

POLI USP

Argamassas

PCC 3222
2023

Quiz de dosagem



<https://forms.gle/UhMPJc1tbMEu1TEe6>

Objetivos da aula

- . Entender o que é argamassa e seus componentes, os diferentes tipos de argamassas, e formas de preparo
- . Discutir as propriedades de um sistema de revestimento de argamassa e os riscos associados às patologias

Tipos de argamassas: funções, formas de produção

Argamassas

são materiais de construção, com propriedades de **aderência** e **endurecimento**” obtidas a partir da mistura homogênea de um ou mais **ligantes, agregados miúdos e água**, podendo conter ainda **aditivos, fibras e fíleres**.

Aplicações de argamassas

Assentamento



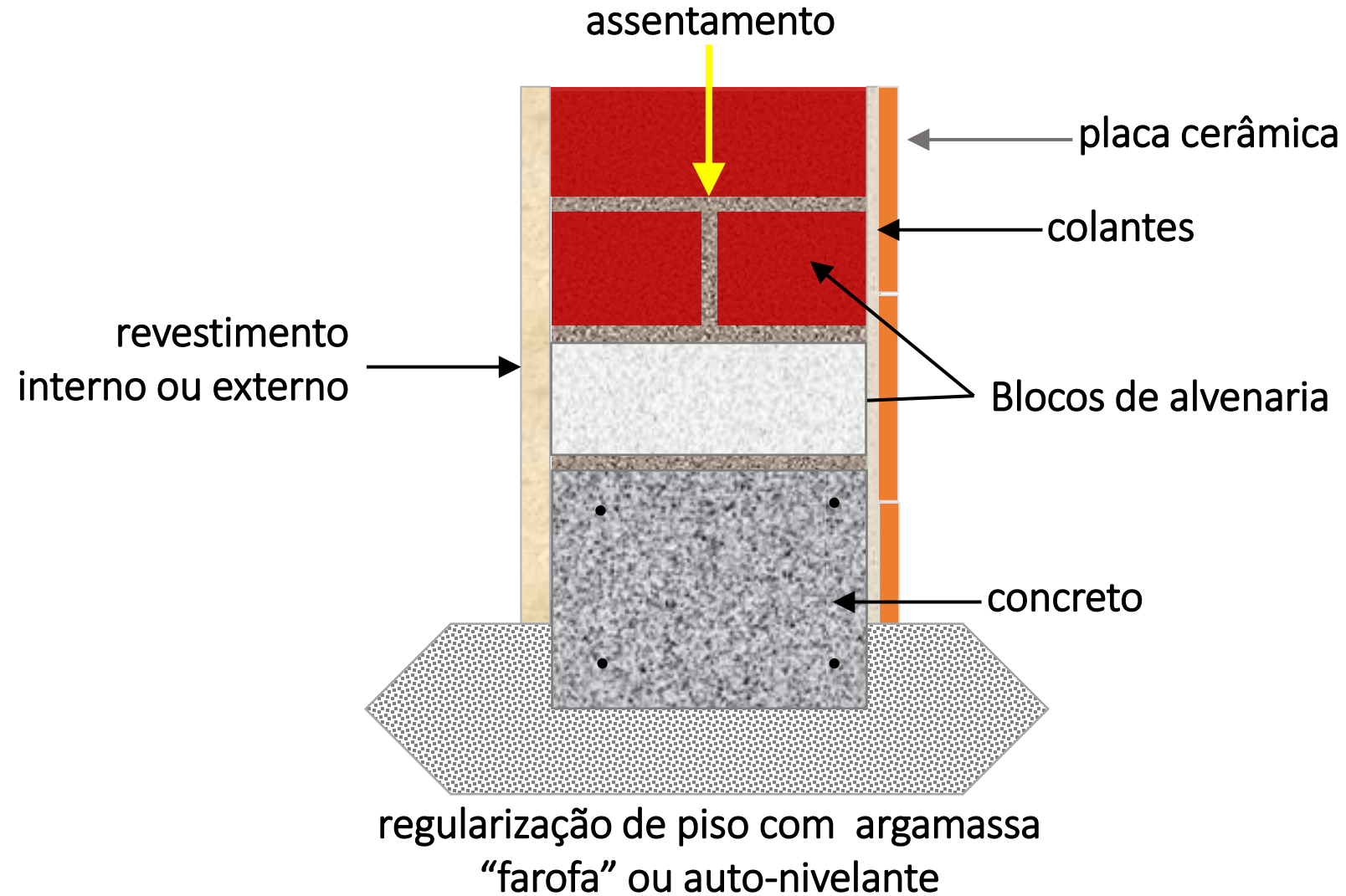
Revestimento



Colante

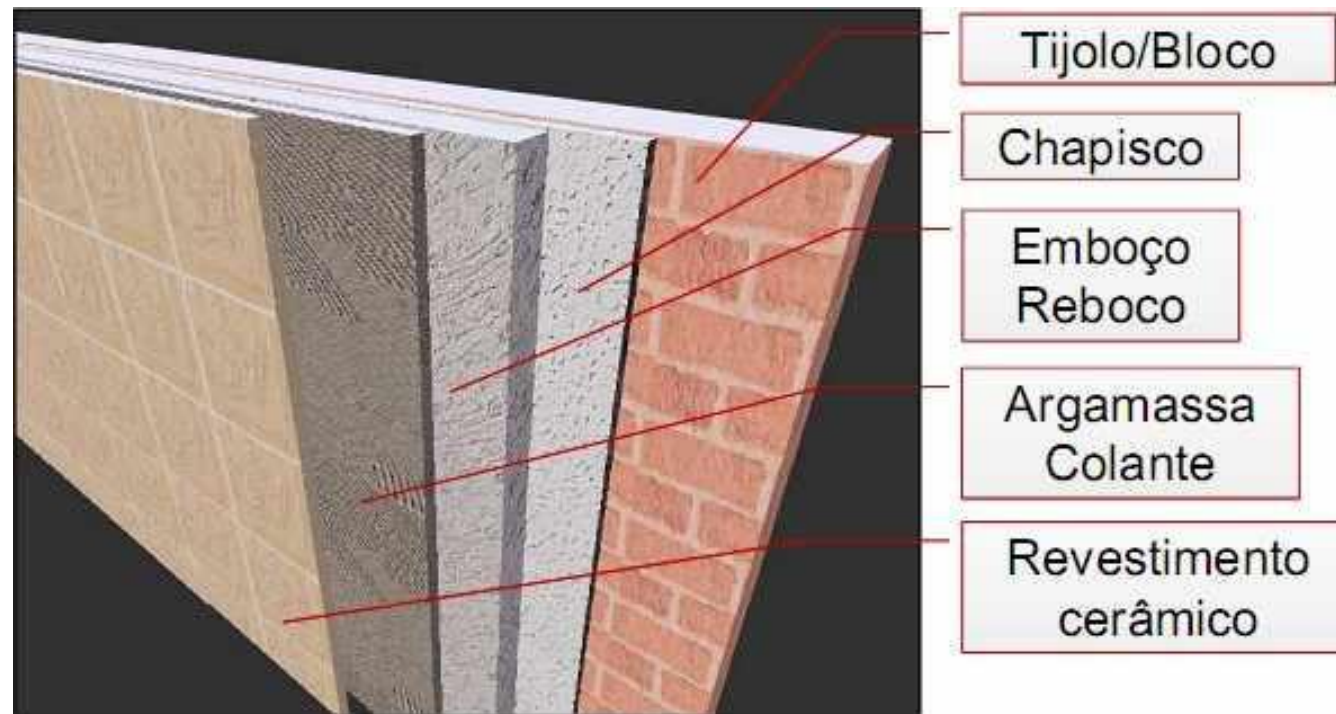


Funções das argamassas



Revestimento de paredes e tetos

- “Sistema” de revestimento de paredes e tetos



Assentamento de alvenarias

Argamassa de assentamento



