

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

RELATÓRIO PARCIAL INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mércia M. S. B. de Barros
Pesquisadora: Fernanda Belizário Silva

São Paulo, novembro de 2006.

SUMÁRIO

I	PARTE I - RESUMO DO PLANO	2
1.	Motivação	2
2.	Objetivo	2
3.	Plano de trabalho	2
4.	Cronograma.....	4
II	PARTE II - ATIVIDADES DO PRIMEIRO PERÍODO.....	7
1.	Caracterização das argamassas empregadas na construção de edifícios ...	7
1.1.	A argamassa	7
1.2.	Classificação das argamassas	8
1.3.	Principais propriedades das argamassas	9
1.4.	Módulo de deformação – conceituação e importância	22
1.5.	Fatores que exercem influência sobre o módulo de deformação	23
1.6.	Tipos de módulo de deformação	25
1.7.	Métodos de determinação do módulo de deformação.....	28
2.	Planejamento do programa experimental	40
2.1.	Obtenção dos materiais.....	40
2.2.	Definição da composição e dosagem das argamassas.....	41
2.3.	Métodos de ensaio	42
2.4.	Resultados obtidos da caracterização dos materiais.....	47
2.5.	Processo de moldagem dos corpos de prova.....	50
2.6.	Ensaio programados.....	57
3.	Dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da primeira etapa do trabalho	58
4.	Novo cronograma para o trabalho	58
III	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
IV	OUTRAS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	64
	ANEXO A	66

I PARTE I - RESUMO DO PLANO

1. Motivação

A capacidade de deformação de uma determinada argamassa é um dado essencial para avaliar sua aplicabilidade, pois expressa a capacidade do material de se deformar sem que ocorra ruptura na forma de fissuras visíveis, que possam prejudicar seu desempenho. Esta propriedade é expressa pelo módulo de deformação, que é a relação entre a tensão atuante em um corpo e a deformação produzida por essa tensão. Há diferentes métodos de ensaio para a determinação dessa propriedade, os quais fornecem resultados distintos, o que dificulta tanto a caracterização de argamassas como comparações entre estudos científicos diversos.

Buscando contribuir para que possa existir um consenso no meio técnico e científico quanto à determinação desta propriedade é que se propôs a realização da presente pesquisa cujo escopo envolve a comparação de diferentes métodos de avaliação do módulo de elasticidade.

2. Objetivo

O objetivo desta pesquisa é avaliar os principais métodos de ensaio propostos para a determinação do módulo de deformação de argamassas, comparando os seus resultados e relacionando-os entre si, analisando a confiabilidade de cada um e a repetibilidade de seus resultados, bem como a facilidade ou dificuldade de realização do ensaio, de modo que se identifique aquele que melhor se adequa à avaliação desta propriedade.

3. Plano de trabalho

O projeto será iniciado com uma pesquisa bibliográfica do assunto, que será realizada tanto em bibliotecas como por meio de pesquisas em bases de dados disponíveis na internet e em CD-ROM. A partir deste levantamento, serão definidas, mais precisamente, as metodologias de ensaio que deverão ser avaliadas e o número de ensaios necessário para cada método. Estão previstas, inicialmente, duas dosagens de argamassas, de modo a se avaliar a influência desta variável no resultado dos ensaios.

Um dos pontos já definidos é que as argamassas serão feitas em laboratório. Para isto, serão utilizadas as instalações dos laboratórios do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica (PCC), que dispõe de toda infra-estrutura necessária, tanto para a produção de argamassas como para realização de todos os ensaios previstos.

A fim de se obter a caracterização necessária dos materiais envolvidos na pesquisa, serão realizados os ensaios listados na Tabela I-1:

Tabela I-1 - Ensaios de caracterização no estado anidro.

Material	Ensaio	Norma ou procedimento
Cimento	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Massa unitária	NBR 7251 (ABNT; 1982)
Cal	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Massa unitária	NBR 7251 (ABNT; 1982)
	Resíduo insolúvel	NM - 15, 2004
Areia	Granulometria	NBR 7217 (ABNT, 1987)
	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio
	Massa unitária	NBR 7251 (ABNT; 1982)

Será também realizada a caracterização da argamassa no ensaio fresco, de acordo com os seguintes ensaios:

- Ensaio de consistência pelo “*dropping ball*”, segundo a BS 4551 (BSI, 1980);

- Densidade de massa aparente, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005). Para a caracterização no estado endurecido, será realizado o ensaio de densidade de massa aparente, segundo a NBR 13280 (ABNT, 1980).

Além disso, a resistência mecânica e o módulo de deformação serão avaliados segundo a metodologia proposta na Tabela I-2. Os corpos de prova serão ensaiados somente em uma idade (28 dias), pois não é objetivo do trabalho avaliar a evolução do módulo, e sim avaliar os métodos de medição.

Tabela I-2 - Proposta de ensaios com os respectivos formatos de corpo de prova para a realização do programa experimental.

Traço	Forma e Dimensões (cm)	Ensaio de caracterização no estado endurecido	Referências Normativas	Quantidade de corpos de prova por argamassa
Forte e Fraco	Placa (20x7,5x1,5)	Resistência à tração na flexão	Bastos (2001)	20
		Módulo de deformação à tração na flexão		
		Módulo de deformação pelo ultrassom		
	Cubo (10x10x10)	Resistência à compressão	BS 4551 (1980)	40
		Módulo de deformação à compressão estático com duas formas de obtenção da medida		
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (1986)	
	Prisma (4x4x16)	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (2005)	20
		Resistência à compressão	NBR 13279 (2005)	
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (1997)	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (1986)	
Barra (2,5x2,5x28,5)	Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS 1881 parte 203 (1986)	20	
	Módulo de deformação pela frequência de ressonância	BS, 1990; AFNOR, 1975		

4. Cronograma

O cronograma de execução do trabalho, previsto no projeto inicial de pesquisa, encontra-se especificado a seguir:

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Levantamento e análise da bibliografia	■	■	■	■								
Obtenção e caracterização dos materiais				■								
Moldagem dos corpos de prova					■	■	■					
Realização dos ensaios						■	■	■				
Análise dos resultados									■	■	■	
Elaboração dos relatórios parcial e final						■						■

É importante ressaltar que algumas alterações, tanto em relação ao programa de ensaios como ao cronograma de atividades, foram feitas ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Estas alterações estão explicitadas no relatório que segue, particularmente nos itens 2.2 (definição da composição e dosagem das argamassas) e 2.3 (métodos de ensaio).

II PARTE II - ATIVIDADES DO PRIMEIRO PERÍODO

As atividades que constituem este primeiro relatório da pesquisa são principalmente decorrentes da revisão bibliográfica realizada, pela qual a pesquisadora buscou dominar os conhecimentos disponíveis sobre as argamassas, suas características e propriedades. Além disso, teve início também o programa experimental, cujas atividades desenvolvidas serão também detalhadas.

1. Caracterização das argamassas empregadas na construção de edifícios

1.1. A argamassa

A argamassa é um material de construção constituído por materiais inertes de baixa granulometria, aglomerantes minerais, água e, eventualmente, aditivos e/ou adições (SABBATINI, 1981). Os materiais inertes de baixa granulometria são os agregados miúdos, sendo a areia o mais utilizado. Os aglomerantes minerais são o cimento, a cal e o gesso, sendo que este último não pode ser utilizado concomitantemente com o cimento, pois, na presença de umidade, ocorre uma reação expansiva. Aditivos são produtos químicos, em forma líquida ou em pó, entre os quais podem ser citados: redutores de permeabilidade, retentores de água, incorporadores de água, hidrofugantes, entre outros (CINCOTTO, 1995). Já as adições são produtos químicos em pó, como o filito cerâmico, material pozolânico, pó calcário, saibro, solo fino, solo fino beneficiado, entre outros (CINCOTTO, 1995). Em relação à água, pode-se fazer uma divisão teórica entre água de amassamento (ou de trabalhabilidade) e água de reação (aquela necessária para que ocorram as reações de endurecimento). No presente estudo, a argamassa será composta somente de areia, cimento, cal e água, sem quaisquer aditivos ou adições.

As propriedades da argamassa que tornam seu uso interessante para a construção civil são: a existência de características plásticas e adesivas no momento de sua aplicação, conjugadas com o desenvolvimento de rigidez e resistência após certo período (SABBATINI, 1981).

1.2. Classificação das argamassas

As argamassas podem ser classificadas de inúmeras maneiras: segundo sua utilização, segundo os aglomerantes empregados, segundo o traço, etc. No entanto, como corretamente destacado por Selmo (1996), elas devem ser classificadas a priori de acordo com a sua utilização, pois este é um fator básico para a definição de suas propriedades. Além disso, a classificação segundo a sua composição é de difícil realização, pois constantemente surgem novos materiais no mercado, sobretudo aditivos e adições. De acordo com sua utilização, as argamassas podem ser classificadas, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) em:

- **Argamassas para assentamento de elementos de alvenaria**, sendo subdivididas, em:
 - ◆ Argamassas para assentamento em alvenaria de vedação;
 - ◆ Argamassas para assentamento em alvenaria de estrutural;
 - ◆ Argamassa para complementação de alvenaria (encunhamento).
- **Argamassas para revestimentos de paredes e tetos**, sendo subdivididas em:
 - ◆ Argamassas para revestimento interno;
 - ◆ Argamassas para revestimento externo.
- **Argamassa de uso geral**, servindo tanto para assentamento de alvenaria sem função estrutural como para revestimentos internos e externos;
- **Argamassa para reboco** (também denominada massa fina);

- **Argamassa decorativa em camada fina;**
- **Argamassa decorativa em monocamada.**

No entanto, esta norma não aborda um tipo importante de argamassa: as argamassas para assentamento de revestimento como placas de rocha, placas cerâmicas, entre outros. Essas argamassas de assentamento são constituídas ou por cimento, cal e areia, como as tradicionalmente utilizadas como revestimento ou são as argamassas colantes, um dos tipos de argamassa industrializada mais utilizados atualmente, tendo suas características especificadas pela norma NBR 14081 (ABNT, 2004).

Além disso, há também outros usos para argamassas como, por exemplo: argamassas para impermeabilização; para grauteamento; injeção; refratárias; para restauração estrutural; etc. (SABBATINI, 1981).

1.3. Principais propriedades das argamassas

Uma vez definido o uso ao qual uma determinada argamassa irá se destinar, é necessário obter uma combinação de propriedades de modo que ela consiga atender corretamente às solicitações que lhe são impostas. Para isso, define-se a composição e o traço da argamassa, que representa a proporção relativa entre seus constituintes, com exceção da água.

Os traços são usualmente apresentados da seguinte maneira: “1 : m”, o que significa que para 1 parte de aglomerante serão utilizadas m partes de agregado. Quando há mais de um aglomerante, o traço é dado por “1 : a : b”, tendo sido convencionalizado que a ordem é do aglomerante mais caro (no caso, o cimento) para o mais barato (SABBATINI, 1981).

O traço pode ser fornecido tanto em massa quanto em volume. Embora o traço em massa seja mais preciso, o traço em volume é o mais utilizado em obras, pelo fato dos materiais serem proporcionados em volume (por exemplo, em latas).

A caracterização das argamassas é muito importante para que se garanta que o material está adequado ao uso ao qual está sendo destinado. Muitas vezes, a caracterização é ignorada, resultando em problemas, tanto de ordem funcional como estética, seja na forma de revestimento (ver Figura II-1 e Figura II-2), junta de alvenaria ou como base para assentamento de revestimento cerâmico.

Como exemplo destes problemas, apresenta-se, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, um conjunto de patologias que comumente ocorrem em revestimentos de argamassa.

Tabela II-1 - Patologia dos revestimentos de argamassa com origem na qualidade das argamassas (SELMO, 1996).

Variável	CAUSA		PATOLOGIA
Natureza do agregado	Grãos Deletérios	Fração fina excessiva (siltes e argilas)	Fissuras mapeadas
		Concreções ferruginosas	Vesículas
		Argilo-minerais expansivos	Fissuras com ou sem descolamento e desagregação
	Grãos friáveis	Micas	Esfoliação ou descolamento em placas
		Fragmentos orgânicos (materiais carbonosos)	Intumescimento e/ou vesículas
		Torrões de argila	Desagregação, vesículas (com matéria orgânica)
		Sais solúveis	Eflorescências
Cal	Óxido de cálcio	Vesículas	
	Óxido de magnésio	Descolamento com empolamento	
Traço	Baixo teor de aglomerantes	Descolamento com pulverulência	
	Teor excessivo de aglomerantes	Descolamento em placas	
	Teor excessivo de cal	Descolamento com pulverulência	
	Consumo excessivo de água	Fissuras mapeadas	

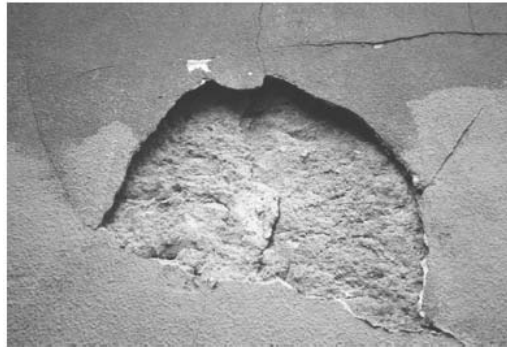


Figura II-1 - Descolamento de uma porção de reboco (VEIGA, 2003).

