs.: Massa unitária foi determinada em analogia à NBR 7215 (ABNT, 1982).

As tabelas 5.3.1.a e 5.3.1.b, apresentam os traços das argamassas estudadas, em volume, convertidos pela expressão 5.3.1 em traços em massa.

Tabela 5.3.1.a: Traços em volume e traços em massa das argamassas de cimento:saibro estudadas.

Número	Traço em volume	Traço em massa
1	1 : 1 : 4	1 : 0,84 : 4,07
2	1 : 2 : 6	1 : 1,67 : 6,13
3	1 : 1 : 5	1 : 0,84 : 5,09
4	1 : 2 : 7,5	1 : 1,67 : 7,63
5	1 : 1 : 6	1 : 0,84 : 6,13
6	1 : 2 : 9	1 : 1,67 : 9,16

Tabela 5.3.1.b: Traços em volume e traços em massa das argamassas de cimento:cal estudadas.

Número	Traço em volume	Traço em massa
1	1 : 1 : 4	1 : 0,69 : 4,07
2	1 : 2 : 6	1 : 1,38 : 6,13
3	1 : 1 : 5	1 : 0,69 : 5,09
4	1 : 2 : 7,5	1 : 1,38 : 7,63
5	1 : 1 : 6	1 : 0,69 : 6,13
6	1 : 2 : 9	1 : 1,38 : 9,16

5.3.2. Definição da metodologia dos ensaios

As propriedades a serem avaliadas foram determinadas com base na pesquisa bibliográfica constante deste trabalho. Os métodos de ensaio empregados foram encontrados na normalização brasileira, inglesa e na bibliografia, sendo que os ensaios baseados em normas brasileiras, por não serem específicos para argamassas, foram adotados por analogia. Considerou-se também para a

escolha dos métodos de ensaio a possibilidade técnica para realizá-los, de acordo com as condições do laboratório de materiais de construção da UFSC. A seguir estão relacionadas as propriedades, os métodos de ensaio e número de determinações por amostra:

a) Argamassa fresca

Adotou-se o índice de consistência ABNT de 240 ± 10 mm, como coeficiente de trabalhabilidade, com o objetivo de estabelecer um parâmetro para fixação da quantidade de água adicionada. Portanto, neste estudo experimental, o índice de consistência é uma propriedade pré-estabelecida. Assim, o índice de consistência foi determinado em analogia à NBR 7215-Ensaio de cimento portland (ABNT, 1982), em número de determinações necessárias até que a argamassa em preparo apresentasse o índice pré-estabelecido.

A figura 5.3.2.a mostra fotografia do momento em que se procedia a realização do ensaio de consistência, onde se vê a etapa de adensamento na mesa de consistência ABNT.

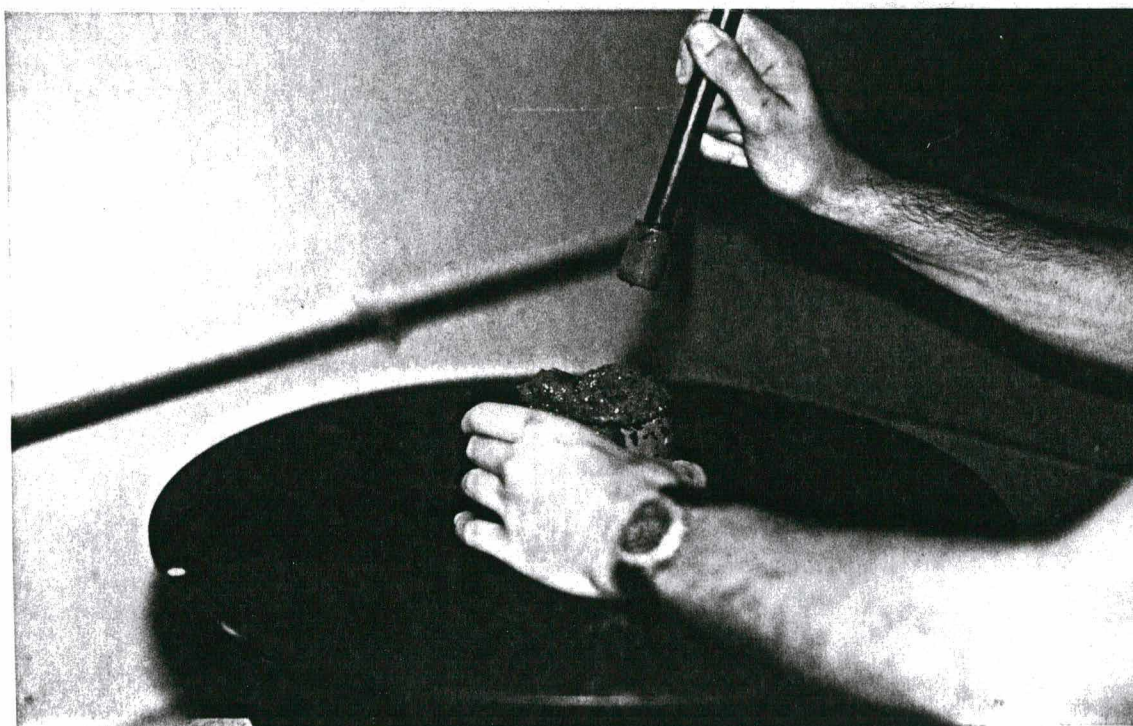


Figura 5.3.2.a: Fotografia da realização do ensaio de consistência.

A determinação da massa específica e do teor de ar da argamassa, teve como objetivo o cálculo do consumo de materiais para produção de 1 m^3 de argamassa pronta, não tendo importância para as outras propriedades estudadas.

Tabela 5.3.2.a: Propriedades caracterizadas no estudo, métodos de ensaio no estado fresco correspondentes e número de determinações ou corpos-de-prova, por traço de argamassa.

Propriedade	Ensaio	Determinações
Consistência	Análogo à NBR 7215 (INMETRO, 1986)	Variável
Retenção de Água	BS 4551 (BSI, 1980) (anexo C)	2
Massa Específica e Teor de Ar	BS 4551 (BSI, 1980) (anexo C)	2

A figura 5.3.2.b, a seguir, mostra uma fotografia da realização do ensaio de determinação da retenção de água da argamassa, e a figura 5.3.2.c, mostra o momento da pesagem do molde cilíndrico preenchido com argamassa, para determinação da massa específica.



Figura 5.3.2.b: Fotografia da execução do ensaio de retenção de água.

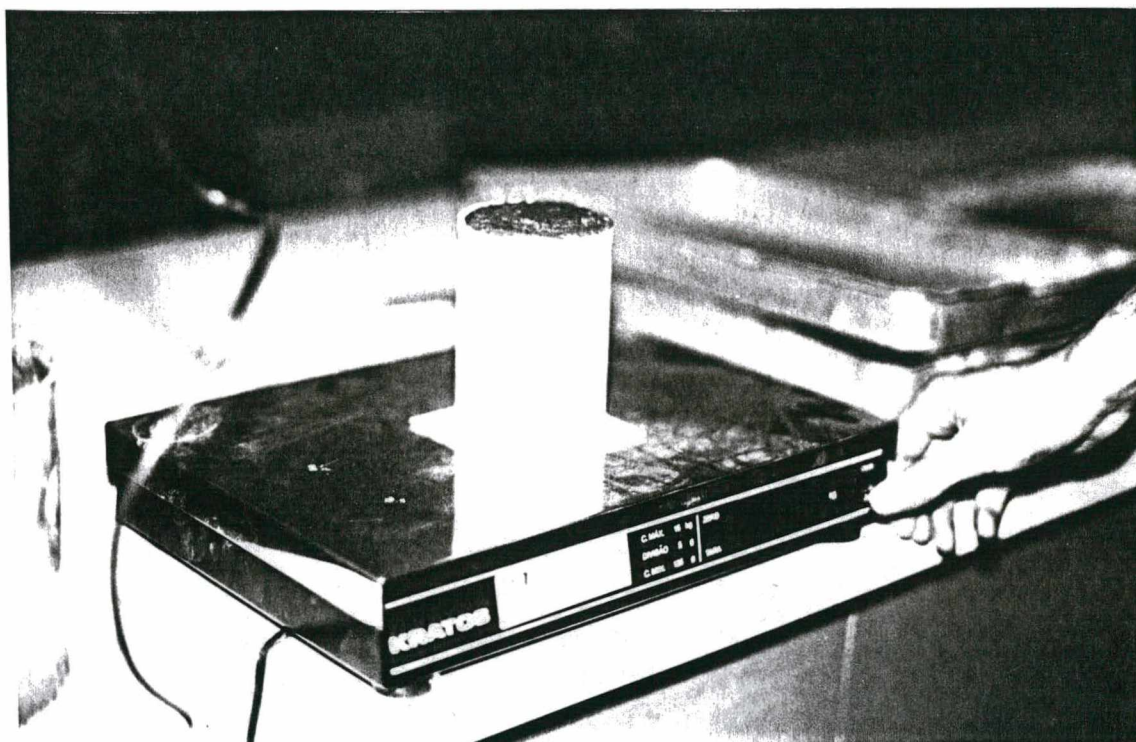


Figura 5.3.2.c: Fotografia da execução do ensaio de massa específica.

De cada argamassa recém preparada, foi retirada uma fração para realização dos ensaios de retenção de água e massa específica da argamassa fresca. Da fração restante foram moldados corpos-de-prova cilíndricos de 50 x 100 mm, em número de 14, para realização dos ensaios no estado endurecido.

b) Argamassa endurecida

Durante o ensaio de resistência à compressão, na ausência de norma correlata, determinou-se a deformação sofrida pelo corpo-de-prova no momento da ruptura por compressão axial, para efeito do cálculo do módulo de deformação. Utilizou-se para isto um relógio comparador com precisão de 0,002mm. O módulo de deformação foi então calculado pela seguinte expressão (5.3.2):

$$E = \frac{Rc * L}{d} \quad (5.3.2)$$

Onde:

E = módulo de deformação, em MPa;

R_c = resistência à compressão, em MPa;

L = comprimento inicial do corpo de prova, em mm;

d = deformação sofrida, em mm.

Todos os corpos de prova foram curados no ambiente do laboratório e as propriedades das argamassas endurecidas moldadas em corpos-de-prova cilíndricos, em cada idade, foram expressas pela média aritmética dos valores obtidos em duas determinações. Os ensaios e número de corpos-de-prova estão relacionados na tabela 5.3.2.b, abaixo:

Tabela 5.3.2.b: Propriedades caracterizadas no estudo, métodos de ensaio no estado endurecido correspondentes e número de determinações ou de corpos-de-prova, por traço de argamassa.

