



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Departamento de Engenharia de Construção Civil

**Avaliação dos métodos de ensaio para
determinação do módulo de
deformação de argamassas**

PROJETO DE PESQUISA
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

Orientadora
Prof^a. Mercia M. S. Bottura de Barros

Pesquisador
Fernanda Belizário Silva

São Paulo – Março/2006

SUMÁRIO

RESUMO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
3	JUSTIFICATIVA	3
4	PLANO DE TRABALHO	4
4.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	4
4.2	ESTABELECIMENTO DA METODOLOGIA DE ENSAIO	5
4.3	DEFINIÇÃO DOS MATERIAIS E DOS CORPOS DE PROVA.....	6
4.4	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	7
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	7
5	CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO.....	8
6	MATERIAL E MÉTODOS.....	8
6.1	CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ANIDRO.....	8
6.2	CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO FRESCO	9
6.3	CARACTERIZAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO	9
7	FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS	9
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	10
9	OUTRAS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	11
	ANEXO “A”	12

RESUMO

A capacidade de deformação de determinada argamassa é um dado essencial para avaliar sua aplicabilidade, pois expressa a capacidade do material deformar-se sem que ocorra sua ruptura na forma de fissuras visíveis, que venham a prejudicar seu desempenho. Essa 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 se determinar o módulo de deformação de uma argamassa, usualmente classificados em métodos estáticos ou dinâmicos, os quais fornecem resultados distintos, havendo, por isto, divergências em relação aos vários resultados obtidos em diferentes metodologias, o que dificulta tanto a caracterização de argamassas comerciais como comparações entre estudos científicos diversos.

Essa pesquisa propõe a avaliar o grau de confiança associado a cada metodologia de ensaio de determinação do módulo de deformação de argamassas, assim como a sua repetibilidade. Pretende-se também comparar os resultados obtidos dos diferentes métodos. Tais análises deverão levar a conclusões sobre a viabilidade em relação à aplicação de cada método de ensaio e sobre a qualidade dos resultados fornecidos.

Este projeto está inserido no “Programa de Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassas”, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo (PCC USP), e parceiros. Com os resultados dessa pesquisa, será possível escolher, entre os métodos de determinação do módulo de deformação das argamassas, aqueles que conduzem aos resultados mais satisfatórios e confiáveis para serem utilizados nos projetos do grupo de pesquisa mencionado, gerando assim uma uniformidade dos dados; proporcionará, ainda recursos para o estabelecimento de normalização técnica sobre o assunto.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de argamassas no Brasil é muito extensa e serve a diversas aplicações, seja como material para a junção de outros componentes, seja como revestimento final de fachadas e paredes internas ou como base para o assentamento de outros tipos de revestimento. Entretanto, o número de publicações científicas e normas técnicas voltadas especificamente às argamassas ou ainda ao revestimento de argamassa ainda é reduzido, se comparado a outros materiais de construção, como o concreto, por exemplo. A carência dessas normas tem como uma importante consequência a falta de padronização dos ensaios para a determinação de características essenciais do material, que refletem no comportamento do revestimento. Dentre essas características, destaca-se o seu módulo de deformação, que apesar de ser fundamental no comportamento do revestimento, ainda não há hoje um consenso no meio técnico quanto à sua determinação, o que dificulta tanto a comparação entre os valores dessa propriedade obtidos em estudos diferentes como também a sua interpretação.

O módulo de deformação de uma argamassa está diretamente ligado à sua capacidade de deformação. Essa propriedade expressa a capacidade da argamassa de se deformar sem que ocorra ruptura visível na sua estrutura interna. Além disso, em estando em sua fase elástica, o material retorna às dimensões iniciais quando cessam as solicitações que lhe são impostas (GODOY, BARROS, 1999). Apesar da importância dessa propriedade da argamassa, deve-se ressaltar que a capacidade de deformação de uma argamassa não deve ser avaliada somente tendo como base seu módulo de deformação, devendo a análise ser complementada com a avaliação da curva tensão versus deformação do material. Para argamassas de base cimentícia, tem-se, geralmente, que quanto menor o módulo de deformação, maior é a sua capacidade de

deformação; mas essa regra não vale para argamassas aditivadas com polímero, por exemplo (GODOY, BARROS, 1999).