Argamassa de fixação e encunhamento



Funções das argamassas

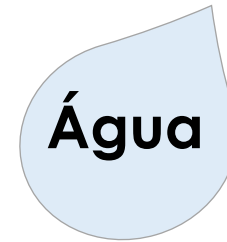
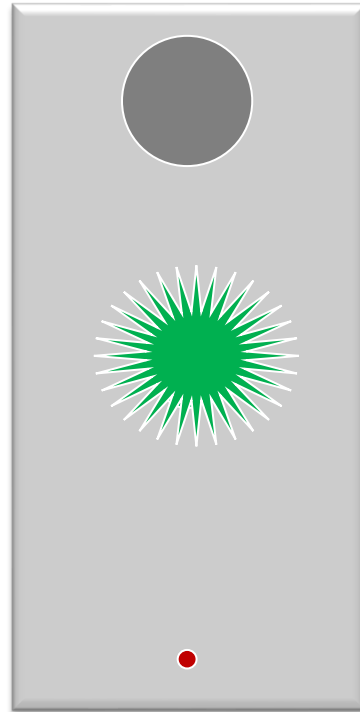
- Unir os elementos de alvenaria e placas cerâmicas,
- “Absorver” as variações dimensionais
- Distribuir com uniformidade as cargas que atuam na parede
- Suportar as deformações que a alvenaria.
- Garantir acabamento superficial, planeza, regularidade
- Colaborar no controle penetração de água.

Composição das argamassas: agregados < 4,8mm

Agregado miúdo
(0,075~0,1 a 4,8 mm)

Cimento (“finos”)
(<75 micrometro)

Fíleres ou cal (ultrafinos)
(< 10 micrometro)



Argamassa



Argamassa com cimento Portland

Cimento Portland

- Principal ligante utilizado nas argamassas atualmente
- Características dos cimentos Portland mais indicadas para as argamassas?
 - Pega e consolidação mais rápidas,
 - Reduzido tempo de cura
 - CII 32 é suficiente
- Contem aditivos (incorporador de ar) ou outros ultrafinos