Propriedade	Ensaio	C. Ps.
Resistência à compressão axial	Análogo à NBR 7215 (ABNT, 1982)	8
Resistência à tração por compr. diamet.	Análogo á NBR 7222 (ABNT, 1983)	4
Módulo de deformação na compressão axial	Análogo à NBR 7215 (ABNT, 1982)	4

No ensaio de resistência à compressão axial, adotou-se as idades de 7, 14 e 28 dias após a moldagem para rompimento dos corpos de prova; enquanto para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral e módulo de deformação, adotou-se as idades de 28 e 63 dias. A figura 5.3.2.d mostra a fotografia dos corpos-de-prova cilíndricos moldados e capeados, prontos para serem rompidos no ensaio de resistência à compressão axial.



Figura 5.3.2.d: Fotografia dos corpos-de-prova de argamassa antes do ensaio de resistência à compressão.

Para o ensaio de aderência foram utilizados componentes de alvenaria, caracterizados no anexo D, e adotou-se a idade única de 28 dias para o ensaio dos 08 corpos-de-prova, sendo a resistência de aderência expressa pela média aritmética de 08 ensaios. Os corpos-de-prova de junta de argamassa foram moldados e deixados em repouso até a idade do ensaio no ambiente do laboratório, e depois ensaiados de acordo com o anexo C. A figura 5.3.2.e, mostra uma fotografia do dispositivo (Anderson, 1981) utilizado no ensaio de resistência de aderência preparado para execução.

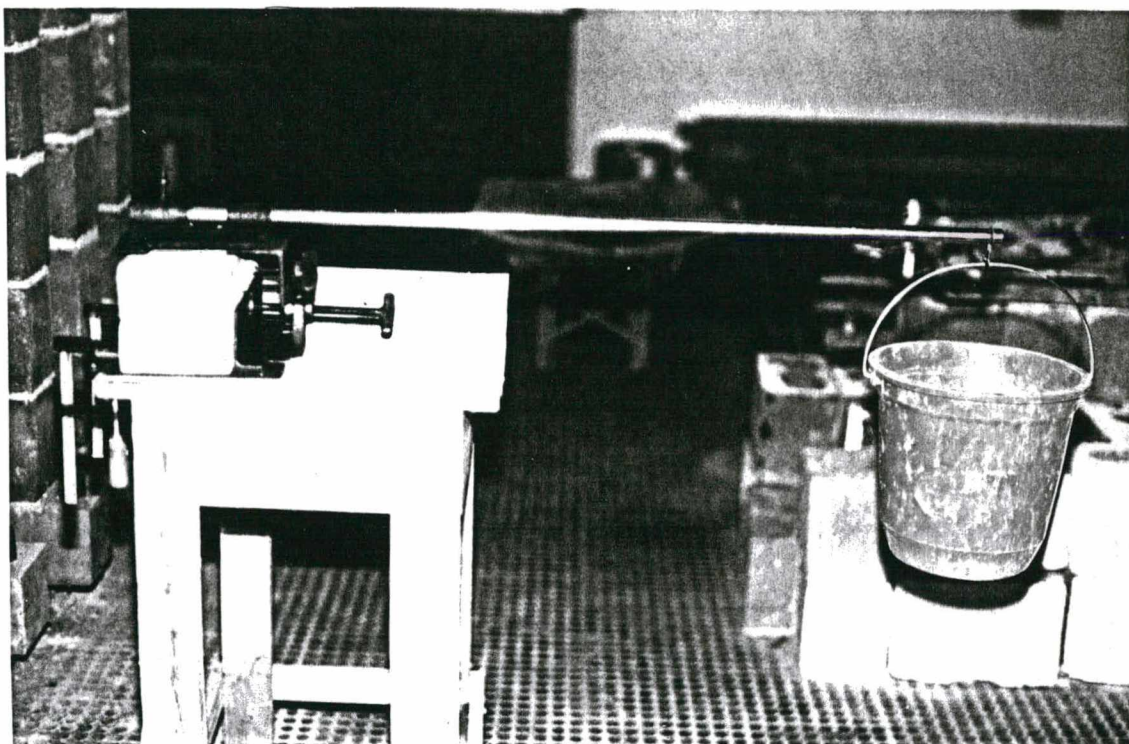


Figura 5.3.2.e: Fotografia do dispositivo para execução do ensaio de resistência de aderência preparado para ensaio.

5.3.3. Produção das argamassas

Adotou-se o índice de consistência ABNT de $240 \pm 10\text{mm}$, como coeficiente de trabalhabilidade, com o objetivo de estabelecer um parâmetro para fixação da quantidade de água adicionada. Portanto, neste estudo experimental o índice de consistência é uma propriedade pré-estabelecida.

O agregado miúdo empregado assim como o saibro encontravam-se na condição de secos ao ar, e peneirados em uma peneira de abertura de malha 2,4mm.

Tendo em vista o pequeno volume de argamassa necessário para os ensaios (aproximadamente 5 dm^3), optou-se pela mistura manual dos constituintes das argamassas.

A metodologia utilizada no preparo das argamassas de cimento e saibro como segundo aglomerante, pode ser descrita pelas seguintes etapas:

1. determinação, em balança, das massas de cimento, saibro e areia do traço;
2. mistura dos componentes secos, até obtenção de homogeneidade, caracterizada pela uniformidade de cor;

3. adição de água até a obtenção da trabalhabilidade adequada, expressa pelo índice de consistência ABNT, anotando-se o teor de água adicionado;

A metodologia utilizada no preparo das argamassas de cimento e cal como segundo aglomerante, pode ser descrita pelas seguintes etapas:

1. determinação, em balança, das massas de cimento, cal hidratada e agregado do traço;
2. mistura da cal hidratada e agregado até obtenção de homogeneidade, caracterizada pela uniformidade de côr;
3. adição de água para se obter uma argamassa de cal, anotando-se o teor de água adicionado;
4. repouso da argamassa de cal por 24 horas;
5. adição do cimento à argamassa de cal e ajustamento da trabalhabilidade, de acordo com o índice de consistência, com a adição de água, anotando-se o teor de água adicionado.

Após o preparo das argamassas, procedia-se à realização dos ensaios no estado fresco e moldagem dos corpos de prova cilíndricos e de junta de argamassa.

5.4. Estudo comparativo dos custos das argamassas

Com o objetivo de comparar o custo de uma argamassa de cimento e saibro, em relação ao custo de uma argamassa de cimento e cal, determinou-se os consumos de materiais por metro cúbico de dois traços.

Para a argamassa de cimento e saibro adotou-se o traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia), por ser um dos mais empregados em obras em Florianópolis. Para as argamassas de cal, escolheu-se dentre os traços estudados, aquele cujas propriedades no estado fresco e endurecido mais se aproximavam das propriedades apresentadas pela argamassa de cimento e saibro, ou seja, o traço 1:2:7,5 (cimento, cal, areia).

Para o cálculo das quantidades de materiais, adotou-se o modelo constante do trabalho de Selmo (1989), onde a composição das argamassas frescas, em massa, equivalente a 1:p:q:a/c (cimento, cal ou saibro, areia e água) é calculado pelas expressões (5.4.1) a (5.4.4), como segue:

$$C_c = \frac{1000 \times (1 - A_r/100)}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{p}{\gamma_p} + \frac{q}{\gamma_q} + a/c} \quad (5.4.1)$$

$$C_p = p \cdot C_c \quad (5.4.2)$$

$$C_q = q \cdot C_c \quad (5.4.3)$$

$$C_a = a/c \cdot C_c \quad (5.4.4)$$

Sendo:

- C_c = consumo de cimento, em kg por m³ de argamassa;
- C_p = consumo de cal ou saibro, em kg por m³ de argamassa;
- C_q = consumo de agregado miúdo, em kg por m³ de argamassa;
- C_a = consumo de água, em kg por m³ de argamassa;
- A_r = teor de ar aprisionado na argamassa, em %;
- p = proporção de cal ou saibro no traço em massa;
- q = proporção de agregado miúdo no traço em massa;
- a/c = relação água/cimento em massa;
- γ_c = massa específica do cimento, em kg/dm³;
- γ_p = massa específica da cal ou saibro, em kg/dm³;
- γ_q = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm³.

Tomando-se por base os preços praticados pelo comércio de Florianópolis e região, durante o mês de setembro/93, extraídos da revista REGIONAL-Resumida (1993), apresenta-se na tabela 5.4.a a seguir os consumos e custos dos traços de argamassa estudados:

Tabela 5.4.a: Consumos dos materiais constituintes dos traços por m³ de argamassa, e respectivos custos finais em cruzeiros reais; preços de setembro/93.

Traços	1 : 1 : 5	1 : 2 : 7,5
Consumo de Cimento	248,87 kg	163,05 kg
Consumo de Saibro	209,06 kg	----
Consumo de Cal	----	225,01 kg
Consumo de Areia	1.266,75 kg	1.245,70 kg
Consumo de Água	328,51 kg	337,51 kg
Custo Final/m ³	CR\$ 4.581,30	CR\$ 6.648,21

CAPÍTULO 6

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL

6.1. Análise dos resultados das propriedades no estado fresco

Para melhor interpretação dos resultados, elegeu-se a relação aglomerante/agregado em massa, ou seja a relação entre o consumo de aglomerantes e o consumo de agregados; e a relação água/cimento em massa, que é a relação entre o consumo de água e o consumo de cimento de determinada argamassa, como parâmetros principais. Cabe lembrar que no âmbito deste trabalho considerou-se o saibro como aglomerante, por hipótese.

As tabelas 6.1.a e 6.1.b apresentam os resultados dos testes realizados com as argamassas no estado fresco e principais relações utilizadas neste trabalho para interpretar os resultados.

Tabela 6.1.a: Argamassas de cimento:saibro: Resultados dos testes.

Traço	1:1:4	1:2:6	1:1:5	1:2:7,5	1:1:6	1:2:9
Rel. água/cimento	1,25	1,86	1,32	2,25	1,75	2,65
Rel. aglom./agreg.	0,45	0,44	0,36	0,35	0,30	0,29
Rel. água/secos	0,21	0,21	0,19	0,22	0,22	0,22
M. Específica (g/cm ³)	2,03	2,00	2,05	2,02	1,98	1,95
Retenção de água(%)	91	92	90	90	89	89
Teor de ar(%)	1,79	2,67	2,44	0,95	3,11	3,81

Tabela 6.1.b: Argamassas de cimento:cal: Resultados dos testes.