Tanto para fins de revestimento quanto de assentamento, é necessário que a argamassa consiga se deformar sob ação de tensões geradas por carregamento, efeitos térmicos e de retração. Esta capacidade de deformação é ainda mais importante quando a argamassa é aplicada a uma base, pois ela fica impedida de se deformar pela aderência ao substrato geralmente poroso, o que implica no surgimento de tensões de tração. Caso a argamassa em questão não tenha uma capacidade de deformação compatível com a sua solicitação, o complexo estado de tensão causado pela restrição à sua deformação ocasionará fissuras no revestimento, o que pode comprometer seriamente a estética da construção, a sua estanqueidade e pode até, em casos mais graves, afetar a segurança e a estabilidade do revestimento (MEHTA, MONTEIRO, 1994).

Sendo assim, é possível notar a importância de se obter dados consistentes sobre o módulo de deformação de uma determinada argamassa. A uniformização da metodologia de ensaios para sua caracterização certamente trará dados mais confiáveis e seguros sobre o desempenho mecânico das argamassas e, por conseqüência, do próprio revestimento. Para tanto, é necessário que os ensaios propostos atualmente sejam adequadamente avaliados e também que sejam analisados o grau de confiança e a repetibilidade associados a cada um, para que se possa definir quais metodologias conduzem aos resultados mais consistentes. É justamente esta a temática do presente projeto de pesquisa, cujos objetivos são expressos na seqüência.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal dessa pesquisa é avaliar os métodos de ensaio propostos atualmente para a obtenção do módulo de deformação de argamassas, comparando-os entre si, analisando a confiabilidade de cada um e a repetibilidade dos seus resultados, de modo que se identifique aquele que melhor se adequa à avaliação dessa característica.

3 JUSTIFICATIVA

Os métodos de ensaio para a determinação do módulo de deformação de uma argamassa podem ser classificados em dois grandes grupos: o estático e o dinâmico e, como já mencionado, há muitas dúvidas quanto à qualidade e à confiabilidade dos resultados obtidos por esses diferentes métodos. Além disso, ainda não foram estabelecidas relações entre eles. Tudo isso dificulta comparações entre os resultados obtidos a partir de diferentes equipamentos e laboratórios, dificultando com isto a análise dessa propriedade física tão importante da argamassa, seja para fins comerciais ou de estudos científicos. Uma ilustração do panorama descrito encontra-se na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2, onde são apresentados os resultados compilados a partir de diferentes trabalhos.

Tabela 3.1 - Comparação dos diferentes valores de módulo de deformação em função do formato do corpo de prova (MOZÉR; BARROS, 1999)

Traço da argamassa	Formato e dimensões (cm) do corpo de prova	Módulo tangente inicial (Gpa)
1:1:6	Cubo (10x10x10)	11,874
1:1:6	Prisma (4x4x16)	4,016

Tabela 3.2- 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)	31,4	12,19
1:0,5:3,75	Prudêncio (1999)	9,52	6,972
1:1,3:5	Casali (2001)	6,42	6,299

Frente aos dados apresentados, tem-se que o estabelecimento da relação entre os diferentes métodos de avaliação do módulo de deformação é premente, o que justifica plenamente a realização da pesquisa que ora se apresenta, pois possibilitará a proposição de um ensaio padrão, o que facilitará a comparação futura de resultados obtidos de diferentes pesquisas.

Pretende-se, ainda, com os resultados deste trabalho, minimizar as divergências existentes hoje sobre as interpretações possíveis dessa característica das argamassas, colaborando, assim, para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o assunto e, ainda, para o estabelecimento de normalização técnica pertinente.

Para que se possa atingir o objetivo aqui proposto, apresenta-se, na seqüência, o plano de trabalho a ser desenvolvido.

4 PLANO DE TRABALHO

A seguir, estão descritas as etapas que deverão ser desenvolvidas para a consecução desta pesquisa.

4.1 Levantamento bibliográfico

Parte da bibliografia básica sobre o assunto já foi levantada; algumas foram já referenciadas neste plano de pesquisa e outras estão listadas ao seu final como

Bibliografia levantada. Uma breve revisão sobre os possíveis métodos de ensaio também já foi feita, apresentando-se a sua síntese no anexo "A".

O projeto será iniciado com a ampliação da pesquisa bibliográfica sobre o assunto, que será realizada principalmente na biblioteca da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Outras bibliotecas poderão servir também como fontes para pesquisa, tais como as bibliotecas da Associação Brasileira de Cimento Portland e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Outros meios serão utilizados, como informações disponíveis na internet e em CD-ROM, como, por exemplo, os anais dos SBTA's (Simpósios Brasileiros de Tecnologia de Argamassas).

4.2 *Estabelecimento da metodologia de ensaio*

A partir do levantamento bibliográfico, serão definidas mais precisamente as metodologias de ensaio que deverão ser avaliadas, estabelecendo-se, também com mais precisão, o número de ensaios necessários para cada método. Apenas para se ter uma ordem de grandeza dos ensaios a serem realizados, registra-se na Tabela 4.1 uma primeira proposta que poderá vir a ser alterada em função de dados que serão levantados a partir das bibliografias que ainda serão analisadas.