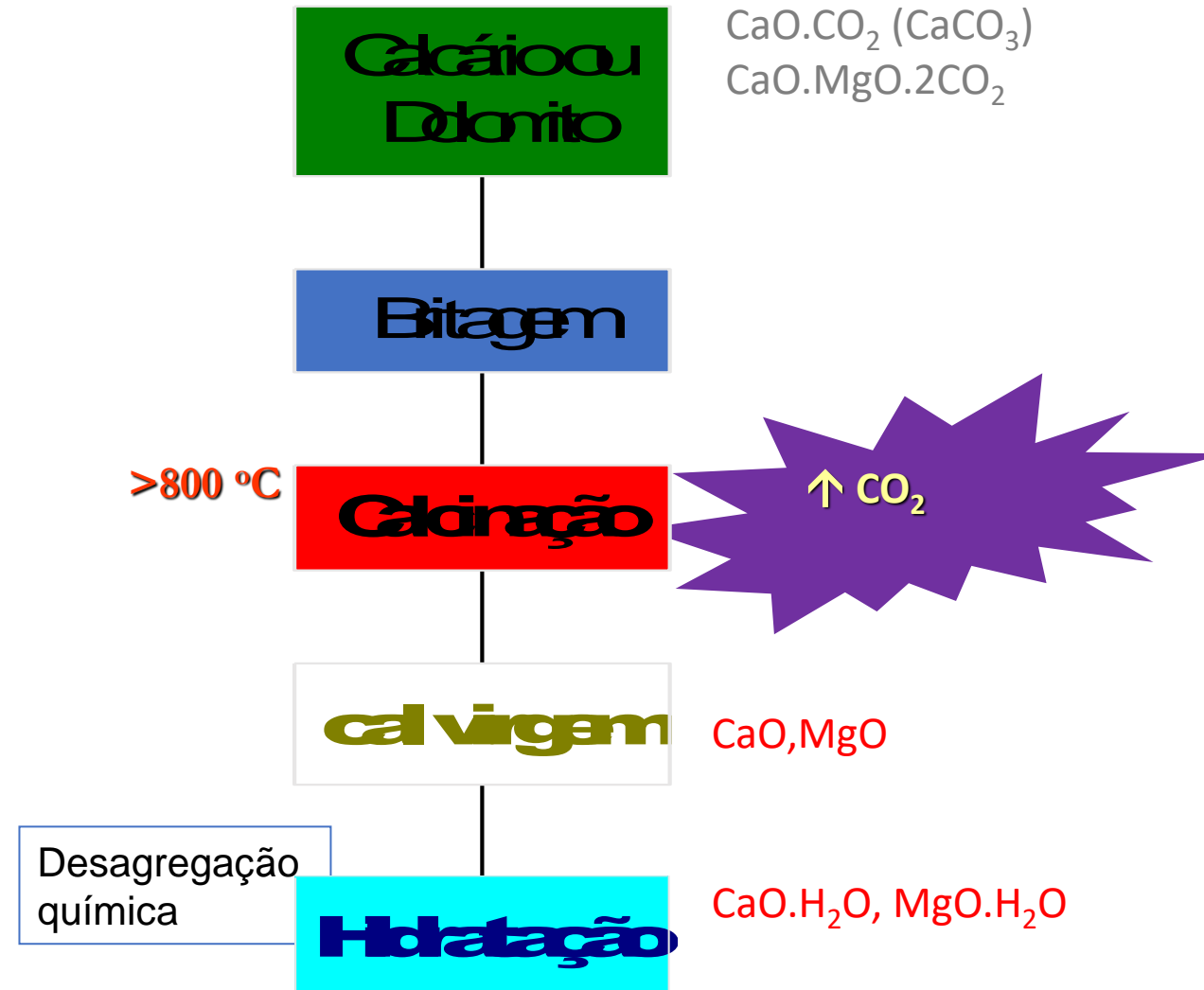
Argamassa com cimento e cal hidratada

Argamassas originais eram de cal. Endurecimento é muito lento. Resistência baixa.

Argamassas de cimento puro não funcionam direito: ultrafinos (cal hidratada, fileres, siltes, argilominerais...) e aditivos são necessários.

O que é a cal hidratada?

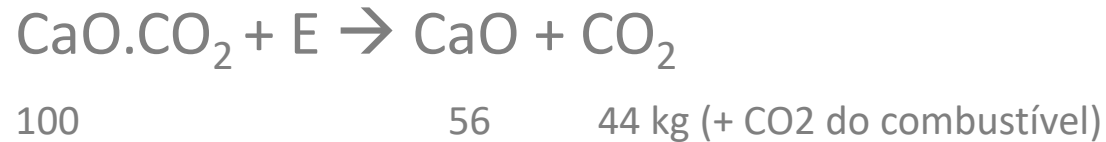
- Pó mais fino que o cimento produzido pela calcinação do calcário e hidratação dos óxidos
- Estado fresco
 - Plasticidade
 - retenção de água
- Estado endurecido
 - resistência mecânica



Cal hidratada endurece por reação com o CO₂ do ar

submersa em água, seca ou saturada, não endurece.