Traço	1:1:4	1:2:6	1:1:5	1:2:7,5	1:1:5	1:2:9
Rel. água/cimento	1,20	1,74	1,36	2,07	1,55	2,45
Rel. aglom./agreg.	0,42	0,39	0,33	0,31	0,28	0,26
Rel. água/secos	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21
M. Específica (g/cm ³)	2,00	2,02	2,04	1,97	2,02	2,00
Retenção de água(%)	90	93	92	90	88	88
Teor de ar(%)	3,17	1,79	1,65	3,96	2,73	1,95

Observa-se nos resultados que os traços com teores de aglomerante mais elevado, apresentaram menor relação água/cimento na faixa de trabalhabilidade pré-definida de 240±10mm. De outra forma, nas argamassas de consumo de aglomerante mais baixo, as misturas apresentaram relações água/cimento mais elevadas. Isto se deve provavelmente à perda de coesão interna devida a insuficiência de aglomerante para envolver os grãos de agregado.

Comparando-se as argamassas de cimento:saibro em relação às argamassas de cimento:cal, constatou-se que as primeiras resultaram com relação água/cimento maior que as segundas

ao atingirem a faixa de trabalhabilidade pré-estabelecida, fenômeno aumentado quando a relação cimento:saibro e cimento:cal usada foi 1:2.(Figura 6.1.a)

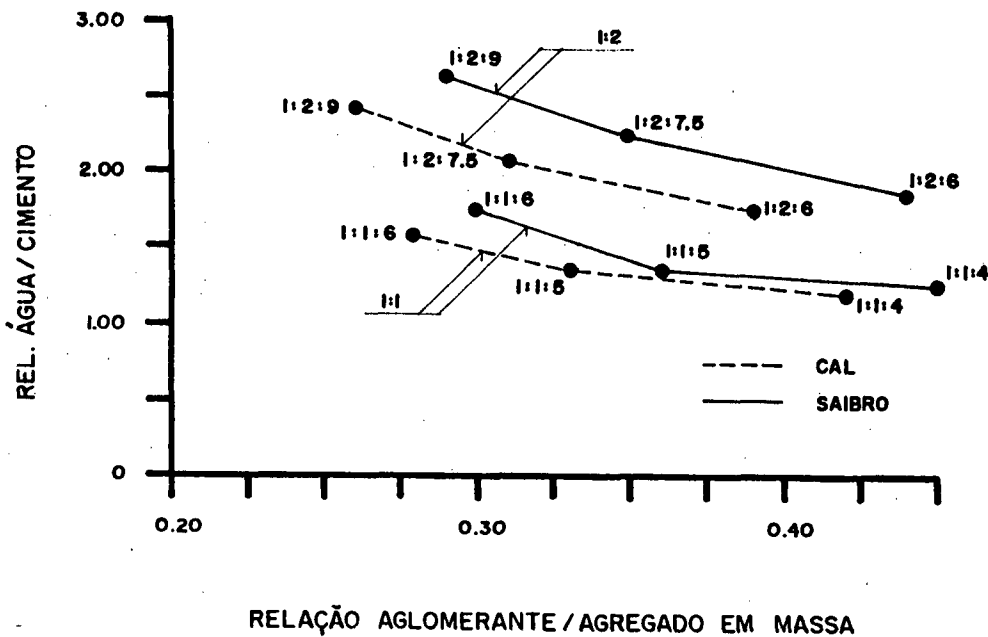


Figura 6.1.a: Variação da relação água/cimento em função da relação aglomerante/agregado e relação cimento: cal/saibro das argamassas.

Nas argamassas de cimento:cal a relação água/cimento é inversamente proporcional à relação aglomerante/agregado, ou seja, o consumo de água aumenta conforme diminui o teor de aglomerante (cimento + cal). Da mesma maneira, nas argamassas de cimento:saibro, a relação água/cimento também é inversamente proporcional à relação aglomerante/agregado. Como nestas argamassas o saibro foi considerado aglomerante para efeito do cálculo da relação aglomerante/agregado, a relação água/cimento deve ser maior.

Quanto ao parâmetro relação água/materiais secos em massa, que é a relação entre a quantidade de água e a quantidade total de materiais secos (aglomerante+agregado), manteve-se estável para todos os traços estudados. Como esta propriedade não foi pré-estabelecida, concluiu-se que esteja intimamente ligada à consistência, já que esta também manteve-se inalterada para todas as misturas. Assim o teor de água nas argamassas não é somente função do teor de agregado, mas da quantidade total de materiais secos - Lei de LYSE.

Segundo Petrucci (1980), a constância da quantidade de água total a ser empregada com determinados materiais, para obter uma determinada trabalhabilidade, independentemente do traço empregado, é chamada Lei de LYSE.

A relação água/cimento aumentou quando houve aumento da quantidade total de materiais secos, porque a quantidade de água necessária para conferir determinada trabalhabilidade, dada pela relação água/materiais secos foi sempre a mesma. Desta forma justifica-se o maior consumo de água nas argamassas de cimento:saibro, porque estas apresentaram maior quantidade de materiais secos na mistura.

Verificou-se que a retenção de água das argamassas, tanto para as de cimento:cal como para as de cimento:saibro, variou de acordo com a relação aglomerante/agregado, uma vez que esta definiu o consumo de aglomerantes da mistura. Como são os aglomerantes os principais responsáveis pela capacidade de retenção de água das argamassas, deduz-se que esta propriedade seja diretamente proporcional à relação aglomerante/agregado da mistura, até o limite de 0,40, como se observa na figura 6.1.b.

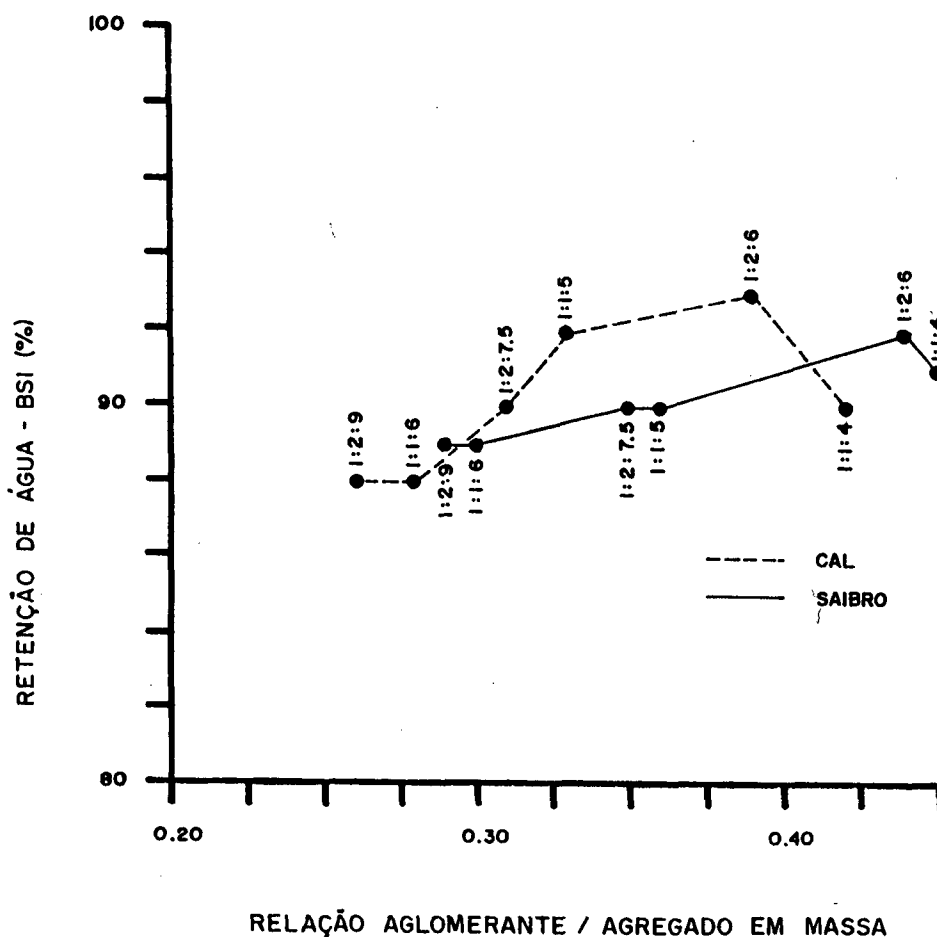


Figura 6.1.b: Variação da retenção de água em função da relação aglomerante/agregado das argamassas de cimento:cal e cimento:saibro.

Para as argamassas de cimento:cal, observou-se que o incremento do teor de cal em relação ao cimento causou maior retenção de água à argamassa. Ao contrário, as argamassas de saibro com relação cimento:saibro igual a 1:2, apresentaram queda na retenção de água em comparação com as misturas com relação 1:1. Provavelmente porque o saibro possui uma fração de granulometria grande e que se comporta reologicamente como agregado.

6.2. Análise dos resultados das propriedades do estado endurecido

Os resultados dos ensaios no estado endurecido podem ser vistos nas tabelas 6.2.a e 6.2.b. Os resultados dos testes de resistência à compressão e tração dos corpos-de-prova cilíndricos mostraram que estas características mecânicas dependem principalmente da relação água/cimento e do consumo de agregado em relação ao consumo de cimento. Quanto menor a relação água/cimento, maiores as resistências apresentadas, bem como também, quanto maior a relação aglomerante/agregado da argamassa, maiores foram suas resistências

Para o ensaio de tração na compressão transversal o comportamento dos corpos de prova cilíndricos de argamassa foi análogo ao verificado na resistência à compressão no que diz respeito a relação água/cimento e relação aglomerante/agregado. O mesmo ocorreu também em relação ao cálculo do módulo de deformação, que é proporcional à resistência à compressão.

Tabela 6.2.a: Argamassas de saibro: Resultados dos testes.

Traço	Resistência à compressão				Resistência		Módulo de de-	
	(MPa)				à tração (MPa)		formação (MPa)	
	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	28 dias	63 dias	28 dias	63 dias
1:1:4	5,02	6,53	8,69	8,95	1,75	2,32	395,45	389,13
1:2:6	1,70	2,19	3,02	2,86	0,48	0,58	139,80	145,18
1:1:5	3,27	4,51	5,98	5,80	1,12	0,91	341,71	460,32
1:2:7,5	1,30	1,75	2,09	2,06	0,34	0,30	132,48	121,89
1:1:6	2,36	2,70	3,64	3,84	0,62	0,49	216,02	270,42
1:2:9	0,85	1,02	1,51	1,33	0,21	0,15	73,66	72,67

Tabela 6.2.b: Argamassas de cal: Resultados dos testes.