Será definida também a maneira de obtenção do módulo de deformação a partir da curva tensão versus deformação, quando não for possível extrair esse dado diretamente dos ensaios.

Todos os corpos de prova deverão ser ensaiados em uma só idade, pois não é objetivo deste trabalho avaliar a evolução do módulo, mas sim, saber como medi-lo. A idade inicialmente definida é a de 28 dias; no entanto, esta poderá ser alterada em função de alguma informação específica que venha a ser obtida da bibliografia que está sendo levantada e que deverá ser estudada.

Tabela 4.1 – Proposta de ensaio com os respectivos corpos 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	

4.3 Definição dos materiais e dos corpos de prova

Baseando-se na metodologia de ensaio proposta, definir-se-ão os traços a serem utilizados nos corpos de prova em estudo e o número de corpos de prova a ser submetido a cada tipo de ensaio. Desse modo, haverá conhecimento da quantidade de material necessário para realizar a pesquisa.

Todo o material necessário à pesquisa será fornecido pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, a partir de convênios pré-estabelecidos com empresas parceiras.

4.4 Realização dos ensaios

Os ensaios serão realizados nos laboratórios do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica (PCC), que dispõe de toda a infra-estrutura necessária, inclusive dos equipamentos mais sofisticados como o ultra-som e o osciloscópio necessário à frequência de ressonância.

Os ensaios serão desenvolvidos de acordo com a metodologia descrita e o cronograma estabelecido, utilizando-se as normas pertinentes quando existirem ou ainda procedimentos que tenham sido padronizados em pesquisas relativas ao tema.

Todo o programa experimental será realizado sob supervisão da orientadora, professora Mercia Maria Bottura de Barros.

4.5 Análise dos resultados obtidos

A partir dos resultados obtidos com cada metodologia de ensaio, serão realizadas comparações entre os módulos de deformação fornecidos. Os dados serão avaliados quantitativamente, e também serão comparados uns aos outros. Assim, será possível definir o grau de confiança que se pode associar a cada um dos métodos de ensaio, que é o objetivo da pesquisa.

5 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5.1 Levantamento e análise da bibliografia	■	■	■	■								
5.2 Obtenção e caracterização dos materiais				■								
5.3 Moldagem dos corpos de prova					■	■	■					
5.4 Realização dos ensaios						■	■	■				
5.5 Análise dos resultados									■	■	■	
5.6 Elaboração dos relatórios parcial (6º. mês e final 12º. mês)						■						■

6 MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, serão realizados ensaios de caracterização dos materiais. Os métodos de ensaio serão os definidos na seqüência.

6.1 Caracterização no estado anidro

Para o cimento, serão realizados os seguintes ensaios:

- massa específica, realizada em picnômetro de gás Hélio;
- massa unitária, de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982).

Para a cal, serão realizados os seguintes ensaios:

- massa específica, realizada em picnômetro de gás Hélio;
- massa unitária, de acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982)
- resíduo insolúvel (NM -15, 2004).

Já para a areia, serão feitas as seguintes caracterizações, considerando-se que se irá trabalhar com a areia seca.

- granulometria NBR 7217 (ABNT, 1987);
- massa específica, realizada em picnômetro de gás Hélio;
- massa unitária NBR 7251 (ABNT, 1982);

6.2 Caracterização no estado fresco

Para essa caracterização, serão realizados os ensaios enumerados a seguir:

- Ensaio de consistência pelo “dropping ball”, segundo a BS 4551 (BSI, 1980);
- Densidade de massa aparente, segundo a NBR 13278 (ABNT,2005).

6.3 Caracterização no estado endurecido

A densidade de massa aparente dos corpos de prova será determinada de acordo com a NBR 13280 (ABNT,2005).

Os ensaios a serem realizados para a caracterização da resistência mecânica dos corpos de prova estão, em princípio, listados na Tabela 4.1.

7 FORMA DE ANÁLISE DOS RESULTADOS

Depois de realizados os ensaios mencionados, os resultados serão avaliados em relação a sua confiabilidade e repetibilidade. Os dados serão comparados entre si, de forma a relacionar dados obtidos de diferentes métodos de ensaio. A metodologia que será adotada para se realizar essa correlação será definida a partir do levantamento bibliográfico que está sendo feito.

A partir da avaliação feita dos resultados, será possível definir o método de ensaio mais adequado para a medição do módulo de deformação de argamassas.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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

_____. **Projeto de Estrutura de madeira – NBR 7190.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. **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.