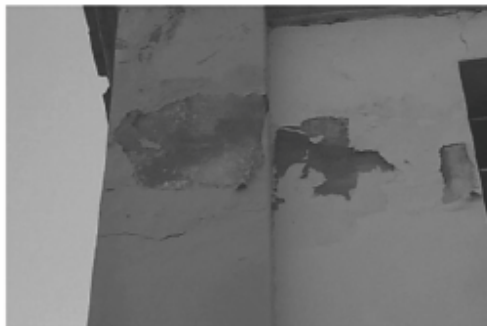


Figura II-2 - Descolamento da pintura pela presença de eflorescência (PAGNUSSAT et al, 2003).

Para efetuar uma caracterização adequada da argamassa, de modo a se garantir um bom desempenho do revestimento ou da junta onde ela se encontra aplicada, é necessário analisar suas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido. A seguir, será feita uma discussão acerca das seguintes propriedades: trabalhabilidade, consistência, retenção de água, densidade de massa aparente, teor de ar e adesão inicial (propriedades no estado fresco); resistência mecânica, retração, aderência no estado endurecido e módulo de deformação (propriedades no estado endurecido).

1.3.1. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade de uma argamassa é a propriedade que busca adequar o material a um determinado uso. Por exemplo, segundo Sabbatini (1981), diz-se que uma argamassa para fins de revestimento é trabalhável quando:

- Distribui-se facilmente ao ser assentada;
- Não agarra à ferramenta quando está sendo aplicada;
- Não segrega ao ser transportada;
- Não endurece em contato com superfícies absorvivas;
- Permanece plástica por tempo suficiente para que a operação seja completada.

No entanto, usos distintos demandam argamassas distintas, cada qual com uma trabalhabilidade. Por exemplo: uma argamassa semi-seca não atende a todos os requisitos acima listados para servir a um revestimento; no entanto, para aplicação em contrapisos, ela é considerada adequada.

Além disso, a trabalhabilidade dependerá também da forma de aplicação. No caso da aplicação manual, ela se torna um fator subjetivo, pois dependerá da opinião do pedreiro que trabalha com a argamassa. Já quando se trata de aplicação mecânica, ela dependerá do tipo de misturador utilizado, pois cada modelo tem uma energia de mistura.

A trabalhabilidade resulta do efeito de rolamento dos grãos de agregados lubrificados pela pasta, relacionando-se, principalmente, com três parâmetros: atrito interno entre os grãos, coesão e viscosidade (SABBATINI, 1986). No entanto, a quantificação desses parâmetros é complicada, de modo que, para efeitos de medição, se correlaciona a trabalhabilidade com a consistência das argamassas.

1.3.2. *Consistência*

A consistência é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir a deformações que lhe são impostas (SELMO, 1989; CINCOTTO, 1995). Embora alguns autores encarem consistência e plasticidade como sinônimos, a plasticidade é a propriedade que permite a argamassa deformar-se sem ruptura (SELMO, 1989).

De acordo com a consistência, as argamassas podem ser classificadas em secas, plásticas ou fluidas. Segundo Cincotto (1995), esta classificação se baseia na situação da película da pasta que preenche os vazios entre os grãos, os quais permanecem em contato (ver Figura II-3). A consistência de uma argamassa é afetada pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia, granulometria da areia e a natureza e qualidade do aglomerante (SABBATINI, 1986).

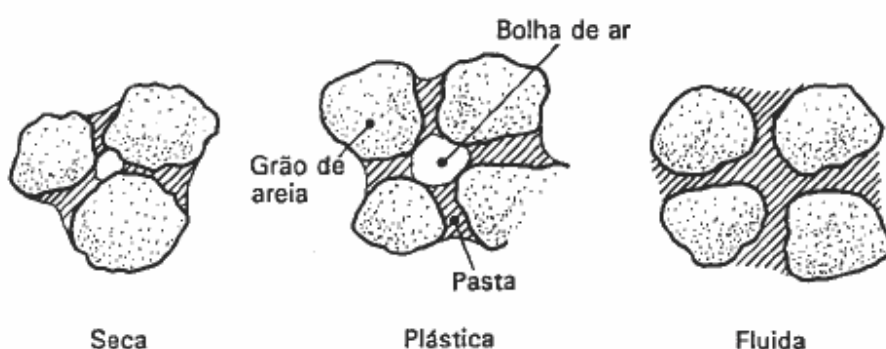


Figura II-3 - Situação da película de pasta relativa a cada uma das três classes de consistência (CINCOTTO, 1995).

Os dois métodos mais comumente usados para determinação da consistência são:

- **Mesa de espalhamento:** este ensaio consiste em submeter uma argamassa moldada inicialmente em forma de tronco de cone a 30 quedas sucessivas, sobre uma mesa de ensaio, de modo a se forçar sua deformação. Após as quedas, mede-se o espalhamento obtido, por meio da média entre dois diâmetros medidos ortogonalmente. O resultado obtido será o índice de consistência, expresso em milímetros (CINCOTTO, 1995). No Brasil, a norma referente a este ensaio é a NBR 13276 (ABNT, 2005). No entanto, este não é um método indicado para argamassas de revestimento, além de não diferenciar argamassas com

aditivos incorporadores de ar (SILVA et al., 2005). O equipamento de ensaio encontra-se ilustrado na Figura II-4;

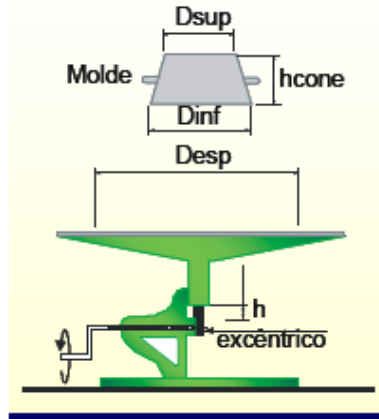


Figura II-4 - Esquema da mesa de adensamento (SILVA et al., 2005).

- **Penetração dinâmica da esfera ou “*dropping ball*”**: este método é descrito pela BS 4551 (BSI, 1980) e consiste em medir a profundidade de penetração, em milímetros, de uma esfera (de metilmetacrilato e diâmetro igual a 25mm) lançada em queda livre de uma altura de 250mm sobre a superfície da argamassa colocada em um molde metálico (o aparelho está ilustrado pela Figura II-5). Este método apresenta resultados satisfatórios, exceto para argamassas com fibras, pois, segundo Silva et al. (2005), uma rede de fibras formada em toda a superfície da argamassa amortece o impacto da esfera, alterando o resultado.



Figura II-5 - Equipamento do ensaio de "dropping ball" (SILVA et al., 2005).

Atualmente, estão sendo desenvolvidos ensaios mais avançados, como, por exemplo, o método do "Squeeze Flow", que consiste em medir a carga de compressão necessária para que uma determinada quantidade de argamassa se deforme pelo cisalhamento decorrente dos esforços aplicados (SILVA et al., 2005). O aparelho encontra-se ilustrado na Figura II-6.



Figura II-6 - Equipamento para realização do ensaio de "Squeeze Flow" (SILVA et al., 2005).

1.3.3. Retenção de água

Segundo Cincotto (1995), a retenção de água representa a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água. Esta propriedade exerce grande

influência sobre a trabalhabilidade, pois, se não houver retenção adequada de água, a argamassa não se manterá plástica por tempo suficiente para que seja manuseada (SABBATINI, 1981). Além disso, há outros efeitos prejudiciais advindos da retenção inadequada de água, que se mostram presentes no estado endurecido, como, por exemplo, menor resistência e maior módulo de deformação (o que significa maior rigidez e menor capacidade de absorver deformações), resultando em redução da durabilidade e da estanqueidade do sistema de revestimento (SABBATINI, 1986).

A medida desta propriedade, segundo Cincotto (1995), é feita através da medição da massa de água retida pela argamassa, após sucção realizada através de discos de papel de filtro empilhados e pressionados durante dois minutos sobre a superfície da argamassa, contida em um molde metálico. O resultado é a relação entre a massa de água retida pela argamassa após a sucção e a massa de água inicial, expresso em porcentagem (BS 4551, 1980).

1.3.4. *Densidade de massa aparente*

A densidade de massa aparente corresponde à densidade da argamassa quando se considera o volume de vazios entre os grãos, dependendo, portanto, do grau de adensamento aplicado ao material e do teor de ar incorporado pela argamassa. Quando não se consideram os vazios, é calculada a densidade de massa específica.

Segundo Cincotto (1995), o método de medição desta propriedade consiste em preencher, de maneira padronizada, um recipiente cilíndrico rígido, de volume e massa conhecidos, com argamassa. Após o adensamento e nivelamento da superfície de argamassa e limpeza do copo externamente, o conjunto formado pelo copo e argamassa é pesado. A diferença entre esta massa e a massa do copo, dividido pelo volume do mesmo, é a densidade aparente da argamassa. As diversas normas relativas a este ensaio são semelhantes, diferindo apenas em relação ao volume do recipiente e ao método de adensamento empregado

(CINCOTTO, 1995). No Brasil, a norma que trata deste assunto é a NBR 13278 (ABNT, 2005).

1.3.5. Teor de ar

A presença de ar na argamassa pode ser atribuída a dois fenômenos: o primeiro é o aprisionamento do ar na argamassa no estado fresco durante a operação de mistura e o segundo é a incorporação intencional de ar por meio de aditivos específicos para este fim (MEHTA; MONTEIRO, 1994). O ar presente no estado fresco se traduz em porosidade no estado endurecido. Como os poros não contribuem para a resistência mecânica da argamassa, conclui-se que, com o aumento no teor de vazios, haverá uma diminuição da resistência mecânica do material. Além disso, quando estes poros estão interconectados, são formados canais, que contribuem para o aumento da permeabilidade da argamassa. No entanto, quando a incorporação de ar é controlada, ela pode trazer benefícios, como aumento na trabalhabilidade da argamassa, facilitando sua aplicação e reduzindo o número de defeitos na interface argamassa-base (CASALI et al, 2003).

Esta propriedade pode ser quantificada de duas maneiras. A primeira é através da medição direta, cujo método é baseado na lei de Boyle e consiste em relacionar a pressão exercida pela água que é inserida no recipiente em que se encontra a argamassa e o volume de ar da amostra. A outra maneira de se obter o teor de ar é pela relação entre a densidade de massa aparente e a densidade de massa específica da argamassa, explicitada na Equação II-1:

$$AR = 100\% \times \left(1 - \frac{\delta_{ap}}{\delta_{esp}} \right) \quad \text{Equação II-1}$$

Onde:

- AR – teor de ar (%);
- δ_{ap} – densidade de massa aparente;

- δ_{esp} – densidade de massa específica, obtida através dos valores de densidade específica dos grãos.

1.3.6. *Adesão inicial*

Segundo Sabbatini (1981), a adesão inicial é definida como a capacidade que a argamassa possui de absorver tensões tangenciais à superfície da interface argamassa-base. Ela se deve à baixa tensão superficial da porção líquida da pasta, que faz com que possam ser molhados tanto os grãos quanto os materiais que devem ser unidos, causando assim a adesão em questão. Esta propriedade é influenciada positivamente pelo aumento no teor de aglomerantes (SABBATINI, 1981).

1.3.7. Resistência mecânica

A resistência de um material é a capacidade deste resistir a tensões sem que sofra ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 1994). No caso das argamassas, estas tensões podem ser tanto de tração, como de compressão ou de cisalhamento, sendo causadas por esforços nos revestimentos ou nas juntas entre componentes; esforços estes decorrentes tanto do uso da edificação (esforços estáticos ou dinâmicos) quanto da exposição da superfície a intempéries (CINCOTTO, 1995).

A resistência da argamassa se inicia com o seu endurecimento, que se dá inicialmente pelas reações de hidratação do cimento e, posteriormente, pela carbonatação da cal. Como estas reações não se processam instantaneamente, a resistência mecânica apresenta um crescimento contínuo com o tempo.