Traço	Resistência à compressão (MPa)				Resistência à tração (MPa)		Módulo de de- formação (MPa)	
	7 dias	14 dias	28 dias	63 dias	28 dias	63 dias	28 dias	63 dias
1:1:4	7,72	9,74	11,64	14,50	1,66	2,24	746,15	1526,32
1:2:6	3,18	4,03	4,66	7,36	0,68	1,09	323,61	865,88
1:1:5	5,18	6,47	7,05	9,87	1,06	1,52	550,78	1061,29
1:2:7,5	3,46	4,52	5,23	6,93	0,91	0,87	353,38	629,55
1:1:6	1,49	1,95	2,30	3,68	0,43	0,36	166,67	426,87
1:2:9	1,40	2,06	2,46	4,14	0,40	0,43	160,78	432,64

No ensaio de tração na compressão transversal em corpos de prova cilíndricos, verificou-se o seguinte fenômeno: as argamassas mais fortes, ou sejam, aquelas com relação aglomerante/agregado mais elevada, apresentaram crescimento na resistência à tração entre as idades de 28 e 63 dias, caso das argamassas de traço 1:1:4, 1:2:6 e 1:1:5. Enquanto as mais fracas, com menor relação aglomerante/agregado apresentaram estabilização e até decréscimo de resistência após os 28 dias de idade, caso das argamassas de traço 1:2:7,5, 1:1:6 e 1:2:9.

Observa-se na figura 6.2.a que as argamassas com relação cimento:cal/saibro igual a 1:1 em volume, apresentaram menor relação água/cimento que as argamassas de relação 1:2, resultando com resistências maiores. Na comparação entre argamassas de cal e argamassas de saibro, as primeiras mostraram melhor desempenho, nas misturas com relação cimento:cal/saibro 1:1 e 1:2. No entanto, nas curvas das argamassas 1:2, como pode-se observar no gráfico, aparece uma diferença de desempenho mais acentuada, favorável às argamassas de cimento:cal.

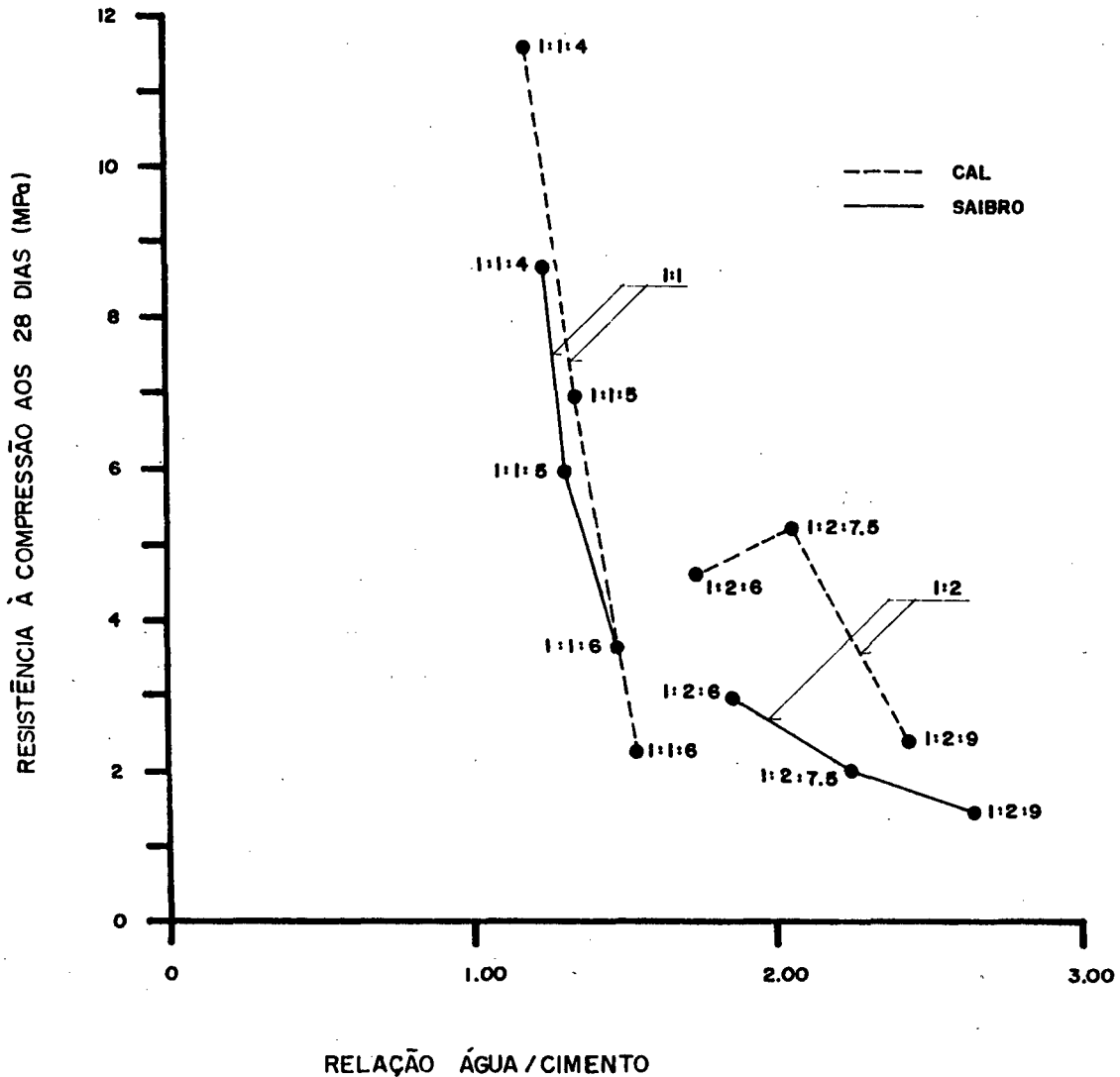


Figura 6.2.a: Variação da resistência à compressão em função da relação água/cimento.

Observa-se na figura 6.2.b que as misturas com relação aglomerante/agregado mais elevada apresentam resistência à compressão aos 28 dias mais elevadas. Da mesma forma, as argamassas de relação cimento:cal/saibro 1:1 em volume resultaram mais resistentes que as 1:2.

Verificou-se que as argamassas de cimento:saibro, mesmo as mais resistentes, apresentam capacidades de deformação maiores que as apresentadas pelas argamassas de cal. E enquanto o módulo de deformação das argamassas de cimento:cal continuou crescendo até a idade de 63 dias, chegando a dobrar de valor em relação aos 28 dias, nas argamassas de cimento:saibro se manteve estável.

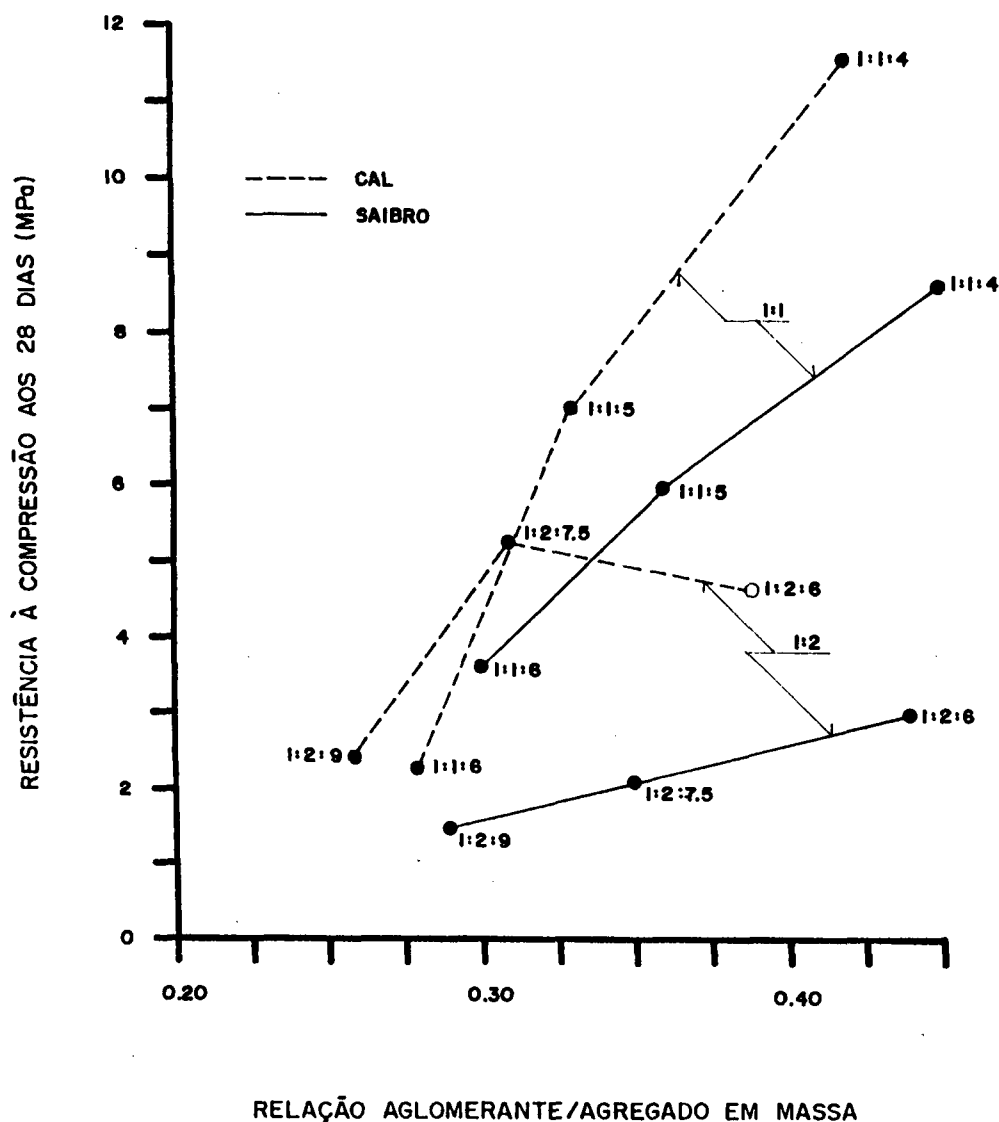


Figura 6.2.b: Variação da resistência à compressão em função da relação aglomerante/agregado.

Nas figuras 6.2.c e 6.2.d, observa-se que nas argamassas de cimento:saibro houve uma tendência a estabilização da resistência à compressão a partir dos 28 dias de idade, enquanto nas argamassas de cimento:cal verificou-se o contrário, ou seja, as resistências apresentam crescimento após os 28 dias. Quanto ao módulo de deformação, apresentou a mesma tendência.

A relação água/cimento e a relação aglomerante/agregado são determinantes quanto à resistência à esforços mecânicos em argamassas. Como nas argamassas de saibro a parcela de grãos maiores deste material se soma à areia na mistura, aumenta o teor de agregado em relação ao cimento presente, resultando uma argamassa com relação aglomerante/agregado mais baixa, justificando o desempenho inferior das argamassas de saibro.