_____. **Cal hidratada para argamassa; determinação da retenção de água – NBR 9290.** Rio de Janeiro, 1986.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos; determinação da densidade da massa e do teor de ar incorporado – NBR 13278.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **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 - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIATION FRANCAISE 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.

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

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

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

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. .

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – estruturas, 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.

MOSER, R; BARROS. **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).

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

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.

9 OUTRAS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

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.

Komlős, K; et al. **Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards.** Junho, 1996.

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).

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”:

Síntese dos métodos de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassa.

Os métodos de ensaio para a determinação do módulo de deformação de uma argamassa podem ser classificados em dois grandes grupos: o estático e o dinâmico.

Entre os métodos estáticos, constam:

- Módulo de deformação à compressão: o corpo de prova é submetido a uma aplicação de carga de compressão, feita por uma prensa de laboratório, enquanto sua deformação é medida (por meio de pastilhas metálicas, extensômetros ou captadores de deformação). Desse modo, é traçada a curva tensão-deformação do material (BASTOS, 2003);
- Módulo de deformação à tração: o ensaio consiste em aplicar um esforço longitudinal de tração no corpo de prova e medir, concomitantemente, a deformação correspondente na mesma direção (situação ilustrada na figura A.1). O mesmo ensaio permite extrair a resistência à tração do material (BASTOS, 2003). Entretanto, é um ensaio de difícil realização, pois, como a argamassa não resiste bem à tração, o corpo de prova se romperia para níveis de tensões muito baixos – assim, a deformação causada pelos esforços antes da ruptura exigiria equipamentos extremamente precisos para sua medição;

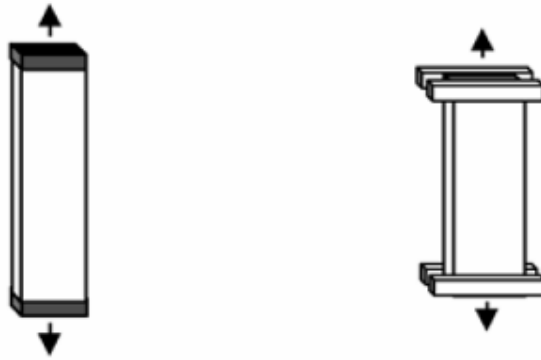


Figura A.1 - desenho ilustrativo do ensaio de tração direta (BASTOS, 2003)

- Módulo de deformação à tração na flexão: aplica-se verticalmente uma carga distribuída uniformemente na seção transversal do meio do corpo de prova biapoiado (figura A.2). É medido o deslocamento vertical (flecha) causado pelo carregamento e, a partir desse dado, é obtido o módulo de deformação, através da equação A.1 (BASTOS, 2001):

$$E = PL^3/4\delta bh^3 \quad (\text{equação A.1})$$

onde:

- E – módulo de deformação (MPa)
- P – carga aplicada no meio do corpo de prova (N)
- L – distância entre os apoios do corpo de prova (mm)
- b – maior lado da seção transversal do corpo de prova (mm)
- h – espessura do corpo de prova (mm)
- δ – flecha no meio do corpo de prova, medida durante o ensaio de flexão (mm).

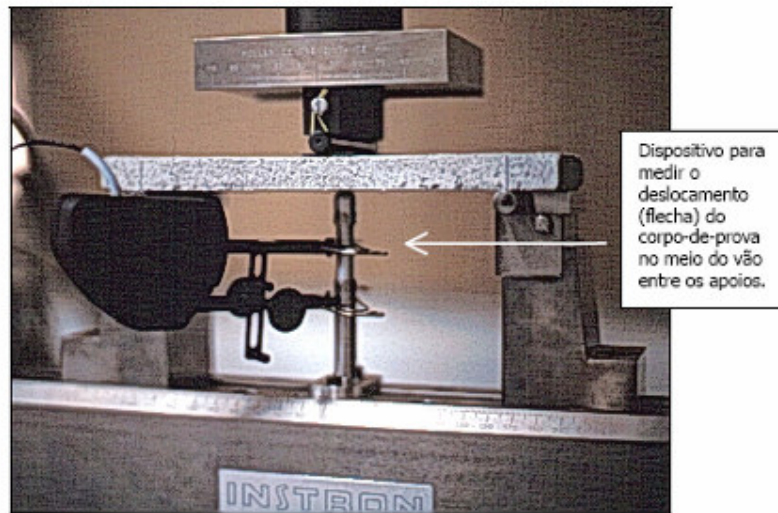
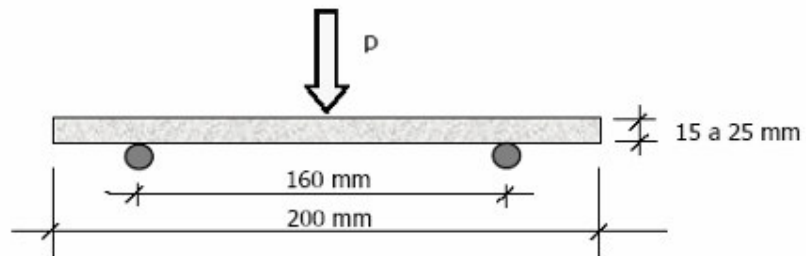