Há uma série de fatores que afetam a resistência mecânica de uma argamassa. As resistências à tração e compressão de argamassas de cimento e de cal e cimento diminuem com o aumento da relação a/c (SABBATINI, 1989). A natureza dos agregados também influi na resistência: quanto mais finos, maior será o consumo de água de amassamento, resultando em uma estrutura mais porosa e, portanto, menos resistente. Além disso, a presença de silte e argila recobrando a superfície dos grãos maiores de agregado também exerce influência negativa sobre a resistência das argamassas (SABBATINI, 1989). No geral, argamassas de cimento são mais resistentes do que as que possuem cal em sua composição. A presença de aditivos e adições também pode alterar a resistência das argamassas.

1.3.8. Retração

Esta propriedade exerce grande influência sobre a durabilidade e a estanqueidade, em especial, dos sistemas de revestimento (CINCOTTO, 1995), que apresentam uma relação área/volume muito grande. A retração se dá pelo

mecanismo de variação da umidade na pasta, iniciando-se no momento do lançamento da argamassa sobre o substrato, por movimentação da água de amassamento para os poros da base (que absorvem esta água) e por perda de umidade para o ambiente. Deste modo, a porção superficial da argamassa aplicada começa a retrair, sendo que em seu interior ela ainda se apresenta úmida e não retrai na mesma velocidade, o que leva ao surgimento de tensões internas de tração, que por sua vez podem causar fissuração (SELMO, 1996).

Parte das movimentações de retração é reversível, o que se deve à capacidade de reabsorção de água pela pasta. No entanto, há movimentos irreversíveis, decorrentes da evaporação da água de amassamento e das reações de hidratação do cimento (CINCOTTO, 1995). É importante que a argamassa aplicada tenha capacidade de acomodar estas deformações, sem que ocorram prejuízos ao seu desempenho, seja como revestimento ou na forma de junta ou mesmo como assentamento de outros revestimentos.

Os fatores que exercem influência sobre a retração são, segundo Cincotto, (1995):

- **Agregados:** para que se tenha baixa retração, os agregados devem apresentar granulometria contínua e baixo teor de finos;
- **Teor de água:** quanto maior a quantidade de água, maior será o potencial de retração da pasta;
- **Teor de aglomerantes:** devido ao fato de parte da retração se dar com a reação de hidratação do cimento, o aumento do teor de cimento eleva a possibilidade de retração da pasta (ver Figura II-7). Embora as reações de carbonatação da cal também provoquem retração, não há efeito físico significativo decorrente deste efeito.



Figura II-7 - Revestimento apresentando fissuração mapeada típica de retração da argamassa, devido ao emprego de alto teor de cimento (CASAREK et al, 2005).

1.3.9. Aderência no estado endurecido

Esta é uma propriedade de grande importância para o desempenho de sistemas de revestimento e de juntas na alvenaria. Ela depende tanto das condições da superfície sobre a qual é aplicada a argamassa quanto das características intrínsecas da argamassa e também das condições de aplicação da argamassa e do meio ambiente (SABBATINI, 1981). Em relação às condições da base, destacam-se: porosidade, capacidade de sucção de água, resistência mecânica, rugosidade superficial e limpeza desta base. Já no que diz respeito às condições da argamassa, são relevantes: retenção de água, consistência, conteúdo de ar incorporado e aprisionado, natureza do aglomerante e granulometria da areia (grãos finos favorecem a aderência) (CINCOTTO, 1995).

1.3.10. Módulo de deformação

Este é o objeto de estudo do presente trabalho, e, portanto, será conceituado e descrito em mais detalhes no item a seguir.

1.4. Módulo de deformação – conceituação e importância

O módulo de deformação é a relação entre a tensão aplicada a um corpo e a deformação produzida por esta tensão. Embora seja também denominado “módulo de elasticidade”, inclusive sendo esta a terminologia adotada internacionalmente, deve-se ressaltar que, no caso das argamassas, não se observa um comportamento elástico-linear, sendo, portanto, o termo “módulo de deformação” mais adequado. A não-linearidade da curva tensão-deformação pode ser observada na Figura II-8.

O módulo de deformação traduz a capacidade de um determinado material de absorver deformações, sem se romper, sob um determinado nível de tensões (JONES, 1967). Para materiais elásticos, esta absorção se dá de modo que não ocorram fissuras e, cessadas as solicitações, o material volta às dimensões originais. No entanto, este não é o caso das argamassas, e, no mecanismo de deformação, incluem-se microfissuras com pequeno distanciamento entre si. Estas microfissuras, enquanto não se propagarem por outros efeitos, sejam eles de natureza térmica ou higroscópica, não serão prejudiciais à estanqueidade e à durabilidade do revestimento ou da alvenaria em que a argamassa se encontra aplicada (SABBATINI et al., 1989). Além disso, os materiais elasto-plásticos não voltam completamente às dimensões originais quando as solicitações são interrompidas.

A importância do estudo da deformabilidade das argamassas se justifica pelo seu emprego: em revestimentos, por exemplo, a razão área/volume do material aplicado é muito grande, o que faz com que as solicitações devidas às movimentações e às ações da base tenham uma influência muito grande sobre a argamassa. Estas solicitações podem ser traduzidas por um estado de tensão praticamente permanente e, no entanto, variável. Sendo assim, é importante

avaliar o ambiente no qual o revestimento estará inserido, para que se possa especificar um nível de deformabilidade da argamassa desejado, de modo que o desempenho do sistema de revestimento seja satisfatório. No caso das argamassas de assentamento, uma deformabilidade adequada é importante para que a argamassa possa absorver as deformações a que a alvenaria estiver sujeita, sem comprometer a estanqueidade e o desempenho da junta por ela formada. É neste cenário que o módulo de deformação surge como uma ferramenta de avaliação da deformabilidade das argamassas; entretanto, a rigor, esta avaliação deve ser complementada, quando possível, pelo estudo da curva tensão versus deformação do material, pois nem sempre menor módulo de deformação implica em maior capacidade de deformação, como ilustrado na Figura II-8 (GODOY; BARROS, 1999).

Com este gráfico, os autores querem deixar claro que apesar da argamassa com aditivo apresentar um maior módulo de deformação do que a argamassa sem o aditivo, a primeira apresenta uma maior capacidade de se deformar sob tensão do que a segunda e, por isto, a análise da curva é importante.

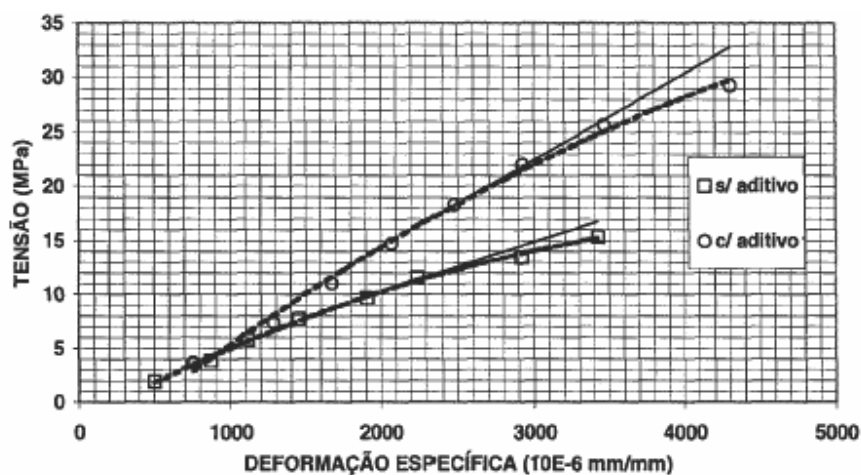


Figura II-8 - Análise comparativa da capacidade de deformação de duas argamassas (GODOY; BARROS, 1999).

1.5. Fatores que exercem influência sobre o módulo de deformação

São vários os fatores que exercem influência sobre o módulo de deformação das argamassas. O acréscimo do teor de cimento na formulação do traço da argamassa aumenta tanto a resistência mecânica como o módulo de deformação – assim, embora a argamassa se torne mais resistente, sua capacidade de absorver deformações é prejudicada (CASAREK et al, 2005). Aumentando-se o teor de cal, observa-se um decréscimo do módulo, o que em geral significa maior capacidade de deformação (SABBATINI, 1986). No caso das areias, quanto mais descontínua a granulometria e maior o teor de grãos angulosos, maior é o módulo de deformação, e, portanto, menos deformável é a argamassa (SABBATINI, 1981).

Segundo Mehta e Monteiro (1994), em materiais homogêneos, existe uma relação direta entre massa específica e o módulo de deformação. Essa afirmação também pode ser interpretada da seguinte maneira: quanto maior a porosidade de um material, menor será seu módulo de deformação. Isto é válido para as argamassas e explica o fato da incorporação de ar em argamassas reduzir o módulo, fato este observado por Lara et al. (1995).

Recentemente, pesquisas têm sido desenvolvidas em busca do emprego de novos materiais na composição de argamassas, como resíduo de obras na forma de agregado, fibras poliméricas, emulsões poliméricas, entre outros. No entanto, não há conclusões definitivas sobre a influência destes novos materiais sobre o módulo de deformação das argamassas. Por exemplo, Bauer e Cortez (2001), em seu estudo sobre o emprego de fibras sintéticas (nylon e polipropileno) em argamassas para revestimento, chegaram à conclusão de que ambas melhoram as propriedades de deformação da argamassa. Já Dafico et al. (1997), investigando o uso de fibras de polipropileno em argamassas de assentamento, concluíram que seu emprego não exerce influência significativa sobre o módulo. A outro resultado chegaram Patrício e Barros (2005), que concluíram que o emprego de fibras de polipropileno em argamassas de revestimento pioram todas as propriedades das argamassas no estado endurecido. Esta discrepância presente entre as conclusões dos diversos autores não só torna clara a necessidade de um

maior número de pesquisas na área de materiais inovadores, como reflete também a falta de consenso, mesmo para argamassas tradicionais, sobre como determinar o módulo de deformação: embora todos eles sigam a norma NBR 8522 (ABNT, 2003) para medição do módulo, as velocidades de carregamento e os corpos de prova são diferentes. Uma ilustração do panorama descrito encontra-se na Tabela II-2 e na Tabela II-3, onde são apresentados os resultados compilados a partir de diferentes trabalhos.

Tabela II-2 - Comparação dos diferentes valores de módulo de deformação em função do formato do corpo de prova (MOSER; BARROS, 1999).

Traço da argamassa	Formato e dimensões (cm) do corpo de prova	Módulo tangente inicial (GPa)
1:1:6	Cubo (10x10x10)	11,87
1:1:6	Prisma (4x4x16)	4,02

Tabela II-3 - Comparação dos diferentes valores de módulo de deformação e resistência à compressão, entre argamassas de traços semelhantes e mesmo formato de corpo de prova (cilindro de 5x10cm), apresentados por diferentes autores.

Traço da argamassa	Referência	Resistência à compressão (MPa)	Módulo tangente inicial (GPa)
1:0,5:4,5	Mohamad/Roman (1999)	31,40	12,19
1:0,5:3,75	Prudêncio (1999)	9,52	6,97
0,04	Casali (2001)	6,42	6,23

1.6. Tipos de módulo de deformação

Os ensaios para determinação do módulo de deformação podem ser divididos em dois grandes grupos: os ensaios estáticos e os ensaios dinâmicos.

O módulo de deformação estático para um material é dado pela declividade da curva tensão x deformação (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Esta curva é obtida aplicando-se, a um corpo de prova, esforços a uma determinada velocidade de carregamento, e medindo-se concomitantemente a deformação resultante. Conhecida a área do corpo de prova, é possível calcular a tensão a partir dos

esforços aplicados e, com isso, construir a curva tensão x deformação. Para materiais cimentícios, estes esforços são usualmente de compressão, pois, como estes materiais são muito frágeis, a construção de equipamentos que consigam medir com precisão os esforços de tração aplicados é dificultada.

Para materiais elásticos, a curva tensão x deformação é linear. No entanto, este não é o caso das argamassas, cuja curva assume o aspecto ilustrado na Figura II-9. Sendo assim, segundo Mehta e Monteiro (1994) convencionou-se três métodos para calcular o módulo de deformação a partir destas curvas (ver Figura II-9):

- **Módulo tangente:** é dado pela declividade de uma reta tangente à curva $\sigma \times \varepsilon$ em um ponto da mesma a ser especificado (por exemplo, em normas). Na Figura II-9, é ilustrado o módulo tangente inicial;
- **Módulo secante:** é dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva a ser especificado (em % da tensão de ruptura do material);
- **Módulo corda:** é dado pela declividade de uma reta traçada entre dois pontos da curva tensão x deformação (ambos os pontos definidos em função de uma porcentagem da tensão de ruptura do material).