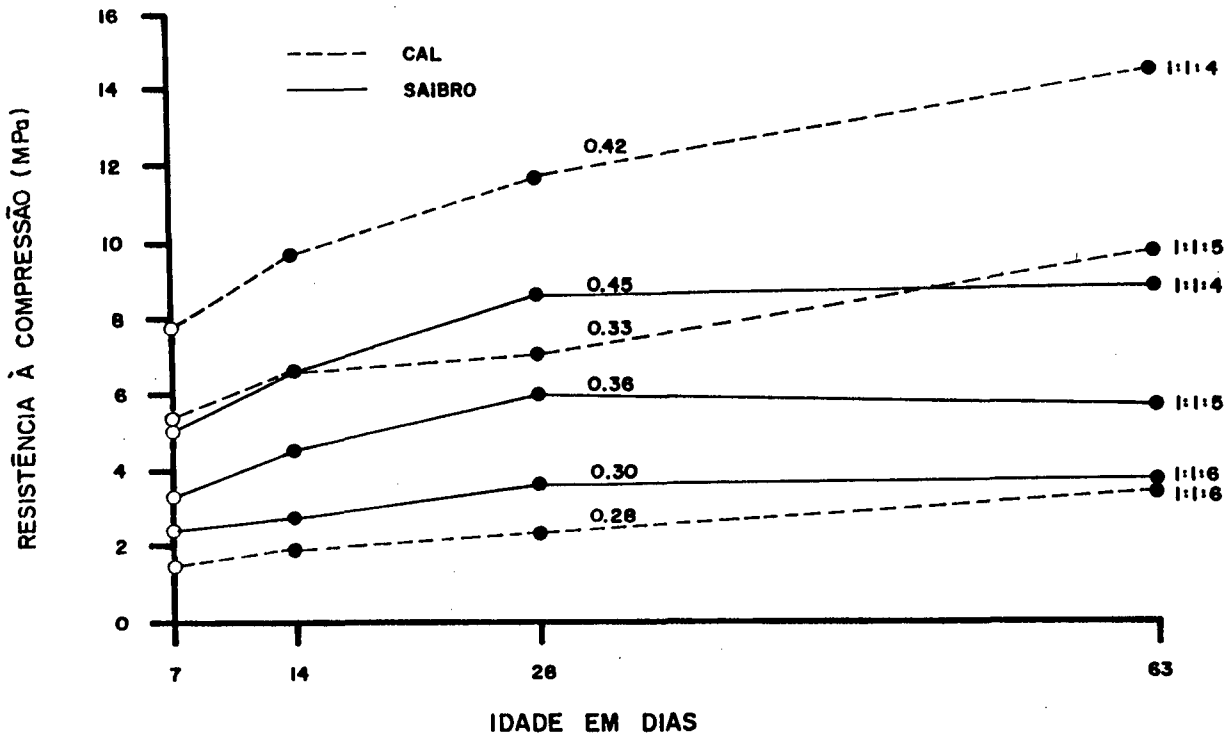


Figura 6.2.c: Variação da resistência à compressão das argamassas em função da idade.

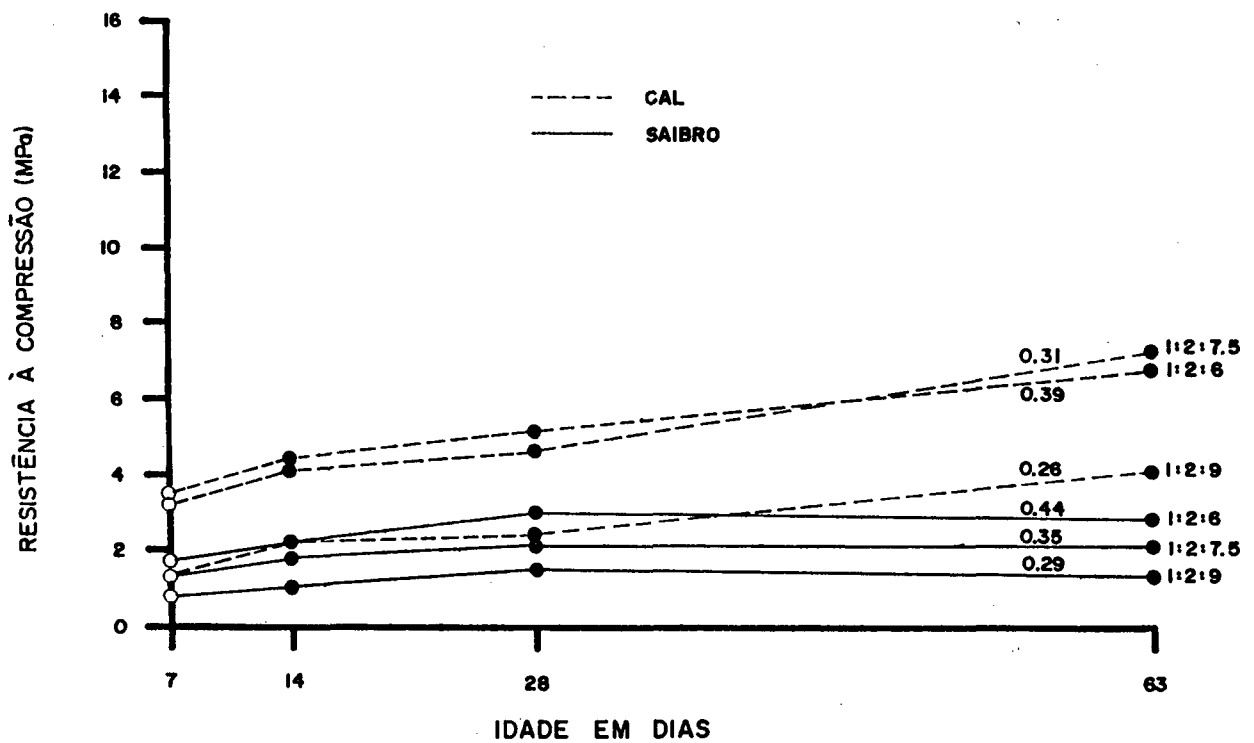


Figura 6.2.d: Variação da resistência à compressão das argamassas em função da idade.

Para o ensaio de resistência de aderência foram ensaiadas somente as argamassas de traço com relação cimento:cal/saibro igual a 1:1. Neste ensaio as argamassas de saibro apresentaram resultados semelhantes entre si, constatando-se então a pouca influência da relação água/cimento e relação aglomerante/agregado nesta propriedade destas argamassas.

Tabela 6.2.c: Resistência de aderência média das argamassas de cimento:saibro e cimento:cal, por traço.

Traço	1:1:4	1:1:5	1:1:6
Cimento:Saibro	0,20 MPa	0,19 MPa	0,19 MPa
Cimento:Cal	0,19 MPa	0,19 MPa	0,30 MPa

Nos ensaios com as argamassas de cal a mistura de traço 1:1:6 apresentou resistência média de aderência superior às outras. Analisando este resultado em relação às propriedades da argamassa fresca, constata-se que esta argamassa apresentou a menor retenção de água das três misturas e maior relação água/cimento. Conclui-se que, com menor capacidade de retenção de água, a nata formada pela mistura de água, cimento e cal, teve maior facilidade para penetrar nos poros e reentrâncias da superfície do tijolo, melhorando sua ancoragem e aumentando sua resistência de aderência.

No caso das argamassas de saibro, o mesmo não ocorre porque seus grãos, além de não terem poder de endurecer, são de granulometria maior, dificultando a penetração da nata de água, cimento e saibro nos poros e reentrâncias do tijolo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

A pesquisa de campo mostrou que o Brasil, que detém tanto prestígio na execução de empreendimentos de porte, como as barragens, está muito atrasado no desenvolvimento de suas argamassas. Nesta área, há poucas informações técnicas satisfatórias e confiáveis sobre propriedades, recomendações de uso, materiais adequados e aplicações, embora a argamassa seja um dos temas que mais despertam o interesse da comunidade técnico-científica e empresarial.

A falta de literatura e informações técnicas sobre as argamassas a nível nacional, tem dificultado o estabelecimento de parâmetros confiáveis no que diz respeito às recomendações de uso e conseqüentemente também o estabelecimento de normas técnicas sobre argamassas.

Vale lembrar que existem somente duas normas brasileiras sobre argamassas, que são a NBR-7200-Revestimento de paredes e tetos com argamassas-materiais, preparo, aplicação e manutenção (ABNT, 1982), e a NBR-9287-Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto-determinação da retenção de água (ABNT, 1986).

Apesar das evoluções ocorridas na indústria da construção, com a incorporação de novos materiais e sistemas construtivos, as argamassas permaneceram atreladas a conceitos empíricos, ficando o seu preparo e emprego a cargo de mestres-de-obra e pedreiros.

Neste século muitos materiais de construção disponíveis no mercado sofreram alterações em suas características, as cales e os cimentos principalmente, bem como surgiram novos componentes de alvenaria, como os blocos cerâmicos estruturais, os blocos de concreto, etc., criando novas situações para engenheiros e construtores.

Como principal resultante desta situação, em que não se dispõe de conhecimentos técnicos suficientes sobre as argamassas, têm-se a ocorrência, cada vez maior, de problemas patológicos nas edificações, originados do uso de argamassas de características inadequadas.

A revisão do estado-da-arte realizada neste trabalho vem contribuir para a formação do acervo de informações técnicas sobre as argamassas de cimento e saibro e cimento e cal, bem como, servir de base para futuras pesquisas. Além disso, este trabalho revelou a existência de lacunas técnicas que precisam ser preenchidas. Deste modo, muitas pesquisas precisam ainda ser realizadas neste campo, como as que sugerimos abaixo:

- estudo de aditivos para argamassas, tais como, impermeabilizantes, incorporadores de ar e retentores de água;
- estudo de novos aglomerantes mais apropriados para o emprego em argamassas, como o cimentos de alvenaria;

- estudo de normalização para o processo de produção e utilização de argamassas em alvenarias;
- estudo de normalização de ensaios de caracterização e controle de qualidade de argamassas;
- estudo de normalização para produção e utilização de argamassas pré-misturadas;
- estudo de normalização de agregados apropriados para emprego em argamassas;
- estudo de métodos de dosagem baseados na relação água/cimento e relação água/materiais secos;
- estudo de manifestações patológicas causadas pela presença de saibro nas argamassas.

A análise dos dados revelados no levantamento de campo, sobre as argamassas de assentamento empregadas em Florianópolis, mostrou deficiências muito grandes frente aos avanços já conseguidos em pesquisas realizadas no Brasil e no exterior.

Observa-se que a causa das deficiências é a falta de critério técnico, ou seja o empirismo puro com que é tratada a produção das argamassas de assentamento. Desta forma, exige-se o abandono da improvisação e do empirismo, em favor de procedimentos baseados no conhecimento técnico. A adoção destes novos procedimentos implica que os materiais constituintes da argamassa devam ser escolhidos por meio de uma especificação técnica e, o traço e o meio de dosagem da argamassa devem ser previamente estudados e determinados por um profissional qualificado.