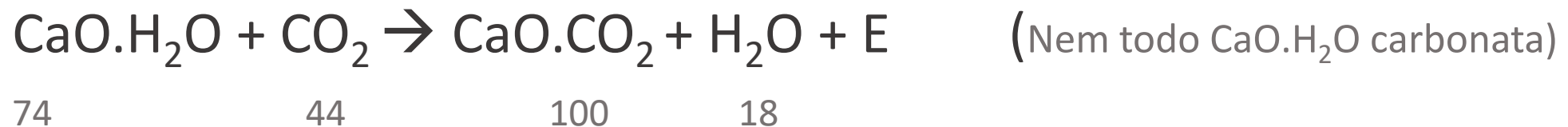
- Calcinação



- Hidratação



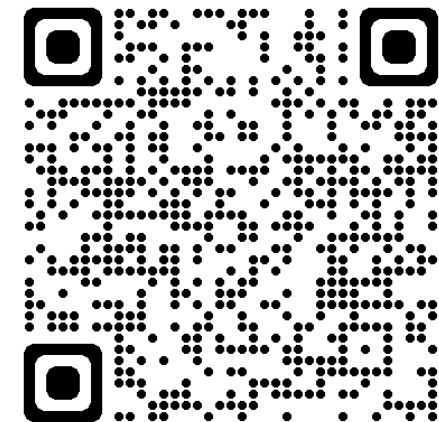
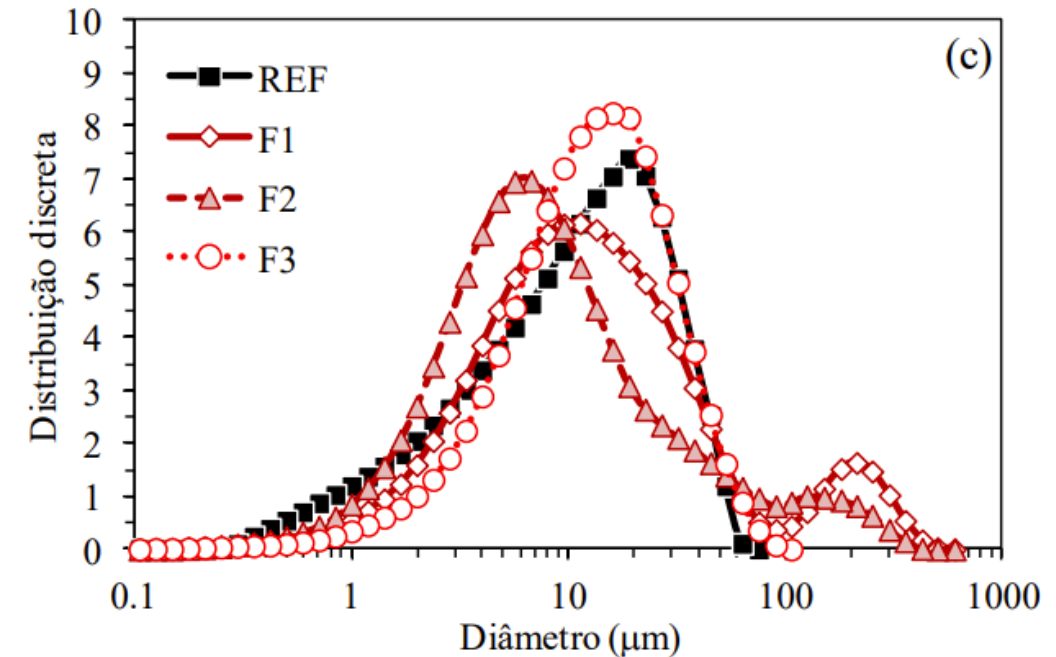
- Carbonatação



Fíleres ultrafinos

| Aula cimento e adições |

- Produtos de área específica (g/cm^2) mais alta que o cimento
- Sem efeito químico (reação)
- Aumentam coesão das argamassas, alterando a reologia trabalhabilidade, reduzindo módulo de elasticidade
- Em argamassas: filitos (siltes), argilominerais (arenosos em algumas regiões), filer calcário, ...