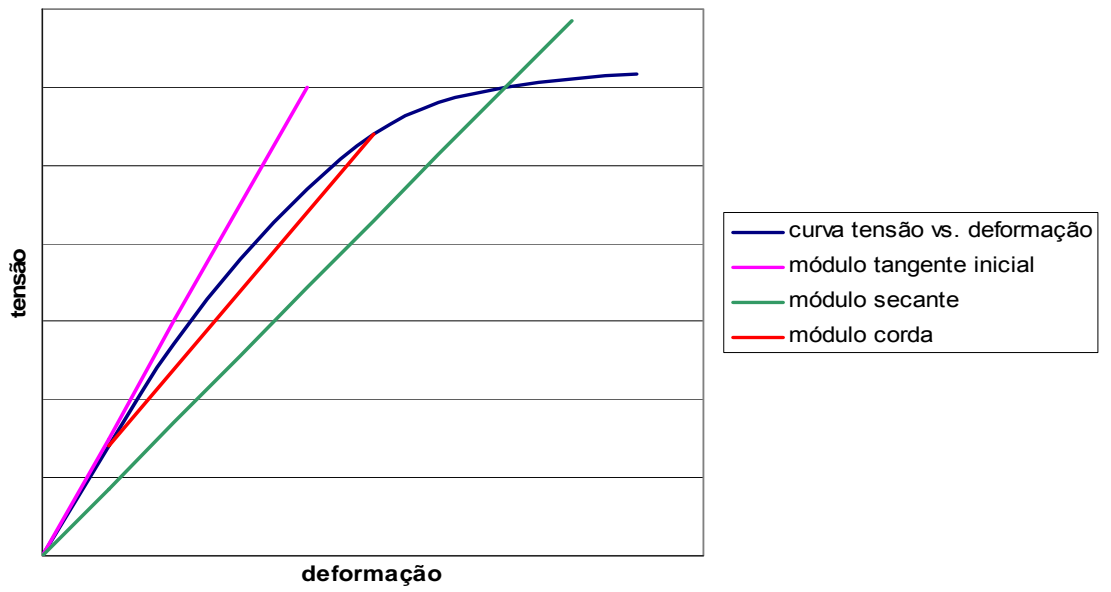


Figura II-9 - Tipos diferentes de módulo de deformação.

1.7. Métodos de determinação do módulo de deformação

Primeiramente, serão abordados os ensaios estáticos (módulo de deformação à compressão, à tração na flexão e à tração direta). Logo após, serão tratados os métodos dinâmicos de determinação do módulo de deformação (ultrassom e frequência de ressonância).

1.7.1. *Módulo de deformação à compressão*

Embora a compressão seja um esforço mecânico mais freqüente para as argamassas de assentamento, grande parte dos resultados de ensaios de módulo de deformação para argamassas de revestimento (normalmente submetidas a esforços de tração) no Brasil refere-se a este ensaio (BASTOS, 2003).

O procedimento é o seguinte: submete-se o corpo de prova à aplicação de uma carga de compressão por meio de uma prensa. Esta carga aplicada é função da carga de ruptura do material, razão pela qual devem ser realizados, previamente, ensaios para determinação da resistência à compressão do material. Mede-se a deformação do corpo de prova durante a realização do ensaio e, por meio do estabelecimento da relação entre tensão e deformação, obtém-se o módulo de elasticidade (Figura II-10). Tanto o método pelo qual esta relação é estabelecida, como o modo de aplicação da carga e de medição da deformação, variam de acordo com a norma adotada. Algumas das normas que abordam este ensaio são:

- **NBR 7190 (ABNT, 1997):** adaptação, pois a norma versa sobre madeiras. O formato do corpo de prova é prismático, de 4x4x16cm;
- **NBR 8522 (concreto) (ABNT, 2003):** corpo de prova cilíndrico, com razão comprimento/diâmetro igual a dois;

- **BS 1881: Part 121 (concreto) (BSI, 1983):** o formato do corpo de prova ainda não foi verificado, pois a norma está sendo adquirida (não foi encontrada nas bibliotecas da EPUSP).

Serão levantadas ainda normas de outros órgãos, como, por exemplo, a ASTM.



Figura II-10 - Exemplo de ensaio de determinação do módulo de deformação à compressão (CRESCENCIO, 2003).

Segundo Bastos (2003), o sucesso deste ensaio depende, em parte, do sistema de medida de deformações. Uma das formas de medida é por meio da utilização de relógios comparadores: usualmente aos pares, eles são posicionados paralelamente às faces, um de cada lado e na medianiz do corpo de prova, conforme a Figura II-11. A grande desvantagem deste sistema é que a medida da deformação é relacionada ao deslocamento do prato da máquina que aplica os esforços no corpo de prova, e não do corpo de prova em si. Já o extensômetro (ver Figura II-10), mede a deformação do próprio corpo de prova, por ser diretamente acoplado ao mesmo. Assim, se obtém uma medida mais precisa. Sua desvantagem é que se trata de um aparelho caro e extremamente delicado, devendo-se tomar muito cuidado no seu manuseio.

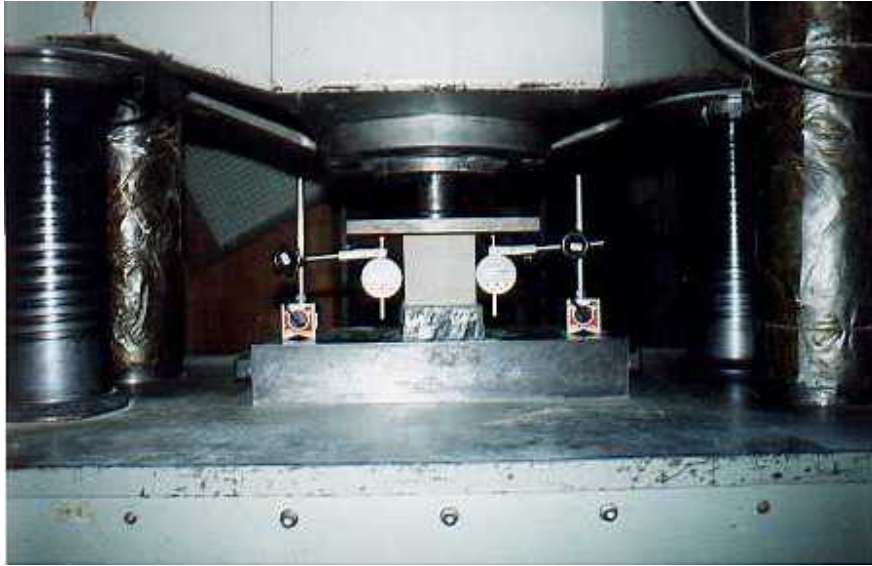


Figura II-11 - Ilustração da aplicação de relógios comparadores em ensaio de módulo de deformação à compressão (GODOY, 1999).

1.7.2. Módulo de deformação à tração na flexão

Este ensaio, ilustrado pela Figura II-12, é assim denominado, pois, ao se aplicar uma carga verticalmente no meio do corpo de prova, a parte inferior do mesmo fica tracionada. Podem ser realizadas duas medidas durante o ensaio: a medida da flecha (deslocamento, em mm) no meio do corpo de prova bi-apoiado ou a medida direta da deformação (mm/mm) na face tracionada do corpo de prova, por meio de extensômetros. Estas medidas possibilitam o traçado da curva tensão versus deformação para o material.

Ao se medir a flecha causada pelo carregamento vertical aplicado, o módulo de deformação pode ser obtido através da Equação II-2(BASTOS, 2001):

$$E = \frac{PL^3}{4\delta bh^3} \quad \text{Equação II-2}$$

Onde:

- E – módulo de deformação;

- P – carga aplicada verticalmente no meio do corpo de prova;
- L – distância entre os apoios do corpo de prova;
- b – maior lado da seção transversal do corpo de prova;
- h – espessura do corpo de prova;
- δ – flecha no meio do corpo de prova, medida durante o ensaio de flexão.

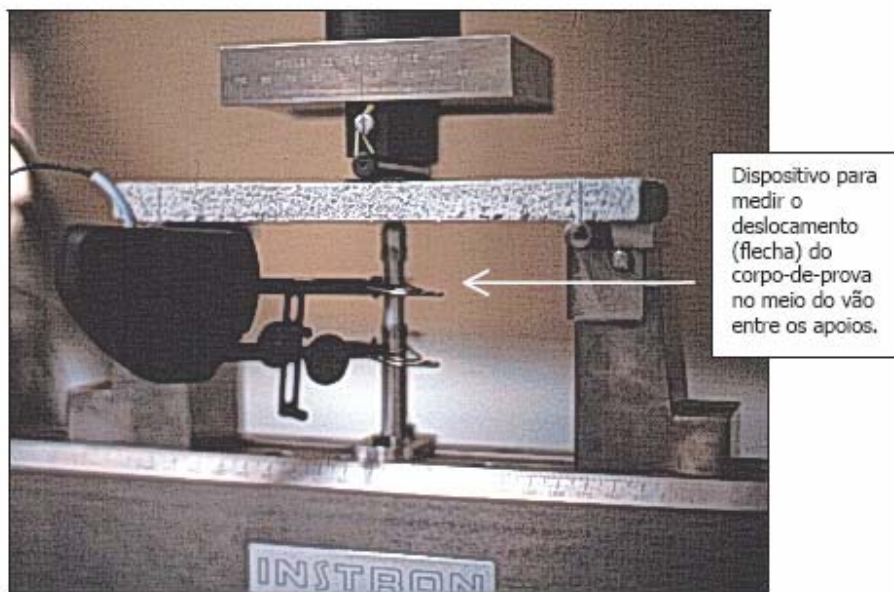


Figura II-12 - Foto do ensaio do módulo de deformação à tração na flexão (BASTOS, 2001).

1.7.3. Módulo de deformação à tração direta

Entre os ensaios estáticos, há também o de determinação do módulo de deformação à tração direta (ilustrado na Figura II-13), que consiste em aplicar um esforço longitudinal de tração ao corpo de prova e relacionar a tensão aplicada à deformação respectiva. O mesmo ensaio permite extrair a resistência à tração do material (BASTOS, 2003). No entanto, é um ensaio de difícil realização, pois, como a argamassa é um material que não resiste bem à tração, o corpo de prova se romperia para níveis de tensões muito baixos, o que levaria a deformações muito pequenas, que por sua vez exigem equipamentos extremamente precisos

para sua medição, os quais usualmente não estão disponíveis, nem mesmo em laboratórios muito bem equipados.

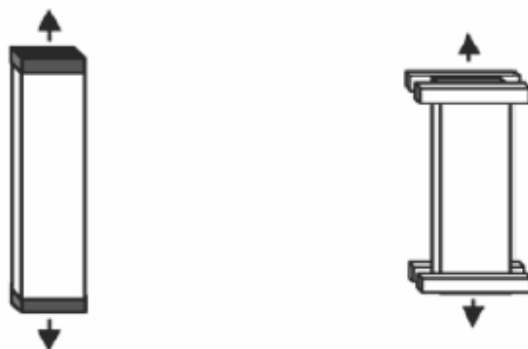


Figura II-13 - Desenho ilustrativo do ensaio de tração direta (BASTOS, 2003).

A grande vantagem existente nos ensaios estáticos é que eles reproduzem as condições em que as argamassas irão operar na prática, por serem baseados na aplicação de esforços mecânicos (BASTOS, 2003). Além disso, a grande maioria das pesquisas nacionais realizadas até agora se baseia somente no módulo estático e, com isso, não há referências seguras sobre os dados dinâmicos. No entanto, este grupo apresenta uma grande desvantagem: os ensaios são destrutivos, o que impede o acompanhamento de um mesmo corpo de prova ao longo do tempo.

1.7.4. Módulo de deformação pelo ultrassom

A motivação para a existência deste método de ensaio é o princípio da propagação de ondas elásticas em um sólido, segundo o qual a velocidade de propagação depende das propriedades elásticas do meio. As ondas elásticas obedecem a uma senóide em movimento harmônico (GOMES, 1997). A relação existente entre a velocidade de propagação do som e o módulo de elasticidade encontra-se explicitada na Equação II-3:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\gamma}}$$

Equação II-3

Onde:

- v – velocidade do som;
- E – módulo de elasticidade;
- g – peso específico do material.

Pulsos de ondas de choque elásticas e longitudinais são gerados por um transdutor eletroacústico acoplado à extremidade corpo de prova com vaselina. Um segundo transdutor recebe a onda após ela ter atravessado o corpo de prova e a converte novamente em energia, para que o aparelho de leitura (baseado em pulsos elétricos) possa fornecer o tempo que a onda leva em sua travessia (ver Figura II-14). O módulo dinâmico pode ser calculado segundo a

Equação II-4 e a Equação II-5 (KOMLÖS et al, 1996):

$$v = \frac{l}{\Delta t} \quad \text{Equação II-4}$$

$$E = \rho v^2 \times \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad \text{Equação II-5}$$

Onde:

- l – comprimento do corpo de prova;
- Δt – tempo que a onda leva para atravessar o corpo de prova;
- ρ – densidade do corpo de prova
- μ – coeficiente de Poisson.