Contudo, de nada adiantaria adotar estes procedimentos a nível de projeto, sem que a mão-de-obra que irá executá-lo esteja devidamente treinada. Como se observa, cada passo da produção da argamassa é de grande importância para se obter um produto final de qualidade. Portanto, cada operário deve conhecer bem a importância de sua tarefa para que possa cumpri-la satisfatoriamente. Por exemplo o operador da betoneira deve saber não somente ligar e desligar o equipamento, mas também qual a influência do tempo de mistura nas propriedades da argamassa, dentre outras.

A prática do controle de qualidade sistemático e periódico é muito importante, principalmente devido às incertezas quanto às propriedades dos materiais, e também às ocorrências no recebimento e armazenamento dos mesmos.

Dentre os materiais sólidos constituintes da argamassa, o cimento é o que apresenta um nível de padronização e qualidade mais elevados, por ser produto industrializado. Requer apenas a verificação do carregamento, se está de acordo com as normas técnicas. Os outros materiais, saibro e areia, são os que podem apresentar problemas de variabilidade da qualidade no recebimen-

to, por serem obtidos a partir de simples extração do solo. Para evitar que estes materiais se apresentem em obra inadequados para uso, algumas recomendações se fazem necessário:

- a) estabelecer critérios de aceitação e rejeição desses materiais, baseadas nas especificações do projeto específico;
- b) reduzir o número de fornecedores e exigir que o mesmo apresente um certificado de qualidade do material que fornece.

Cabe aos engenheiros, durante a fase de projeto e especificações, estabelecer uma dosagem racional dos materiais constituintes, através de traços específicos para cada finalidade, e adotar equipamentos de medição de volume adequados para este fim.

Com relação à contribuição da cal e do saibro às propriedades das argamassas de assentamento de cimento, têm-se a salientar os seguintes aspectos.

Os saibros muito embora sejam utilizados nesta e em outras regiões do Brasil, são materiais que possuem composição mineralógica muito variável, que influe sobre as propriedades da argamassa. Os resultados dos ensaios do estudo experimental deste trabalho, mostram que a intenção de substituir a cal pelo saibro, como plastificante, não tem respaldo técnico. Haja visto o desempenho superior em todas as propriedades determinadas, das argamassas preparadas com cal.

Concluiu-se que o saibro, sendo um material resultante de desagregação de rochas, possui uma fração de finos bastante elevada, mas não suficiente para determinar uma melhoria na plasticidade da argamassa. Pelo contrário, a sua fração de grãos maiores tende a atuar como inerte, se somando ao agregado miúdo, como pode ser comprovado pelo maior consumo de água das argamassas de cimento e saibro.

Disto resulta uma argamassa de menos trabalhabilidade, por apresentar uma fração de grãos de tamanho maior mais elevada e também mais fraca porque diminui a sua relação aglomerante/agregado, em relação a uma argamassa de cal com o mesmo traço em volume.

E por causa destas constatações, não se aconselha o emprego do saibro como componente de argamassas, mesmo a pretexto econômico. Recomenda-se uma análise de custo/benefício quanto ao uso deste material antes de sua aquisição.

Muito embora, a princípio as argamassas com saibro apresentem um custo de produção inferior, o estudo científico de traços de argamassas mistas de cimento e cal mais adequadas à sua finalidade, deve conduzir a composições mais pobres em cimento e cal. Isto porque, observou-se

na pesquisa de campo e nos resultados dos ensaios com as argamassas, que os traços usualmente empregados, apresentam uma proporção de aglomerante muito elevada, resultando argamassas de elevada resistência e módulo de deformação.

Tendo em vista que a composição granulométrica do agregado pode influenciar no consumo de cal necessário para dar a trabalhabilidade adequada, o estudo de agregados com composições granulométricas próprias para argamassas, pode também contribuir para se encontrar composições mais racionais e portanto mais econômicas para as argamassas mistas de cimento e cal.

Constatou-se que a dosagem dos componentes de uma argamassa deve partir da fixação das propriedades desejadas, para o estado fresco e o estado endurecido. Para o estado fresco a propriedade mais importante é a trabalhabilidade, dada por sua consistência, enquanto para o estado endurecido, adota-se no meio técnico a resistência à compressão como parâmetro. Deste modo, como a resistência à compressão da argamassa endurecida é função da relação água/cimento, e a trabalhabilidade é função da relação água/materiais secos, propõe-se a adoção desses dois coeficientes como parâmetros para dosagem de argamassas.

Assim, pode-se, para determinados materiais usuais em uma cidade ou região, fazer estudos prévios que forneçam as relações água/materiais secos a utilizar para obter determinada trabalhabilidade, e a partir daí fixar uma relação água/cimento em função da resistência à compressão desejada.

BIBLIOGRAFIA

AGOPYAN, V. **A cal na engenharia civil.** In: V Reunião Aberta da Indústria da Cal, 1985, São Paulo. Boletim n. 14. São Paulo : ABPC, 1985. 174 p. p. 27-36.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento portland pozolânico.** NBR 5736. Rio de Janeiro : ABNT, 1991. 5 p.

_____. **Cal virgem para construção.** NBR 6453.
Rio de Janeiro : ABNT, 1988. 5 p.

_____. **Determinação do inchamento de agregados miúdos para concreto.** NBR 6467. Rio de Janeiro : ABNT, 1985. 2 p.

_____. **Cal hidratada para argamassas.** NBR 7175.
Rio de Janeiro : ABNT, 1992. 3 p.

_____. **Revestimento de paredes e tetos com argamassas-materiais, preparo, aplicação e manutenção.** NBR 7200. Rio de Janeiro : ABNT, 1982. 18 p.

_____. **Agregado para concreto.** NBR 7211. Rio de Janeiro : ABNT, 1983. 9 p.

_____. **Ensaio de cimento portland.** NBR 7215.
Rio de Janeiro : ABNT, 1982. 13 p.

_____. **Determinação da composição granulométrica dos agregados.** NBR 7217. Rio de Janeiro : ABNT, 1982. 1 p.

_____. **Argamassas e concretos-Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** NBR 7222.
Rio de Janeiro : ABNT, 1983. 3 p.

_____. **Agregado em estado solto-Determinação da massa unitária.** NBR 7251. Rio de Janeiro : ABNT, 1982. 3 p.

_____. **Argamassa de assentamento para alvenaria de blocos de concreto-determinação da retenção de água.** NBR 9287. Rio de Janeiro : ABNT, 1986. 3 p.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Specification for aggregate for masonry mortar. C 144.** In: Annual Book of ASTM Standards. 1987. Easton : ASTM, 1987 v. 04.05.
- ANDERSON, C. **Tensile board tests with concrete blocks.** International Journal of Masonry Construction, London, v. 1, n. 4, p. 134-148. 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria.** São Paulo : ABCI/Projeto, 1990. 280 p. il.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 4551 Methods of testing mortars, screeds and plasters.** London : BSI, 1980, 31 p.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **Strength of Brickwork and Blockwork Walls: Design for Vertical Load.** London : HMSO, 1981. Digest 246.
- CARNEIRO, A.M.P. **Estudo da produção de revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia pelas empresas de construção civil de Porto Alegre.** Dissertação de mestrado. UFRGS. Porto Alegre, 1993.
- CARICCHIO, L.M. **Construção Civil.** Rio de Janeiro : Olímpia, 1957. v.3. p.24.
- CHOISY, A. **História de la Arquitetura-Primeira Parte.** Buenos Aires : Victor Lem, 1963. 2 v.
- CINCOTTO, M.A.; MARQUES, J.C. e HELENE, P.R.L. **Propriedades das argamassas de cimento:cal:areia.** In: Seminário sobre argamassas. São Paulo, julho-1985. São Paulo : IBC, 1985. 20 p.
- COMISSÃO RILEM-CIB-W3. **A situação das argamassas em alguns países do mundo** (trad. de Guimarães, J.E.P.). Nota Técnica 66. São Paulo : ABPC. 1977. 27 p.
- CURRIE, D. & SINHA, B. **Survey of Scottish sands and their characteristics which affect mortar strength.** Chemistry and Industry, 19 Sept. 1981, London. p. 639-645.
- DAVISON, J.I. **Masonry Mortar.** Ottawa, National Research Council of Canada, 1974. Canadian Building Digest. p. 163.

- EPUSP. **Pesquisa: Argamassas de assentamento e revestimento**. Relatório final. São Paulo : EPUSP-USP. 1987. 87 p.
- FIORITO, A.J.S.J. **Rendimento das argamassas**. A Construção São Paulo, São Paulo : Pini, n. 1922, p. 19-22, dez. 1984.
- FRANCO, L.S. **A capacidade resistente de paredes de alvenaria**. In: Anais EPUSP, Série A. Pt. 5, São Paulo, v.1, p. 77-94, 1988.
- GALEMBECK, F. **Adesão de superfícies**. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, SBPC, v.4, n.19, p. 26-31, jul/ago. 1985.
- GENOVESE, A. **História de la Arquitetura-Compendio**. Buenos Aires : Hobby, 1946.
- GUIMARÃES, J.E.P. & CINCOTTO, M.A. **As aplicações da cal nas construções civis-Patologia das argamassas**. São Paulo : ABPC, 1985. 85 p. il.
- INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES-RILEM. **Rilem recommendations MR1-21-Testing methods of mortars and renderings**. France : RILEM, 1982. 24 p.
- IOSCHIMOTO, E., et alli. **Agregados**. Apostila. São Paulo : EPUSP. 65 p.
- IOSHIMOTO, E. et alli. **Argamassas**. Apostila. São Paulo : EPUSP, 1988. 35 p.
- LAWRENCE, S.J. E CAO, H.T. **Microestrutura of the interface between brick and mortar**. In: Procc. of the 8th International Brick/Block Masonry Conference, Ireland, 1988. v.1.
- MASCARELLO, S.N.P.R. **Arquitetura Brasileira-Elementos, Materiais e Técnicas Construtivas**. São Leopoldo : UNISINOS, 1982.
- PATTON, W.J. **Materiais de Construção**. São Paulo : EDUSP. 1978. 366 p. il.
- PETRUCCI, E. **Materiais de Construção**. Porto Alegre : Editora Globo. 1979. 433 p. il.
- PETRUCCI, E. **Concreto de cimento portland**. Porto Alegre: Editora Globo, 1980. 307p. il.

REVISTA REGIONAL-Resumida-Região de Florianópolis. Regional Sul Orçamentos e Custos S/C Ltda. Porto Alegre, set. 1993.

RIBAS SILVA, M. **Materiais de Construção**. São Paulo : Pini, 1985. 266 p. il.

ROMAN, H.R. **Argamassas de assentamento para alvenarias**. In: III Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. 1991. Anais...Fpolis : UFSC, 1991. 138 p. p. 111-116.

SABBATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. Dissertação de mestrado. USP. São Paulo, 1984.

_____. **Agregados miúdos para argamassas de assentamento**. In: Anais EPUSP, Série A. Pt 5, São Paulo, v.1, p. 119-128, 1988.

_____. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico 02/86. São Paulo : EPUSP. 1986. 26p. il.

_____. **O uso da cal em argamassas de assentamento**. In: V Reunião Aberta da Indústria da Cal, São Paulo, 1985, Boletim n. 14. São Paulo : ABPC, 1985. 174 p. p. 37-46.

SCHUBERT, P. **The influence of mortar on the strength of masonry**. In: Procc. of the 8th International Brick/Block Masonry Conference, Ireland, 1988. v.1.

SELMO, S.M. de S. **Agregados miúdos para argamassas de revestimento**. In: Anais EPUSP, Série A. Pt. 5, São Paulo, 1988. v.1, p. 129-148.

_____. **Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. Dissertação de mestrado. EPUSP. São Paulo, 1989.

SOBRAL, H.S. **Reologia e trabalhabilidade dos concretos**. São Paulo : ABCP. 1983, 93p. il.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS. **Estudo Experimental de Argamassas Empregando Saibros da Região Metropolitana de Goiânia-GO-Relatório Técnico**. Goiânia : UFG, 1993. 31 p.

VASCONCELLOS, S. de. **Arquitetura no Brasil-Sistemas Construtivos**. Escola de Arquitetura da UFMG. Belo Horizonte : UFMG, 1958.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO UTILIZADO NAS VISITAS ÀS OBRAS

O questionário utilizado como base nas entrevistas foi dividido em quatro partes, formadas por perguntas referentes aos dados de identificação da obra, materiais empregados, composições e traços, e produção das argamassas.

a. Dados da obra

Nome da obra (ou tipo);
Número de pavimentos;
Área construída;
Endereço;
Construtora;
Responsável técnico; e
Encarregado ou mestre-de-obra.

b. Materiais

Cimento - marca, tipo e procedência;
Cal - marca, tipo e procedência;
Saibro - procedência;
Agregado - classificação e procedência.

c. Composições

Traços e especificação do uso.

d. Produção

Preparação-manual ou mecânica?
Medição de quantidades-do aglomerante, do agregado, da água;
Avaliação da consistência;
Molhação dos tijolos-sim ou não?
Contrôle de qualidade-sim ou não?

ANEXO B

**COLETÂNEA DAS RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO
UTILIZADO NAS VISITAS ÀS OBRAS**

Obra 1: Edifício residencial, situado à Rua Rui Barbosa, com 11 pavimentos e área de 3.500 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:8 (cimento, saibro, areia) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: o cimento por saco, outros materiais em baldes e pás;
- Avaliação da consistência: visualmente, pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 2: Conjunto de edifícios residenciais, situados na Rodovia SC-404, com 4 pavimentos, e área total aproximada de 9.000 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:3 (cimento, saibro, areia) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: o cimento em sacos, outros materiais em latas e pás;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 3: Conjunto de edifícios residenciais, situados à Rua Rui Barbosa, com 12 pavimentos e área total aproximada de 12.000 m².

- Materiais: cimento Itambé CP-32, saibro, areia grossa;
- Composições: traço 1:3:9 (cimento, saibro, areia) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: o cimento em sacos, outros materiais em latas e pás;
- Avaliação da consistência: visualmente, pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 4: Residência unifamiliar, situada no Loteamento Jardim Anchieta, com 2 pavimentos e 345 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:1:10 (cimento, saibro, areia) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em baldes de 10 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo servente que opera a betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 5: Residência unifamiliar, situada no Bairro Pantanal, com 2 pavimentos e 75 m² de área.

- Materiais: cimento Pozosul CP-IV-32, areia média e fina;
- Composições: traço 1:4 (cimento, areia média e fina) em volume para assentamento de tijolo à vista estrutural;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em baldes de 10 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: sim, é executada antes do assentamento;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 6: Residência unifamiliar, situada a Rua Leo de Barros, com 2 pavimentos e 380 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia grossa;
- Composições: traço 1:4:6 (cimento, saibro, areia grossa) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em baldes de 10 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizada.

Obra 7: Residência unifamiliar, situada a Rua Delfino Pombo, com 1 pavimento e 560 m² de área.

- Materiais: cimento Itambé CP-32, cal virgem Santa Clara, areia grossa;
- Composições: traço 1:1:3 (cimento, cal virgem, areia grossa) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Medição de quantidades: cimento e cal são dosificados em baldes de 10 litros e a areia em padiola (33 x 33 x 34 cm).
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 8: Edifício residencial, situado na Avenida Rubens de Arruda Ramos, com 12 pavimentos e área de 4.900 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:8 (cimento, saibro e areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiolas de 33 x 33 x 34 cm.
- Avaliação da consistência: visualmente pelos pedreiros ou mestre;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 9: Edifício residencial, situado na Avenida Trompowski, com 12 pavimentos e área aproximada de 3.000 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, cal hidratada Chimelli, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:4 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento de tijolos; traço 1:2:6 (cimento, cal hidratada, areia média) para assentamento de blocos tipo Siporex;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados com carrinhos de mão;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 10: Residência unifamiliar, situada na Rua Otavio Lebarbenchon, com 2 pavimentos e 300 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia grossa;
- Composições: traço 1:1:3 (cimento, saibro, areia grossa) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros.
- Avaliação da consistência: visualmente pelo servente;
- Molhação de tijolos: não é realizada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 11: Residência unifamiliar, situada no Loteamento Stodieck, com 3 pavimentos e 400 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, cal virgem Santa Clara, areia média;
- Composições: 1:3 (cimento, argamassa de cal) em volume. Argamassa de cal 1:6 (cal virgem, areia média);
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em pasadas.
- Avaliação da consistência: visualmente pelo pedreiro;
- Molhação de tijolos: não é executada.
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 12: Residência unifamiliar, situada na Rua Francisco Goulart, com 2 pavimentos e 340 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, cal hidratada Minersol, areia média;
- Composições: traço 1:4:6 (cimento, cal hidratada, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: cimento e cal dosificados em sacos, areia em padiola de 33 x 33 x 34 cm.
- Avaliação da consistência: visualmente pelo mestre;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade de materiais: não é realizado.

Obra 13: Residência unifamiliar, situada na Rua Joe Collaço, com 1 pavimento e 145 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:3:7 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros;
- Avaliação da consistência: manuseio do servente;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 14: Edifício residencial e comercial, situado na Avenida Presidente Kennedy, com 6 pavimentos e área de 3.970 m².

- Materiais: cimento Serrana CP-II-E-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: o cimento é dosificado em saco, e os outros materiais em carradas de um carrinho de mão;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 15: Edifício residencial, situado na Rua Dep. Antonio Edu Vieira, com 4 pavimentos e 2.300 m².

- Materiais: cimento Serrana CP-II-E-32, saibro, areia grossa;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia grossa) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: sim, antes do assentamento;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 16: Edifício residencial, situado no bairro Kobrasol, com 12 pavimentos e 9.000 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em pasadas;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 17: Edifício residencial, situado na Avenida Trompowski, com 12 pavimentos e área aproximada de 3.000 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32 e Serrana CP-II-E-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: o cimento é dosificado em sacos, e os outros materiais em carradas de um carrinho de mão;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 18: Edifício residencial, situado na Rua Almirante Lamego, com 12 pavimentos e 5.860 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia grossa;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia grossa) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em pasadas;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: sim, realizam ensaios de qualidade da areia.

Obra 19: Residência unifamiliar, situada na Rua Joe Collaço, com 2 pavimentos e área de 230 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:1:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiola de 30 x 30 x 40 cm;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo pedreiro;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 20: Residência unifamiliar, situada na Rua Maria P. Coelho, com 2 pavimentos e 250 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:6 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 21: Edifício residencial, situado na Rua Vereador Mário Pires, com 8 pavimentos e área de 7.500 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiolas de 33 x 33 x 34 cm.
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 22: Edifício residencial, situado na Rua Rui Barbosa, com 10 pavimentos e área aproximada de 2.500 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiola de 33 x 33 x 34 cm;
- Avaliação da consistência: visualmente pelos pedreiros;
- Molhação de tijolos: não é executado;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 23: Edifício residencial, situado na Rua Almirante Lamego, com 10 pavimentos e área de 3.200 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: sim, realiza ensaios de qualidade da areia.

Obra 24: Conjunto de edificios residenciais, situado na Rua Idelfonso Juvenal, com 4 pavimentos e área de 3.800 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiolas de 33 x 33 x 34 cm;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 25: Edifício residencial, situado na Rua Antonio Cherem, com 6 pavimentos e área de 3.000 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em latas de tinta de 18 litros;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 26: Residência unifamiliar, situada na Rua Geral do Córrego Grande, com 2 pavimentos e área de 440 m².

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibro, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em baldes de 10 litros.
- Avaliação da consistência: visualmente pelo mestre de obra;
- Molhação de tijolos: não é executada;
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

Obra 27: Conjunto de edifícios residenciais, situados próximos a Avenida Ivo Silveira, com 4 pavimentos e 9.000 m² de área.

- Materiais: cimento Votoran CPZ-32, saibra, areia média;
- Composições: traço 1:2:5 (cimento, saibro, areia média) em volume, para argamassa de assentamento geral;
- Preparação: mecânica em betoneira;
- Medição de quantidades: todos os materiais são dosificados em padiolas de 33 x 33 x 34 cm;
- Avaliação da consistência: visualmente pelo operador da betoneira;
- Molhação de tijolos: não é realizada.
- Contrôle de qualidade dos materiais: não é realizado.

ANEXO C

**METODOLOGIA DOS ENSAIOS DE ARGAMASSAS NÃO NORMALIZADOS A NÍVEL
NACIONAL E EMPREGADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL**

C.1. Retenção de água BSI de argamassa fresca - BS 4551 (BSI, 1980)

C.1.1. Aparelhagem

- Dois moldes cilíndricos metálicos, com as dimensões internas de 100mm de diâmetro e 25mm de altura, providos de fundo e estanques;
- Faca paleta metálica;
- Papel filtro com 110mm de diâmetro e com gramatura de aproximadamente, 200 g/m²;
- Gaze em algodão cortada em quadrados de 110mm de lado;
- Duas unidades cilíndricas de massa com, aproximadamente, 2kg e diâmetro de 98mm, para exercer pressão sobre a argamassa durante o ensaio;
- Balança com resolução de 0,05g;
- Cronômetro.