Figura A.2 - desenho esquemático e foto do ensaio do módulo de deformação à tração na flexão (BASTOS, 2001)

Já entre os métodos dinâmicos, é possível listar:

- Emissão de pulsos elétricos: um transdutor-emissor, em contato direto com o corpo de prova, transforma o pulso elétrico emitido em uma onda de choque, que atravessa o corpo de prova até um transdutor-receptor, que converte novamente a onda de choque ampliada em pulsos elétricos. O aparelho fornece o tempo que a onda leva para atravessar o corpo de prova (figura A.3). Sendo assim, o módulo de deformação é determinado a partir da velocidade do som, a partir da equação A.2. Como se pode notar, é necessário o conhecimento do coeficiente de Poisson do material, que deve ser previamente determinado (BASTOS, 2003). Entretanto, para argamassas de base cimentícia, sabe-se que o coeficiente de Poisson é

aproximadamente 0,2, e portanto não são necessários ensaios para determinar esse dado.

$$E = \gamma \cdot v^2 \cdot K \quad (\text{equação A.2})$$

onde:

- E - módulo de deformação (MPa)
- V - velocidade do som (km/h)
- γ - densidade do corpo (kg/m^3)
- K - $((1+\mu) \cdot (1-2\mu)) / (1-\mu)$
- μ - coeficiente de Poisson

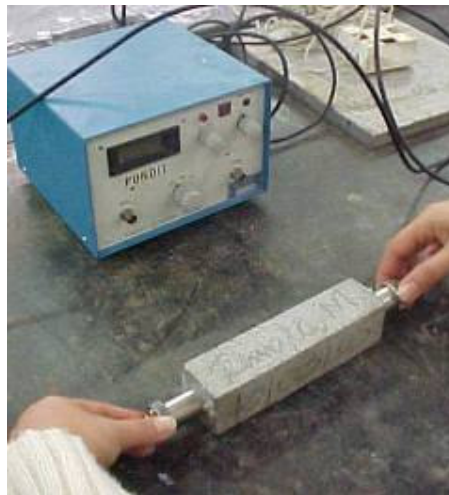


Figura A.3 - Foto da realização de ensaio do módulo de deformação por pulso elétrico (MONTE, 2005)

- Ensaio de frequência ressonante: um aparelho específico emite ondas vibratórias que atravessam longitudinalmente o corpo de prova de argamassa. Variando-se a frequência, é possível determinar a frequência fundamental de vibração longitudinal e, a partir desse dado e de equações matemáticas, encontra-se o módulo de deformação do material (BASTOS, 2003). Esse ensaio dispensa a medida do

coeficiente de Poisson; contudo, exige equipamentos mais caros para sua realização.

Os ensaios dinâmicos apresentam certas vantagens em relação aos métodos estáticos: são não-destrutivos, e, portanto, permitem um acompanhamento do corpo de prova em longos períodos de tempo, e são também de simples realização. Entretanto, os ensaios estáticos reproduzem as condições em que as argamassas irão operar na prática (BASTOS, 2003). Além disso, praticamente todas as pesquisas nacionais realizadas até hoje se baseiam somente no módulo estático, e, com isso, não há referências seguras sobre os dados dinâmicos. Não obstante, os equipamentos são diferentes e não se sabe ainda se reproduzirão os mesmos resultados. Sendo assim, para se avaliar a confiabilidade de cada método de ensaio, principalmente dos métodos dinâmicos, em relação aos quais ainda há muitas dúvidas, será necessário realizar tanto ensaios estáticos como dinâmicos, e relacionar os módulos de deformação obtidos com cada método, ou seja, avaliar a repetibilidade dos resultados fornecidos por cada um.

Para isso, deverão ser analisados corpos de prova distintos, de diferentes proporções e traços, de forma a se obterem dados suficientes para, então, comparar quantitativamente o comportamento do módulo de deformação das argamassas quando submetidas aos diferentes ensaios.