Figura II-14 - Foto da realização do ensaio do módulo de deformação por ultrassom, com o equipamento PUNDIT (MONTE et al., 2005).

As equações, como expostas, são válidas para transmissão direta, em que os transdutores são posicionados nas extremidades longitudinalmente opostas do corpo de prova. Há ainda outros dois modos: a transmissão diagonal, na qual os transdutores são alocados nos cantos do corpo de prova, diagonalmente opostos; e a transmissão indireta, em que os transdutores são acoplados ambos à mesma face do corpo de prova, separados por uma distância conhecida. As equações são idênticas, mudando somente a definição do l . Na transmissão direta, a energia recebida pelo transdutor-receptor é maior e a frente de onda é determinada com maior precisão, o que justifica este ser o modo mais sensível e, por este motivo, é o adotado na maioria das normas que versam sobre o assunto (JONES, 1967; NEVILLE, 1968; KOMLÖS et al, 1996).

Para efeito de comparação com outros métodos, o módulo determinado pelo ultrassom corresponde, aproximadamente, ao módulo tangente inicial estático. Isto se explica pelo fato de que as deformações causadas pelas ondas ultrassônicas, além de instantâneas, são extremamente pequenas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Analisando a equação, nota-se que é necessário conhecer o coeficiente de Poisson do material a ser ensaiado para determinar seu módulo de deformação.

Entretanto, para argamassas de base cimentícia, segundo Monte et al. (2005), é possível admitir o coeficiente de Poisson como sendo 0,2, eliminando, portanto, a necessidade de realização de ensaios adicionais para determinar esse dado.

Este método apresenta como vantagens ser de simples realização, não exigir treinamento complexo e o equipamento, no caso de se adotar, por exemplo, o PUNDIT (Portable Ultrasonic Non-destructive Digital Indicating Tester), é de baixo custo. No entanto, a principal vantagem é a possibilidade de realização de avaliações “in-situ”, seja de argamassas de revestimento ou de assentamento. A desvantagem existente é que, para que os resultados obtidos sejam bastante precisos, é necessário medir o coeficiente de Poisson, e não somente estimá-lo.

Em relação às normas que abordam este ensaio, há a BS 1881: Part 203 (BSI, 1986) (em processo de aquisição) e a NBR 8802 (sem formato específico de corpo de prova) (ABNT, 1994), ambas sobre concreto. Elas não abordam a medida do módulo de elasticidade em si, mas a determinação da velocidade de propagação da onda ultrassônica.

1.7.5. Módulo de deformação pela frequência de ressonância

No caso do ensaio de frequência de ressonância, dois resultados podem ser obtidos: o módulo dinâmico de deformação ou, mais especificamente, módulo dinâmico de Young, “E”, e o módulo dinâmico de cisalhamento, “G”. O que define o tipo de módulo que será obtido é o modo de vibração aplicado ao corpo de prova: longitudinal ou de flexão, ambos determinando o “E”; e de torção, que resulta no “G” (JONES, 1967). No presente estudo, como o foco é a determinação do módulo de deformação (“E”), será adotado o método de ressonância longitudinal, por ser de realização mais simples se comparado ao método de ressonância por flexão.

A metodologia de ensaio é a seguinte: ao corpo de prova, são acoplados um emissor e um receptor de ondas, acoplamento este feito através, normalmente, de vaselina. É imprescindível que as extremidades do corpo de

prova estejam liberadas para vibração (JONES, 1967). Um aparelho específico (que se encontra esquematizado na Figura II-15) emite ondas vibratórias que atravessam longitudinalmente o corpo de prova e, variando-se a freqüência, é possível determinar a freqüência fundamental de ressonância longitudinal, que é a freqüência mais baixa na qual se produz uma ressonância puramente longitudinal (JONES, 1967; NEVILLE, 1968; BASTOS, 2003). Conhecida esta freqüência, o módulo de deformação é dado pela **Erro! Fonte de referência não encontrada.**:

$$E = \frac{4(n_1)_1^2 l^2 \rho}{g} \quad \text{Equação II-6}$$

Onde:

- E – módulo dinâmico de deformação pela freqüência de ressonância;
- $(n_1)_1$ – freqüência fundamental de ressonância longitudinal;
- l – comprimento do corpo de prova;
- ρ – densidade do corpo de prova;
- g – aceleração da gravidade.

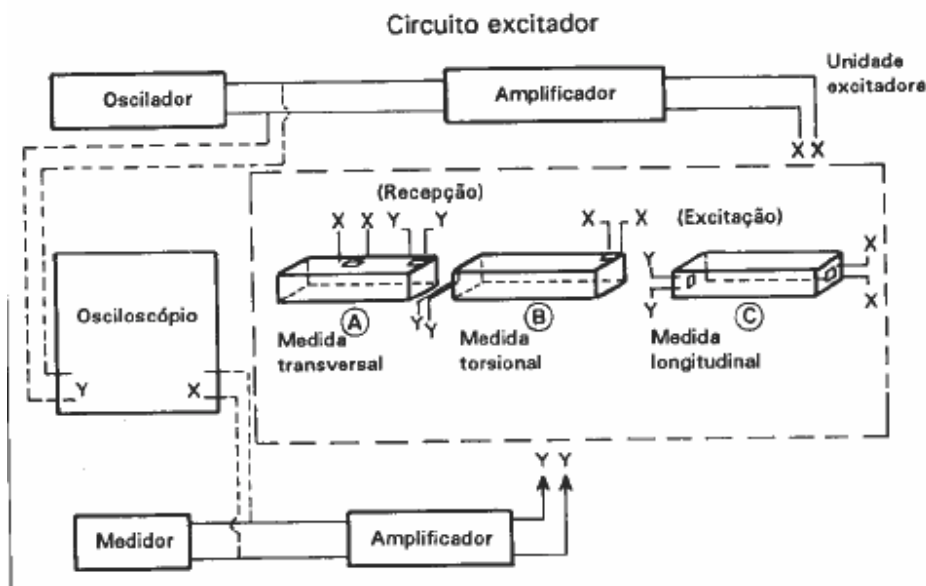


Figura II-15 - Representação esquemática da aparelhagem do ensaio de frequência de ressonância, com o layout correspondente a cada modo de vibração (CINCOTTO, 1995).

As condições de contorno para a aplicação da Equação II-6 são que o material seja elástico ideal e isotrópico e que o prisma seja longo o suficiente em relação à sua seção transversal. Segundo Matti (1983), para concreto, os melhores resultados obtidos com o método da frequência ressonante ocorrem quando a relação comprimento/largura do corpo de prova se situa em torno de cinco. Já Jones (1967), também para concreto, fornece um gráfico que estabelece uma relação entre duas razões: uma delas é a razão entre o módulo dinâmico corrigido e o medido, e a outra é a razão entre diâmetro de um corpo de prova cilíndrico e o comprimento de ondas de vibração (ver Figura II-16). Contudo, não foi encontrada nenhuma referência sobre uma possível relação comprimento/dimensão da seção transversal para argamassas.

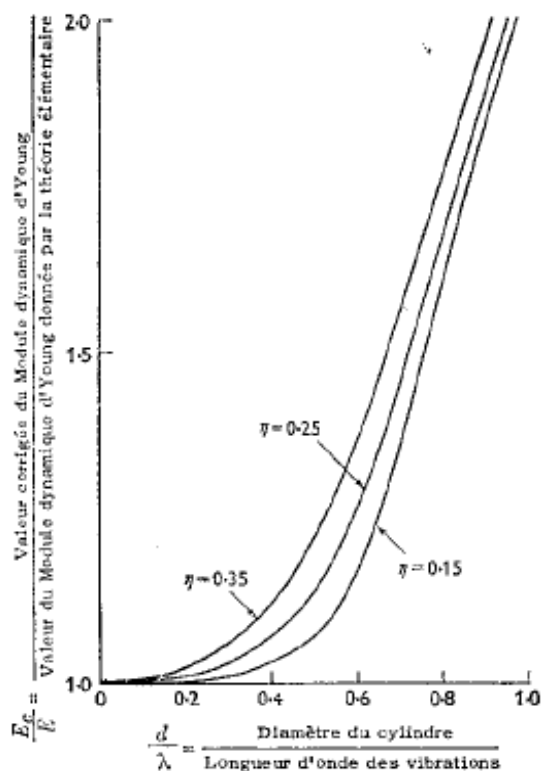


Figura II-16 - Gráfico para correção do valor do módulo de elasticidade para o modo de vibração longitudinal (JONES, 1967).

De acordo com Jones (1967), embora o concreto não se encaixe na categoria dos materiais elásticos ideais, a não conformidade com esta hipótese não introduz grandes erros no resultado final. Esta afirmação é ainda mais válida para argamassas, que possuem uma heterogeneidade menor, apresentando um comportamento mais próximo ao elástico, se comparadas ao concreto. O autor destaca, ainda, que para que o afastamento da teoria da elasticidade não seja significativo, as seguintes precauções devem ser tomadas: o corpo de prova deve ser o mais homogêneo possível, o que é em geral o caso dos corpos de prova confeccionados de acordo com as normas, e as cargas aplicadas às extremidades dos corpos de prova (por exemplo, o emissor e o receptor de ondas) não devem ultrapassar 10% da massa do mesmo. Além disso, a anisotropia exerce influência sobre os resultados, e, portanto, é sempre necessário mencionar a qual direção o ensaio está associado (JONES, 1967). O módulo obtido por este método corresponde ao módulo tangente inicial estático, assim como o módulo de deformação pelo ultrassom, valendo inclusive a mesma justificativa para esta afirmação.

A vantagem deste método reside no fato de que ele dispensa a medida do coeficiente de Poisson. Além disso, caso o comprimento e a densidade do corpo de prova sejam determinados de maneira satisfatória, o método fornece resultados de grande precisão (JONES, 1967; NEVILLE, 1968). As desvantagens existentes são a aparelhagem sofisticada e de alto custo necessária para a realização do ensaio e a impossibilidade de se fazer medições “in-situ”.

Duas das normas que dizem respeito a este ensaio são a NF B 10-511 (AFNOR, 1975) e a BS 1881 : Part 209 (BSI, 1990). Ambas têm procedimentos muito semelhantes e aceitam corpos de prova tanto cilíndricos como prismáticos, no entanto, a norma britânica apresenta restrições quanto ao tamanho dos corpos de prova: a razão comprimento/máxima dimensão da seção transversal não deve ser maior do que 5 nem menor do que 3.

Os métodos dinâmicos apresentam a grande vantagem de serem ensaios não-destrutivos. Em alguns casos, é interessante avaliar a evolução das propriedades de uma argamassa (entre elas, o módulo de deformação) ao longo do tempo. Isto até pode ser feito por meio de ensaios estáticos, utilizando-se um grande número de corpos de prova e testando conjuntos deles em intervalos de tempo pré-definidos. No entanto, é mais interessante e econômico observar, por meio dos ensaios dinâmicos, as variações das propriedades de um mesmo corpo de prova durante um certo período (NEVILLE, 1968). Além disso, os métodos dinâmicos, quando comparados aos estáticos, solicitam um número menor de corpos de prova para que se obtenha um mesmo nível de erro (desde que satisfatório), pois fornecem resultados mais precisos (JONES, 1967). Não obstante, a possibilidade de realizar ensaios “in-situ” com o aparelho de ultrassom é interessante, pois elimina a necessidade de se extrair corpos de prova de um sistema já construído, o que nem sempre é simples. A desvantagem destes métodos é que eles ainda não estão difundidos na comunidade técnica e científica brasileira. Além disso, no caso do ensaio de frequência ressonante, a aparelhagem é cara, o que inviabiliza sua adoção em muitos laboratórios do país. Outro ponto negativo que pode ser citado é que eles não fornecem a curva tensão versus deformação do material, cuja análise, em alguns casos, pode ser de interesse.

2. Planejamento do programa experimental

2.1. Obtenção dos materiais

Os materiais da pesquisa foram obtidos por meio das seguintes doações:

- Cimento: foi utilizado o cimento Votoran CPII-E-32, doado pela Votorantim;
 - Cal: cal hidratada Supercal CH-I, doada pela Cobrascal;
- Areia: areia quartzosa de rio (rosada), doada pela Engemix.

2.2. Definição da composição e dosagem das argamassas

O critério adotado para a escolha dos traços para esta pesquisa foi o de se utilizar traços usuais em obra. Além da composição, atentou-se para o método de dosagem: o mais usual, em obras, é proporcionar os materiais em volume, sendo a areia considerada úmida. Foram definidos dois traços, um forte e um fraco, para que se pudesse perceber a capacidade de diferenciação das argamassas de cada método de ensaio de módulo de deformação.