Romano et al 2014

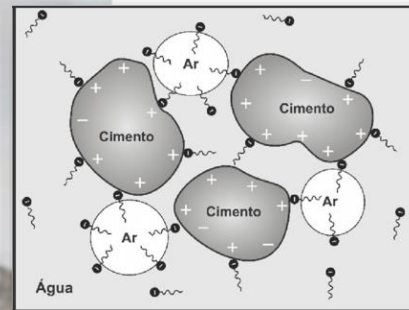
Aditivos – Incorporadores de ar

Dependem de agitação mecânica

Sem ar incorporado

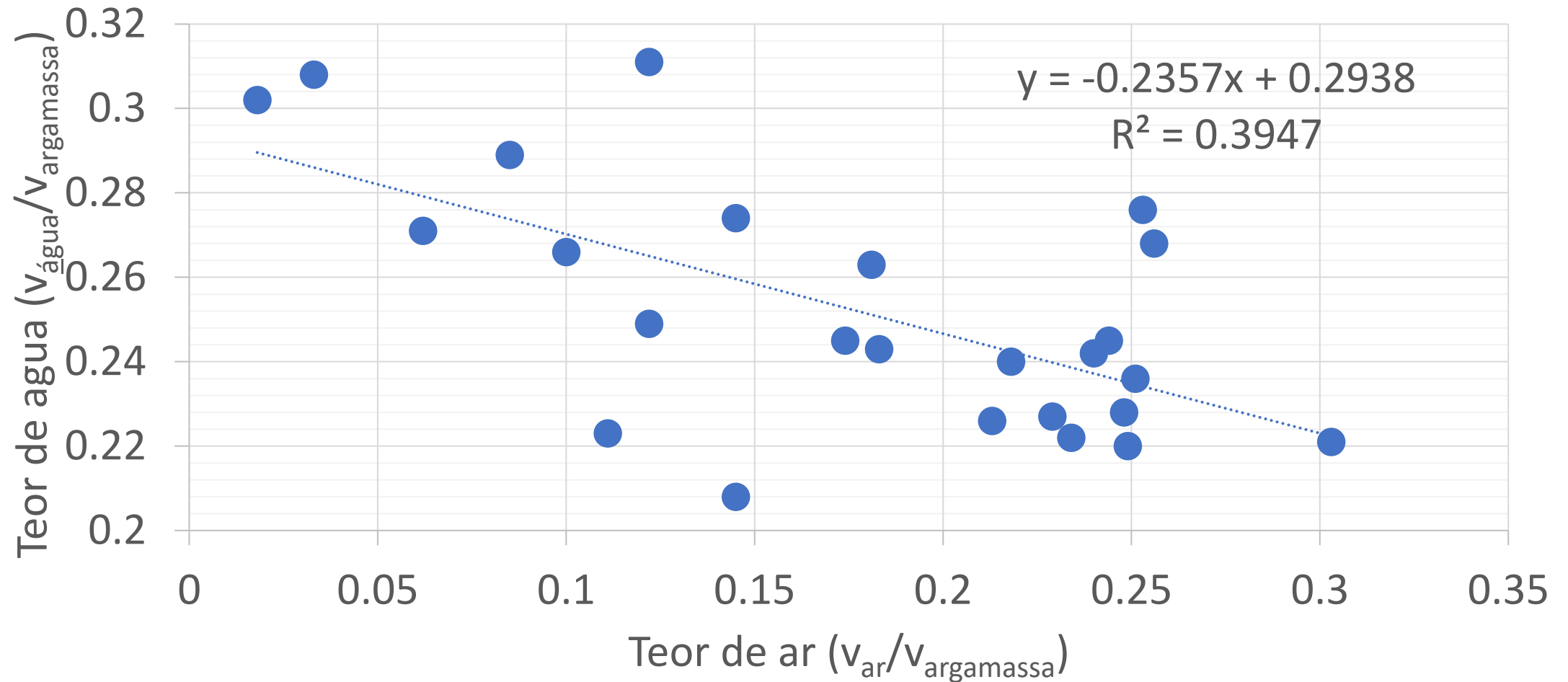


Com ar incorporado



Desmaterialização (volume \gg \sim 20%) + Melhor trabalhabilidade