C.1.2. Execução do ensaio

- Determinar a massa (Mm) de cada um dos moldes cilíndricos limpos e secos, em g;
- Preencher cada molde com a argamassa em ensaio, em cerca de dez porções, deixando em excesso;
- Nivelar a argamassa com a faca paleta, ligeiramente inclinada e com movimento de serra, rasando a superfície, de cada molde em, no máximo, duas direções;
- Determinar as massas dos moldes rasados com a argamassa (Mma);
- Determinar as massas de dois conjuntos de oito papéis filtro com gaze (Mfs);
- Colocar, sobre cada molde, um pedaço de gaze e, após, um conjunto de papéis filtro (8 unidades). Imediatamente, assentar uma massa de 2kg sobre cada conjunto de papéis filtro e aguardar 2 minutos;
- Após este período retirar as massas de 2kg, remover o conjunto de papéis filtro de cada molde e determinar a sua massa (Mfu).

C.1.3. Resultado

-A "retenção de água BSI" da argamassa em estudo é expressa pela média das duas determinações, sendo cada uma calculada pela expressão (C.1.3-a):

$$Ra = \left(1 - \frac{Mfu - Mfs}{(Mma - Mm) * a/s} \right) * 100 \quad (C.1.3-a)$$

Sendo:

Ra = retenção de água de uma dada porção da argamassa fresca em estudo, em %;

Mfs = massa seca inicial do conjunto de oito papéis filtro utilizado no ensaio da referida porção, em g;

Mfu = massa final do conjunto de oito papéis filtro, após os 2 min. de contato com a argamassa, em g;

Mma = massa do molde cilíndrico preenchido e rasado com a referida porção de argamassa antes do contato com os papéis filtro, em g;

Mm = massa do molde cilíndrico limpo e seco, em g;

a/s = relação água/materiais secos da argamassa estudada.

C.2. Massa específica e teor de ar de argamassa no estado fresco - BS 4551 (BSI,1980)

C.2.1. Aparelhagem

- Molde cilíndrico metálico, com 75mm de diâmetro interno e 0,5 dm³ de capacidade (o volume do molde deve ser previamente obtido por 3 determinações com água, juntamente com a sua massa seca);

- Soquete cilíndrico em material plástico rígido, com 37,5±0,5mm de diâmetro e massa de 250 g;

- Espátula metálica;

- Balança com resolução de 0,5 g.

C.2.2. Execução do ensaio

- Preencher o molde cilíndrico com a argamassa em estudo, em quatro camadas aproximadamente iguais, socando cada camada com 20 golpes leves, uniformemente distribuídos;

- Remover o excesso de argamassa, através da faca paleta com a lâmina quase na vertical e por dois movimentos em direções ortogonais;

- Limpar o molde externamente, e determinar a sua massa;

- Repetir o procedimento descrito para outra porção da argamassa em estudo, com o molde previamente, limpo e seco.

C.2.3. Resultados

- A massa específica da argamassa fresca em estudo é expressa pela média das duas determinações, calculadas através da fórmula (C.2.3-a):

$$\gamma_{arg} = \frac{M_{ma} - M_m}{V_m} \quad (C.2.3-a)$$

Sendo:

γ_{arg} = massa específica da argamassa fresca, em kg/dm³;

M_{ma} = massa do molde preenchido e rasado com argamassa, em kg;

M_m = massa média do molde limpo e seco, em kg;

V_m = volume médio do molde, em dm^3 , obtido nas três determinações com água;

-O teor de ar existente na argamassa em estudo, equivalente à percentagem de ar presente na argamassa, em relação ao seu volume aparente, é expresso pela média das duas determinações, calculadas pela fórmula (C.2.3-b):

$$Ar = 1 - \frac{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{p}{\gamma_p} + \frac{q}{\gamma_q} + a/c}{1 + p + q + a/c} \times \gamma_{arg} \times 100 \quad (C.2.3-b)$$

Sendo:

Ar = teor de ar da argamassa, em %;

p = relação cal/cimento do traço da argamassa, em massa;

q = relação agregado miúdo/cimento do traço da argamassa, em massa e com agregado seco;

a/c = relação água/cimento da argamassa, em massa;

γ_c = massa específica do cimento, em kg/dm^3 ;

γ_p = massa específica da cal ou do saibro, em kg/dm^3 ;

γ_q = massa específica do agregado miúdo, em kg/dm^3 ;

γ_{arg} = massa específica da argamassa, em kg/dm^3 .

C.3. Resistência de aderência (Anderson, 1981)

C.3.1. Aparelhagem

-Dispositivo metálico composto por uma parte fixa e uma móvel. A parte fixa inferior dispõe de parafusos para fixação do corpo de prova. A parte móvel superior dispõe de parafusos de fixação do corpo de prova e haste para receber o carregamento, conforme figura C.3.1.

-Balde ou container para receber o carregamento;

-Areia para servir como carregamento;

-Trena;

-Balança com resolução 50g.

C.3.2. Execução do ensaio

-Preparar o corpo de prova, composto por dois tijolos de mesmo tipo, previamente molhados, rejuntados por uma camada de $1\text{cm} \pm 2\text{mm}$ da argamassa a ser ensaiada;

-Aos 28 dias de idade fixar o corpo de prova na parte inferior do dispositivo;

-Fixar a parte superior do dispositivo no tijolo de cima do corpo de prova;

-Colocar o balde ou container na haste e determinar a distância (a) do seu eixo ao eixo dos tijolos; e determinar a distância do centro de gravidade (b) ao eixo do corpo de prova;

-Encher lentamente o balde ou container com a areia até a fissura do corpo de prova;

-Pesar o balde com a quantidade de areia que causou a fissura.

C.3.3. Resultados

-Calcular a resistência de aderência da junta de arga-massa, expressa pela média de 10 determinações, através da seguinte fórmula (C.3.3-a):

$$f_t = \frac{M}{Z} - \frac{W_t}{A} \quad (\text{C.3.3-a})$$

Sendo:

f_t = resistência de aderência;

M = momento causado pelo peso do carregamento;

Z = módulo da secção;

W_t = peso do carregamento mais a parte superior do dispositivo;

A = área transversal da junta.

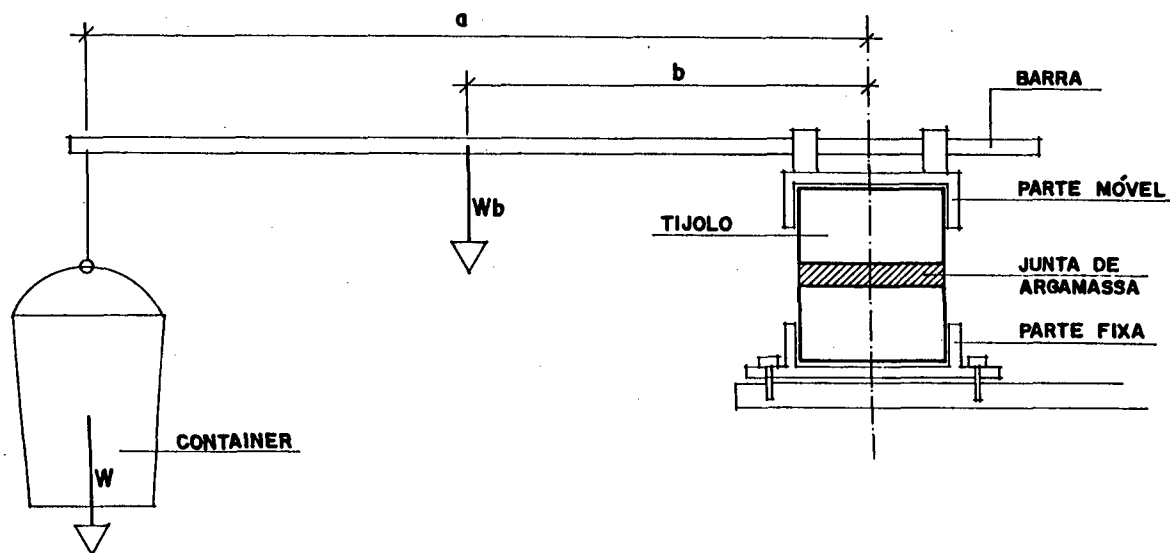


Figura C.3.1: Esquema do dispositivo usado para o ensaio de resistência de aderência.

ANEXO D

**RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS
EMPREGADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL**

Tabela D.1: Caracterização do cimento utilizado no preparo das argamassas.

Norma NBR	Método de ensaio	Amostra utilizada	Exigência NBR 5732
7215	Resistência 03 dias	18,5 MPa	≥ 10 MPa
	à 07 dias	24,1 MPa	≥ 20 MPa
	Compressão 28 dias	33,8 MPa	≥ 32 MPa
7215	Finura	7,16 %	≤ 12 %
6474	Massa Específica	3,10 g/cm ³	----
7251	Massa Unitária no estado solto	1,15 g/cm ³	----

Tabela D.2: Caracterização da cal utilizada no preparo das argamassas.

Norma NBR	Método de ensaio	Amostra utilizada	Exigências NBR 7175
7251	Massa Unitária	0,79 g/cm ³	----
7215	Finura Peneira 0,600	0,8 %	$\leq 0,5$ %
	Peneira 0,075	22,5 %	≤ 15 %
6474	Massa Específica	2,45 g/cm ³	----
9205	Estabilidade	Sim	Ausência de defeitos
9290	Retenção de água	74 %	≥ 80 %
9206	Plasticidade	145	≥ 110
9207	Capacidade de Incorporação de areia	2,9	$\geq 2,5$

Tabela D.3: Caracterização do agregado miúdo utilizado no preparo das argamassas.

Norma NBR	Método de ensaio	Amostra utilizada
7217	Composição	4,8
	Granulométrica	2,4
	Porcentagens	1,2
	Acumuladas	0,6
	(em massa), nas peneiras ABNT	0,3 0,15
7217	Diâmetro Máximo	2,4 mm
7217	Módulo de Finura	2,77
7251	Massa Unitária	1,44 g/cm ³
9776	Massa Específica	2,60 g/cm ³
6467	Inchamento	
	Umidade Crítica	3,3 %
	Coefficiente Médio	1,23
7219	Teor de Materiais Pulverulentos	3,5%

Tabela D.4: Caracterização do saibro utilizado no preparo das argamassas.

Característica	Amostra
Granulometria - argila	18 %
silte	27 %
areia fina	28 %
areia média	21 %
areia grossa	06 %
Limite de Liquidez	51,80 %
Limite de plasticidade	não plástico
Massa Unitária	0,96 kg/dm ³
Massa Específica	2,58 Kg/dm ³

Tabela D.5: Caracterização do tijolo usado no ensaio de resistência de aderência.

Característica	Amostra
Dimensões médias	120 x 55 x 250 mm
Massa seca média	2.693 g
Resistência à compressão	19,46 MPa
Densidade aparente	1,63 g/dm ³
Densidade real	1,68 g/dm ³
Absorção	22,19 %
Taxa de sucção inicial	1,29 kg/m ² *min.