No plano de pesquisa proposto inicialmente, foram definidos os traços 1:1:6 e 1:3:12; no entanto, em pesquisa anterior, realizada no laboratório, este segundo traço mostrou-se muito fraco para a confecção dos corpos de prova, havendo muitas perdas. Sendo assim, fez-se necessária uma mudança de ambos os traços, resultando nas seguintes composições: traço “T1”, forte, de proporções 1:0,5:4,5 e traço “T2”, fraco, de composição 1:2:9.

Embora estes traços exibam as proporções em volume, na pesquisa, estes traços foram convertidos para traços em massa, devido à maior precisão deste último método. Para realizar esta conversão, fez-se uso dos valores obtidos da determinação da massa unitária dos materiais, apresentados no item BLA. O resultado desta conversão está exposto na Tabela II-4.

Tabela II-4 - Conversão dos traços em volume para traços em massa.

		cimento	cal	areia
T1	Em volume úmido	1,0	0,5	4,5
	Em massa seca	1,0	0,2	3,8
T2	Em volume úmido	1,0	2,0	9,0
	Em massa seca	1,0	0,8	7,6

A determinação do teor de água foi feita considerando a recomendação da norma BS 4551 (BSI, 1980), de que argamassas em revestimento devem apresentar índice de penetração, pelo método do “*dropping-ball*” (descrito pela mesma norma), de 10 ± 1 mm. Assim, a quantidade de água foi definida durante a

primeira produção de cada traço. Para o traço T1, chegou-se a um volume de 8.5l de água e, para o traço 2, a 9,1l.

2.3. Métodos de ensaio

A seguir, são listados todos os ensaios, tanto os que já foram realizados quanto os que têm sua realização programada para a próxima etapa da pesquisa.

Tabela II-5 - Planejamento e procedimentos dos ensaios de caracterização no estado anidro.

Material	Ensaio	Norma ou procedimento	Execução/ planejamento
Cimento	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio	48ª semana
	Massa unitária	Adaptado da NBR 7251 (ABNT; 1982), conforme procedimento descrito no anexo "A"	executado
Cal	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio	48ª semana
	Massa unitária	Adaptado da NBR 7251 (ABNT; 1982), conforme procedimento descrito no anexo "A"	executado
	Resíduo insolúvel	NM - 15, 2004	48ª semana
Areia	Granulometria	NBR 7217 (ABNT, 1987)	48ª semana
	Massa específica	Picnômetro de gás Hélio	48ª semana
	Massa unitária	Adaptado da NBR 7251 (ABNT; 1982), conforme procedimento descrito no anexo "A"	executado
obs: a 48ª semana do ano corresponde à última semana de novembro/2006			

Em relação aos ensaios de caracterização no estado anidro (Tabela II-5), primeiramente realizou-se a determinação da massa unitária, pois este dado é necessário para a conversão dos traços cuja referência é em volume para traços em massa. Embora a NBR 7251 aborde somente a determinação da massa unitária para agregados em estado solto (no caso, a areia), foi adotado o mesmo procedimento para os aglomerantes (que carecem de norma sobre este assunto), a fim de se reproduzir o que é observado em obra, onde os operários realizam

esta determinação devido ao fato da dosagem se dar em volume (com o uso de padiolas, por exemplo).

Para que se tivesse uma idéia do estado de umidade em que se encontraria a areia utilizada na pesquisa quando encaminhada à obra (situação em que se encontra em seu máximo inchamento), realizou-se parte do ensaio de determinação do coeficiente de inchamento, seguindo-se algumas disposições da NBR 6467 (2006).

Tendo em vista que os outros ensaios de caracterização no estado anidro são importantes somente para que as propriedades relevantes do material sejam conhecidas, não sendo necessários para que se iniciassem as moldagens dos corpos de prova, estes foram agendados para a última semana de novembro, período em que não serão realizados testes de caracterização no estado endurecido dos corpos de prova previamente moldados.

A caracterização no estado fresco, que se constitui dos ensaios de determinação da consistência pelo “*dropping ball*” (ver Figura II-17), segundo a BS 4551 (BSI, 1980), e da densidade de massa aparente (ver Figura II-18), segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005), é feita de acordo com as moldagens. Como, para cada traço, são realizadas duas moldagens, decidiu-se que esta caracterização só será feita na primeira delas, pois as características da argamassa entre as duas não variam de maneira significativa. Além disso, o “*dropping ball*” só é necessário como parâmetro para a determinação do teor de água, que permanece constante entre a primeira e a segunda moldagens do mesmo traço.



Figura II-17 - Realização do ensaio de "dropping ball", no dia 26/10.

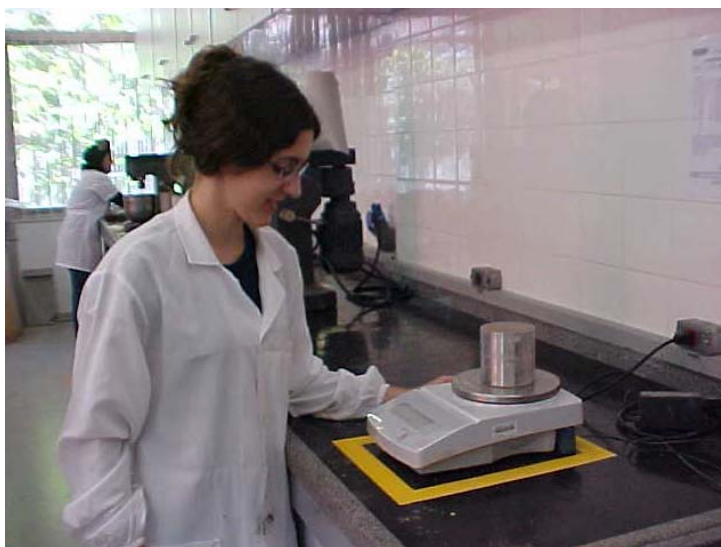


Figura II-18 - Realização do ensaio para determinação da densidade de massa no estado fresco, no dia 09/11.

Ainda no que diz respeito à caracterização no estado fresco, não foram estudadas outras propriedades como, por exemplo, a retenção de água, pois o programa experimental desta pesquisa não tem como enfoque a argamassa no estado fresco e sim a sua caracterização mecânica, no estado endurecido.

Ainda não foi realizado nenhum dos ensaios de caracterização no estado endurecido. Os ensaios a serem realizados encontram-se relacionados na Tabela

II-6 As seguintes mudanças em relação ao plano estabelecido no projeto de pesquisa foram feitas:

- Reduziu-se o número de corpos de prova com o formato de placa, devido à restrição imposta pelo número de fôrmas disponíveis no laboratório (suficientes somente para oito corpos de prova);
- Foram reduzidos também o número de corpos de prova de formato cúbico, pois 30 cubos corresponderiam a 60l de argamassa, volume que as misturadoras horizontais disponíveis no laboratório não comportam bem;
- Incluiu-se o cilindro como formato de corpo de prova, o que se justifica por ser um formato cujos métodos já se encontram bem estabelecidos e por haver referências bibliográficas para uma possível comparação de valores, pois seu uso é bastante difundido.

Tabela II-6 - Planejamento e procedimentos para caracterização no estado endurecido.

Traço	Forma e dimensões (cm)	Ensaio de caracterização no estado endurecido	Referências normativas	Número de corpos de prova por traço
1:0,5:4,5 (forte) e 1:2:9 (fraco)	Placa (20x7,5x1,5)	Resistência à tração na flexão	Bastos (2001)	8
		Módulo de deformação à tração na flexão		
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (2004) (ver anexo "A")	
	Cubo (10x10x10)	Resistência à compressão	BS 4551 (1980)	20
		Módulo de deformação à compressão estático com duas formas de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (1997) (ver anexo "A")	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (2004) (ver anexo "A")	
	Prisma (4x4x16)	Resistência à tração na flexão	NBR 13279 (2005)	20
		Resistência à compressão	NBR 13279 (2005)	
		Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (1997) (ver anexo "A")	
		Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (2004) (ver anexo "A")	
	Barra (2,5x2,5x28,5)	Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (2004) (ver anexo "A")	20
		Módulo de deformação pela frequência de ressonância	BS 1881:209 (1990); NF B 10-511 (1975)	
Cilindro (5x10)	Resistência à compressão	NBR 7215	20	
	Módulo de deformação à compressão estático com uma forma de obtenção da medida	adaptação da NBR 7190 (1997) (ver anexo "A")		
	Módulo de deformação pelo ultrassom	adaptação da BS EN 12504 (2004) (ver anexo "A")		

2.4. Resultados obtidos da caracterização dos materiais

Os resultados obtidos dos ensaios de massa unitária encontram-se na Tabela II-7, Tabela II-8 e Tabela II-9. A tara e o volume do recipiente que se utilizou para realizar o ensaio são, respectivamente, 7,9kg e 19,538l.

Tabela II-7 - Resultados do ensaio de massa unitária para areia seca.

	Areia seca			
	massa amostra + recipiente (g)	massa de amostra (g)	massa unitária (kg/dm ³)	Desvio em relação à média (%)
1	37396,00	29496,00	1,51	-0,20
2	37434,00	29534,00	1,51	-0,07
3	37531,00	29631,00	1,52	0,26
média	37453,67	29553,67	1,51	

Tabela II-8 - Resultados do ensaio de massa unitária para a cal.

	Cal			
	massa amostra + recipiente (g)	massa de amostra (g)	massa unitária (kg/dm ³)	desvio (%)
1	18013,00	10113,00	0,52	-0,16
2	18046,00	10146,00	0,52	0,16
média	18029,50	10129,50	0,52	

Tabela II-9 - Resultados do ensaio de massa unitária para o cimento.

	Cimento			
	massa + recipiente (g)	massa de amostra (g)	massa unitária (kg/dm ³)	desvio (%)
1	32999,00	25099,00	1,28	1,79
2	32013,00	24113,00	1,23	-2,21
3	32660,00	24760,00	1,27	0,42
média	32557,33	24657,33	1,26	

A variação encontrada entre os resultados da caracterização dos materiais em seu estado anidro é relativamente grande, principalmente no caso do cimento, onde se observam desvios em relação à média maiores que 1%, limite estabelecido pela NBR 7251 (ABNT, 1982). No entanto, esta variação é condizente com alguns detalhes da execução do ensaio: no caso do cimento, houve o problema de se utilizar inicialmente o material diretamente retirado do saco e, depois, reutilizá-lo em estado mais solto, uma vez que se dispunha de pouco material. Além disso, outro fator que exerceu influência sobre os resultados é a falta de habilidade do operador, considerando que a pesquisadora realizava pela primeira vez este procedimento. Além disso, no caso da cal, não foi levada em conta a terceira medida, pois o material já se encontrava em estado muito mais solto que no início do ensaio, o que levou a resultados muito discrepantes. No entanto, como os valores obtidos se apresentaram semelhantes aos obtidos por outros pesquisadores em outras pesquisas, decidiu-se não refazer nenhuma das determinações, uma vez que a pesquisadora já havia compreendido completamente os procedimentos e que repeti-los não levaria a um maior grau de conhecimento sobre o tema.

Abaixo, na Tabela II-10 e na Figura II-19, encontram-se os resultados da adaptação do ensaio de inchamento. A massa e o volume do recipiente utilizado são, respectivamente, 1939g e 4,955l.

Tabela II-10- Resultados da determinação do coeficiente de inchamento.

Teor de água (%)	Massa areia + recip. (g)	Massa úmida de areia (g)	Densidade úmida (g/cm³)	Coeficiente de inchamento (Vh/Vo)	Massa da cápsula (g)
0	9213	7274	1,47	1,000	-
0,5	7714	5775	1,17	1,266	84,7
1	7436	5497	1,11	1,336	118,6
2	7311	5372	1,08	1,381	103,9
3	7374	5435	1,10	1,379	151,2

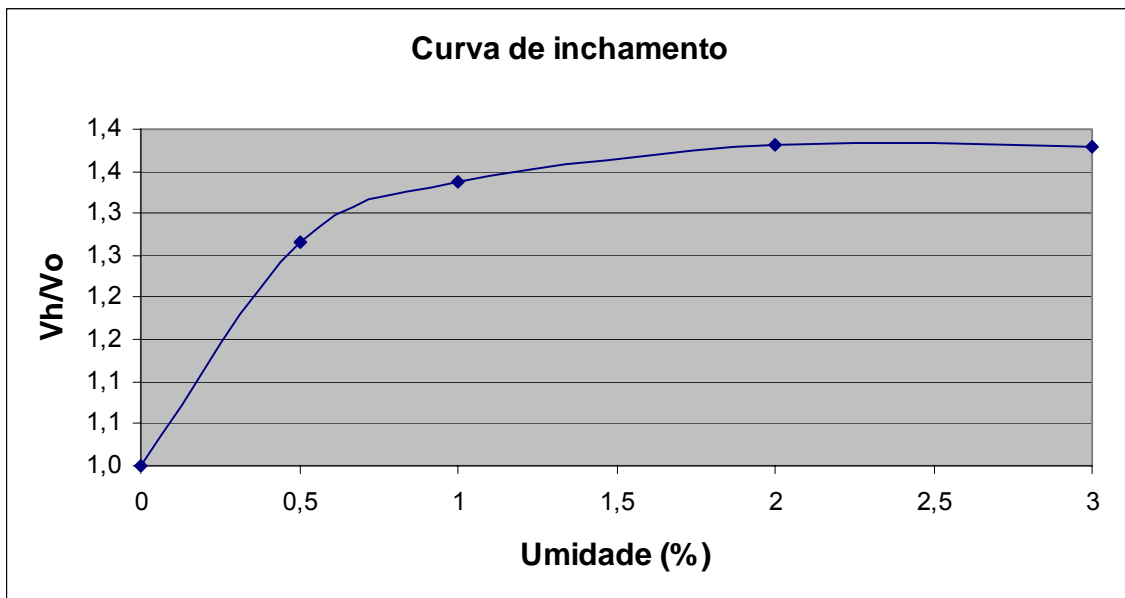


Figura II-19 - Curva de inchamento

O ensaio foi interrompido assim que se notou uma tendência de decréscimo do coeficiente de inchamento.

Os resultados de caracterização no estado fresco, para o traço T1, estão apresentados na Tabela II-11 e na Tabela II-12 . O diâmetro da esfera do “*dropping ball*” é de 25,3mm. A tara e o volume do recipiente utilizado no ensaio de densidade de massa aparente são, respectivamente, 1290,5g e 400ml:

Tabela II-11 - Resultados do ensaio de “*dropping ball*” para o traço T1

	H1 (mm)	H2 (mm)	I. P. (mm)	Desvio (%)
1	34,2	18,8	9,9	-8,5
2	34,8	20,5	11,0	1,7
3	34,5	20,8	11,6	6,8
Média			10,8	

Tabela II-12 - Resultados do ensaio de densidade de massa aparente para o traço T1

	Massa (g)	Densidade (kg/m³)	Densidade (g/cm³)	Desvio (%)
1	2131,2	2101,9	2,1	-0,25
2	2133,9	2108,4	2,1	0,05

3	2135,1	2111,4	2,1	0,20
Média		2107,2	2,1	

Nota-se que resultado obtido no ensaio de consistência pelo “dropping-ball” (índice de penetração de 10,8mm) apresenta conformidade com o parâmetro estabelecido pela BS 4551 (BSI, 1980) para argamassas de revestimento. Já ao analisar a Tabela II-12, observa-se que a densidade de massa da argamassa (2,1g/cm³) é elevada se comparada ao valor comumente encontrado de 1,9g/cm³. Esta diferença se justifica pela granulometria fina da areia utilizada.

Para o traço T2, os resultados da caracterização no estado fresco encontram-se na Tabela II-13 e na Tabela II-14. A tara e o volume do recipiente utilizado são, respectivamente, 1325,37g e 400ml.

Tabela II-13 - Resultados do ensaio de “dropping ball” para o traço T2

	H1 (mm)	H2 (mm)	I.P. (mm)	Desvio (%)
1	32,6	16,8	9,5	5,6
2	32,5	15,7	8,6	-5,0
3	33,2	16,8	9,0	-0,6
média			9,0	

Tabela II-14 - Resultados do ensaio de densidade de massa aparente para o traço T2

	Massa (g)	Densidade (kg/m ³)	Densidade (g/cm ³)	Desvio (%)
1	2124,3	1997,4	2,0	-0,3
2	2125,6	2000,5	2,0	-0,2
3	2131,0	2014,0	2,0	0,5
média			2,0	

Nota-se que a argamassa ainda atende ao critério da BS 4551 (BSI, 1980), embora no limite inferior.

2.5. Processo de moldagem dos corpos de prova

O cálculo dos volumes de argamassa necessários para confeccionar os corpos de prova encontra-se na Tabela II-15:

Tabela II-15 - Cálculo do volume necessário de argamassa para dimensionamento e planejamento das dosagens

Traço	Forma e Dimensões (cm)	Volume de cada corpo de prova (l)	Quantidade de corpos de prova	Volume total (l)
Forte 1:0,5:4,5	Placa (20x7,5x1,5)	0,225	8	1,8
	Cubo (10x10x10)	1,000	20	20,00
	Prisma (4x4x16)	0,256	20	5,12
	Barra (2,5x2,5x28,5)	0,178	20	3,56
	Cilindro (5x10)	0,196	20	3,93
Fraco 1:2:9	Placa (20x7,5x1,5)	0,225	8	1,8
	Cubo (10x10x10)	1,000	20	20,00
	Prisma (4x4x16)	0,256	20	5,12
	Barra (2,5x2,5x28,5)	0,178	20	3,56
	Cilindro (5x10)	0,196	20	3,93
			TOTAL (l)	68,82
			total por traço (l)	34,41

De posse desses valores, decidiu-se que os corpos de prova seriam moldados em duas etapas distintas, tendo-se, com isto, duas produções de argamassa para cada traço, sendo uma para a moldagem dos corpos de prova cúbicos, devido ao grande volume de argamassa consumido, e outra para o restante dos corpos de prova. Esta divisão é necessária, pois o equipamento utilizado para a preparação da argamassa (misturador de eixo horizontal) foi dimensionado para 1 saco de argamassa industrializada de 50kg, o que resulta em um volume menor do que os 34,41l necessários para a moldagem de um traço de uma só vez.

Cada moldagem foi dimensionada tomando como base um volume de 24 litros de areia seca, que corresponde, aproximadamente, ao volume de argamassa

resultante. A partir deste dado, da proporção em massa apresentada na tabela Tabela II-4 e dos valores de massa unitária dos materiais, foram dimensionadas as quantidades necessárias, em massa, de areia, cal e cimento, resultando nos seguintes valores:

- T1: 9,2kg cimento : 1,93kg cal : 35,0kg areia;
- T2: 4,6kg cimento : 3,78kg cal : 35,0kg areia.

O procedimento adotado para a produção de argamassa foi o seguinte: com o misturador ligado, adicionaram-se, em seqüência, a areia, a cal e o cimento, sendo a água adicionada gradativamente, como forma de homogeneizar a mistura. O tempo decorrido entre as adições de cada material é o mesmo adotado por Silva (2006). Após os corpos de prova terem sido moldados, eles permaneceram no ambiente de laboratório, com temperatura e umidade controladas, por um período de 4 dias, até a desforma, após o que foram alocados na câmara seca do laboratório do Departamento de Engenharia de Construção Civil (PCC), cujos parâmetros são $50\pm 4\%$ de umidade relativa e $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Observa-se que usualmente as pesquisas que têm sido realizadas no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, no campo das argamassas, produzem, inicialmente, a argamassa intermediária (areia e cal) para, depois, fazer a mistura com o cimento. No entanto, como nesta pesquisa o enfoque é para o comportamento mecânico comparado de corpos de prova de argamassa e não para o comportamento de revestimentos ou de juntas de argamassa, dispensou-se o uso de argamassa intermediária, facilitando, com isto, os procedimentos de moldagem, ganhando-se tempo para a realização dos ensaios mecânicos e para a sua adequada análise.

Na Figura II-20, Figura II-21, Figura II-23 e Figura II-24, encontram-se ilustradas a produção de argamassa e moldagem do dia 26/10. Já a Figura II-22 , que mostra a adição de cimento à mistura de cal, areia e água, é relativa à moldagem do dia 09/11. Além disso, duas figuras (Figura II-25 e Figura II-26)

mostram os corpos de prova moldados no dia 27/10 (traço T1). Por fim, a Figura II-27 ilustra o armazenamento dos corpos de prova na câmara seca.



Figura II-20 - Mistura da areia com água no início do processo de produção da argamassa.



Figura II-21 - Adição de água para obtenção da consistência desejada para a argamassa.



Figura II-22 - Adição de cimento à mistura de cal, areia e água, para produção de argamassa.



Figura II-23 - Moldagem dos corpos de prova cúbicos



Figura II-24 - Corpos de prova cúbicos moldados

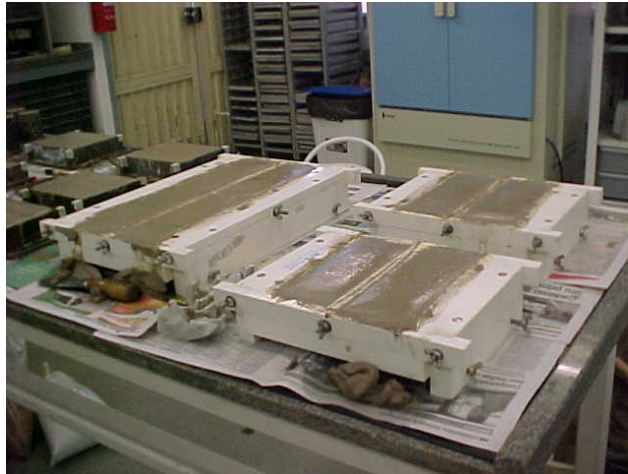


Figura II-25 - Placas e prismas (ao fundo) moldados no dia 27/10.

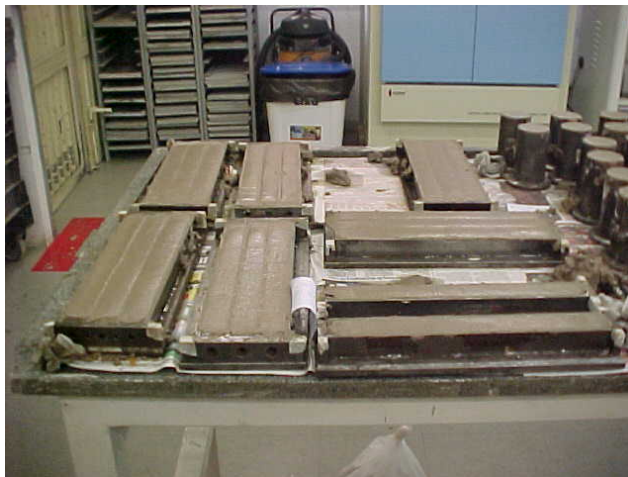


Figura II-26 - Barras e cilindros (canto superior direito) moldados no dia 27/10.



Figura II-27 - Corpos de prova armazenados na câmara seca.

No que diz respeito à realização das moldagens, todas foram feitas de acordo com as normas ou procedimentos relativos a cada corpo de prova, tendo-se estabelecido o seguinte cronograma:

- 20/10: corpos de prova cúbicos, T1 (determinação do teor de água);
- 26/10: corpos de prova cúbicos, T1 (determinação do teor de água);
- 27/10: restante dos corpos de prova, T1;
- 06/11: restante dos corpos de prova, T1;
- 09/11: corpos de prova cúbicos, T2 (determinação do teor de água);
- 10/11: restante dos corpos de prova, T2.

As primeiras moldagens, ocorridas nos dias 20/10 e 27/10 não tiveram bons resultados e, por este motivo, precisaram ser refeitas. Na primeira, em que se determinou o teor de água, demorou-se muito para iniciar o lançamento da argamassa nas fôrmas, de modo que os corpos de prova apresentaram muitos vazios (ver Figura II-28). Já na segunda, por um erro de comunicação, foram adicionados 9l de água, ao invés dos 8,5l previstos. No entanto, os corpos de prova resultantes terão suas propriedades no estado endurecido analisadas, como forma de treinamento para utilização dos equipamentos de ensaio e familiarização com as respectivas metodologias.



Figura II-28 - Corpo de prova cúbico com vazios, moldado no dia 20/10.

2.6. Ensaio programados

Abaixo, na Tabela II-16, estão relacionados os ensaios a serem realizados e suas respectivas datas de execução:

Tabela II-16 - Programação dos ensaios a serem realizados na segunda etapa do projeto.

Data	Ensaio a serem realizados	Formato dos corpos de prova/traço	Data de moldagem
17/nov	Caracterização no estado endurecido (treinamento)	Cubos/ T1	20/out
23/nov	Caracterização no estado endurecido	Cubos/ T1	26/out
24/nov	Caracterização no estado endurecido (treinamento)	Prismas, barras, cilindros e placas/ T1	27/out
30/nov 1/dez	Restante da caracterização no estado anidro	-	-
4/dez	Caracterização no estado endurecido	Prismas, barras, cilindros e placas/ T1	6/nov
7/dez	Caracterização no estado endurecido	Cubos/ T2	9/nov
8/dez	Caracterização no estado endurecido	Prismas, barras, cilindros e placas/ T2	10/nov

3. Dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da primeira etapa do trabalho

Uma das principais dificuldades encontradas durante esta etapa do trabalho relaciona-se à obtenção de material bibliográfico. O número de publicações científicas voltadas especificamente às argamassas ou ainda aos sistemas em que elas se aplicam é reduzido se comparado a outros materiais de construção, como o concreto, por exemplo. A situação se torna mais crítica quando se procuram estudos sobre módulo de deformação em argamassas, o que levou à necessidade de se levantar dados, sobre concreto, relacionados a esta propriedade, como forma de obter informações sobre os métodos de medição (considerando que o concreto é o material de construção mais próximo à argamassa). Outra consequência desta falta de bibliografia foi a concentração das pesquisas em algumas bases de dados, como, por exemplo, os anais do SBTA (Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas).

Outro problema foi a obtenção dos materiais necessários para a pesquisa (areia, cimento e cal), cujas doações, principalmente a da areia, consumiram um tempo maior do que o esperado.

Houve dificuldades também na determinação das massas unitárias, pois a adaptação feita à NBR 7251 (ABNT, 1982), embora seja a maneira mais próxima à determinação desta propriedade em obra, é de difícil execução, pois o lançamento dos aglomerantes no recipiente, feito diretamente a partir de suas embalagens, fez com que um peso muito grande tivesse de ser levantado. Além disso, o recipiente, após preenchido, também adquiria um peso expressivo, dificultando seu transporte até a balança.

No caso dos problemas com as moldagens, já relatados neste relatório, a única consequência negativa foi a geração de um pequeno atraso no cronograma.

4. Novo cronograma para o trabalho

Além das datas que já foram especificadas para a realização dos ensaios restantes para caracterização no estado anidro e dos ensaios de caracterização no estado endurecido, encontra-se abaixo um novo cronograma para realização das etapas subseqüentes do trabalho. O levantamento bibliográfico foi estendido para praticamente toda a duração da pesquisa, pois, à medida que se avança com a compreensão sobre o tema e com a realização dos ensaios, novas dúvidas surgem, o que demanda a busca, leitura e análise de novos materiais. Acredita-se que, com este remanejamento das atividades, o trabalho se dará de maneira mais eficiente e o resultado obtido será mais satisfatório.

ATIVIDADE	nov 06	dez 06	jan 07	fev 07	mar 07	abr 07	mai 07
Complementação da revisão bibliográfica							
Caracterização dos materiais							
Moldagem dos corpos de prova							
Realização dos ensaios							
Análise dos resultados							
Elaboração do relatório final							

III REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Análise química – Determinação de resíduo insolúvel. NM-15.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo – Método de ensaio – NBR 6467.** Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Projeto de Estruturas de Madeira – NBR 7190.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão – NBR 7215.** Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Agregados; determinação da composição granulométrica – NBR 7217.** Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Agregados em estado solto; determinação da massa unitária – NBR 7251.** Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação – NBR 8522.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica – NBR 8802.** Rio de Janeiro, 1994.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; preparo da mistura e determinação do índice de consistência – NBR 13276.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado – NBR 13278.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – NBR 13279.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido – NBR 13280.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; requisitos – NBR 13281.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – requisitos – NBR 14081.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos ; determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) – NBR 15261.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION – NF B 10-511 – **Produits de carrières pierres calcaires – mesure du module d'élasticité dynamique.** Paris, AFNOR, 1975.

BASTOS, P. K. X. **Módulo de deformação de argamassas – conceitos e métodos de determinação.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003: p: 27-40.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** São Paulo, 2001. 172p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BAUER, E.; CORTEZ, I. M. M. **Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassas para revestimento na prevenção da fissuração.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. Brasília, 2001. **Anais**, Brasília: SBTA, 2001. p: 89-100.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Methods of testing mortars, screeds and plasters – BS 4551.** Londres, 1980.

_____. **Testing concrete – Method for determination of static modulus of elasticity in compression – BS 1881: Part 121.** Londres, 1983.

_____. **Testing concrete – Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete – BS1881 : Part 203.** Londres, 1986.

_____. **Testing concrete – Recommendations for the measurement of dynamic modulus of elasticity – BS 1881: Part 209.** Londres, BSI, 1990.

_____. **Testing concrete – Determination of ultrasonic pulse velocity – BS EN 12504-4.** Londres, 2004.

CASALI, J. M. **Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassas para assentamento de alvenaria.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. Brasília, 2001. **Anais**, Brasília: SBTA, 2001. p: 435-446.

CASALI, J. M.; et al. **Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de blocos de concreto para**

alvenaria estrutural. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003. p: 291-302.

CASAREK, H.; et al. **Estudo de casos de deslocamento de revestimento de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 6. Florianópolis, 2005. **Anais**, Florianópolis: SBTA, 2005. p: 551-561.

CINCOTTO, M. A. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo, IPT, 1995. (Publicação IPT 2378).

CRESCENCIO, R. M. **Avaliação de desempenho do revestimento decorativo monocamada.** São Paulo, 2003. 170p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

DAFICO, D. A. ; et al. **Utilização de fibras de polipropileno em argamassas de assentamento de blocos cerâmicos com furos na vertical.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2. Salvador, 1997. **Anais**, Salvador: SBTA, 1997. p: 296-306.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. **Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999. p: 159-170.

GODOY, E. H. P.; BARROS, M. M. S. B. **Contribuição ao estudo da influência do teor de polímero nas propriedades das argamassas de cimento Portland.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p: 249-265.

GODOY, E. H. P. **Contrapisos de argamassa de cimento Portland e polímeros como camada promotora da estanqueidade de pisos de edifícios.** São Paulo, 1999. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GOMES, A. M. **A utilização da ultrassonografia na avaliação das propriedades mecânicas dos revestimentos de paredes através de ensaios “in situ”.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2. Salvador, 1997. **Anais**, Salvador: SBTA, 1997. p: 445-456.

JONES, R. **Les essais non destructifs des bétons.** Paris, Éditions Eryolles, 1967. Capítulos 1, 2, 3 e 7.

KOMLÖS, K.; et al. **Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards.** Cement and Concrete Composites, 18, 1996. p: 357-363.

LARA, D.; et al. **Dosagem das argamassas**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1. Goiânia, 1995. **Anais**, Goiânia: SBTA, 1995. p: 63-72.

MATTI, M. A. **Effect of oil soaking on the dynamic modulus of concrete**. **Novembro, 1983**.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Pini, 1994. Capítulos 1 e 4.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R. **Estudo do comportamento triaxial de argamassas**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999. p. 113-124.

MONTE, R.; et al. **Relatório Interlaboratorial – Módulo de elasticidade dinâmico**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Novembro, 2005. (Relatório interno)

MOSER, R.; BARROS, M. M. S. B. **Avaliação do módulo de deformação de argamassas para revestimento e assentamento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Relatório final de iniciação científica encaminhado à FAPESP. (Relatório interno, não divulgado).

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. Londres, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd., 1963. p. 422-428.

PAGNUSSAT, D. T.; et al. **Avaliação das manifestações patológicas em fachadas de prédio histórico na cidade de Porto Alegre**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003. p: 597-606.

PATRÍCIO, G. R. P.; BARROS, M. M. S. B. **Avaliação da viabilidade do emprego de fibras de polipropileno em argamassas de revestimento**. São Paulo, 2005. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (relatório de iniciação científica).

PRUDÊNCIO Jr, L. R.; et al. **Resistência de aderência de diferentes tipos de revestimentos de argamassa aplicados em alvenaria de blocos de concreto**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999. p: 453-460.

SABBATINI. **Argamassas**. (Notas de aula da disciplina Materiais de Construção civil 1). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1981?. (não publicado)

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 02/86. São Paulo, 1986.

SABBATINI, F. H.; et al. **Conceitos básicos sobre a execução de revestimentos argamassados**. 1989.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. São Paulo, 1989. 187p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SELMO, S. M. S. Revestimentos de argamassas de paredes e tetos de edifícios – projeto, execução e manutenção. Maio, 1996.

SILVA, R. P.; et al. **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de mesa de consistência, dropping ball e squeeze flow**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 6. Florianópolis, 2005. **Anais**, Florianópolis: SBTA, 2005. p: 106-120.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico**. São Paulo, 2006. 201p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003: p. 63-94.

IV OUTRAS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

BORTOLUZZO, C. W.; LIBORIO, J. B. L. **Correlações entre as propriedades mecânicas em argamassas mistas e aditivadas**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 3. Vitória, 1999. **Anais**, Vitória: SBTA, 1999: p: 203-217.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. Prüfung von Mauerwerk – Ermittlung der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls. Berlin, 1985.

FERREIRA, O. P.; SILVA, I. J. **Argamassa de cimento com adição de fibras de polipropileno**. In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1. Goiânia, 1995. **Anais**, Goiânia: SBTA, 1995: p: 33-42.

KUDO, E. K.; MARTINS NETO, M. L. **Estudo dos métodos de determinação do módulo de deformação estático e dinâmico.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. Brasília, 2001. **Anais**, Brasília: SBTA, 2001: p: 345-354.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. **Avaliação do efeito de entulhos reciclados nas propriedades das argamassas no estado endurecido, por procedimentos racionais de dosagem.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. Brasília, 2001. **Anais**, Brasília: SBTA, 2001: p: 225-236.

NAGY, A. **Determination of E-modulus of young concrete with nondestructive method.** Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 9, 1997. p: 15-20.

OLIVEIRA, M. L. L.; et al. **Ensaio de resistência à compressão em argamassas: NBR vs RILEM.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 5. São Paulo, 2003. **Anais**, São Paulo: SBTA, 2003: p: 725-727.

STEIL, R. O.; et al. **Influência do tipo de argamassa no fator de eficiência e na deformabilidade de alvenarias estruturais de blocos de concreto.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4. Brasília, 2001. **Anais**, Brasília: SBTA, 2001: p: 423-434.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. **Caracterização de argamassas no estado fresco – peculiaridades na análise de argamassas industrializadas.** In.: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1. Goiânia, 1995. **Anais**, Goiânia: SBTA, 1995: p: 53-62.

ANEXO A

Descrição dos métodos de ensaio adotados nesta pesquisa

1. Massa unitária, de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982).

Adotou-se, para os aglomerantes (cal e cimento) o mesmo procedimento especificado para agregados no estado solto. A única diferença em relação à metodologia especificada na norma é em relação ao lançamento dos materiais no recipiente: ao invés de fazê-lo por meio de pá ou concha, os materiais foram despejados diretamente de sua embalagem, de modo a reproduzir o procedimento adotado em obra.

2. Resistência à tração na flexão e módulo de deformação à tração na flexão, segundo a metodologia proposta por Bastos (2001).

Neste caso, a única diferença encontra-se no procedimento de moldagem dos corpos de prova. O autor, após a moldagem dos corpos de prova através de duas camadas com 30 golpes cada, coloca o molde sobre uma mesa vibratória. Já nesta pesquisa, ao invés da mesa vibratória, aplicam-se, manualmente, ao final da moldagem, 10 quedas de altura aproximadamente igual a 1,5cm em cada lado menor da forma (correspondente à menor dimensão transversal do corpo de prova). Decidiu-se adotar este procedimento após a primeira moldagem dos corpos de prova em forma de prisma, barra, cilindro e placa do traço T1, pois se notou que os corpos de prova apresentavam muitos vazios, fato ilustrado na Figura IV-1 e na Figura IV-2.



Figura IV-1 - corpo de prova em forma de placa, apresentando vários vazios em sua face lateral (moldado em 27/10).



Figura IV-2 - corpo de prova em forma de barra, apresentando também problemas de vazios (moldado em 27/10).

3. Módulo de deformação pelo ultrassom, segundo a BS EN 12504-4 (BSI, 2004).

No caso, a única adaptação que se pode prever é em relação ao material, pois a norma se refere a concreto e os corpos de prova são de argamassa. Em relação à taxa de aplicação de carga, entre outros dados técnicos, nada pode se afirmar, pois a leitura da norma ainda não foi efetuada, haja vista que esta ainda se encontra em processo de aquisição.

4. Módulo de deformação à compressão, de acordo com adaptação da NBR 7190 (ABNT, 1997).

A adaptação aqui feita só diz respeito ao material, que ao invés de madeira, é argamassa, e ao formato do corpo de prova (variável). Todas as outras diretrizes, inclusive as taxas de aplicação de carga, serão mantidas conforme a norma.

5. Moldagem do corpo de prova em forma de barra, de acordo com a NBR 15261 (ABNT, 2005).

Os corpos de prova em forma de barra foram moldados de acordo com esta norma. No entanto, além das duas camadas de 25 golpes previstas, foram aplicadas, ao final, 10 quedas, a partir da altura de aproximadamente 1,5cm, de cada lado da fôrma, como forma de adensar melhor o corpo de prova e evitar vazios como os ilustrados na Figura IV-2.