(menor densidade, menor módulo de elasticidade, menor resistência)

Teor de água volumétrico vs teor de ar incorporado

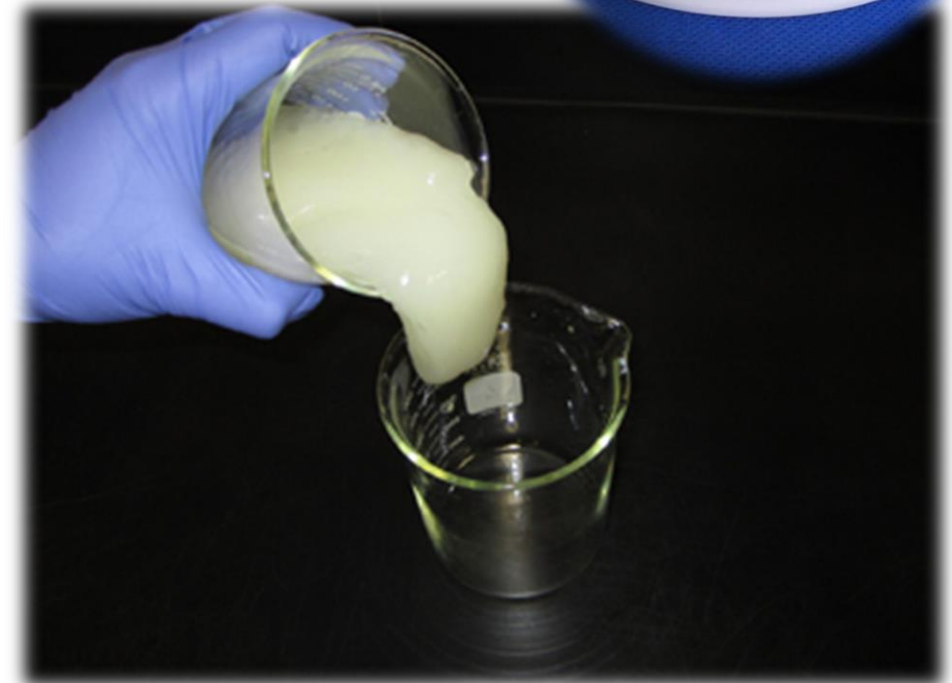


Tese: Fabio Alonso Cardoso (2009)

Aditivos modificadores de viscosidade da água

formadores de gel a temperatura ambiente

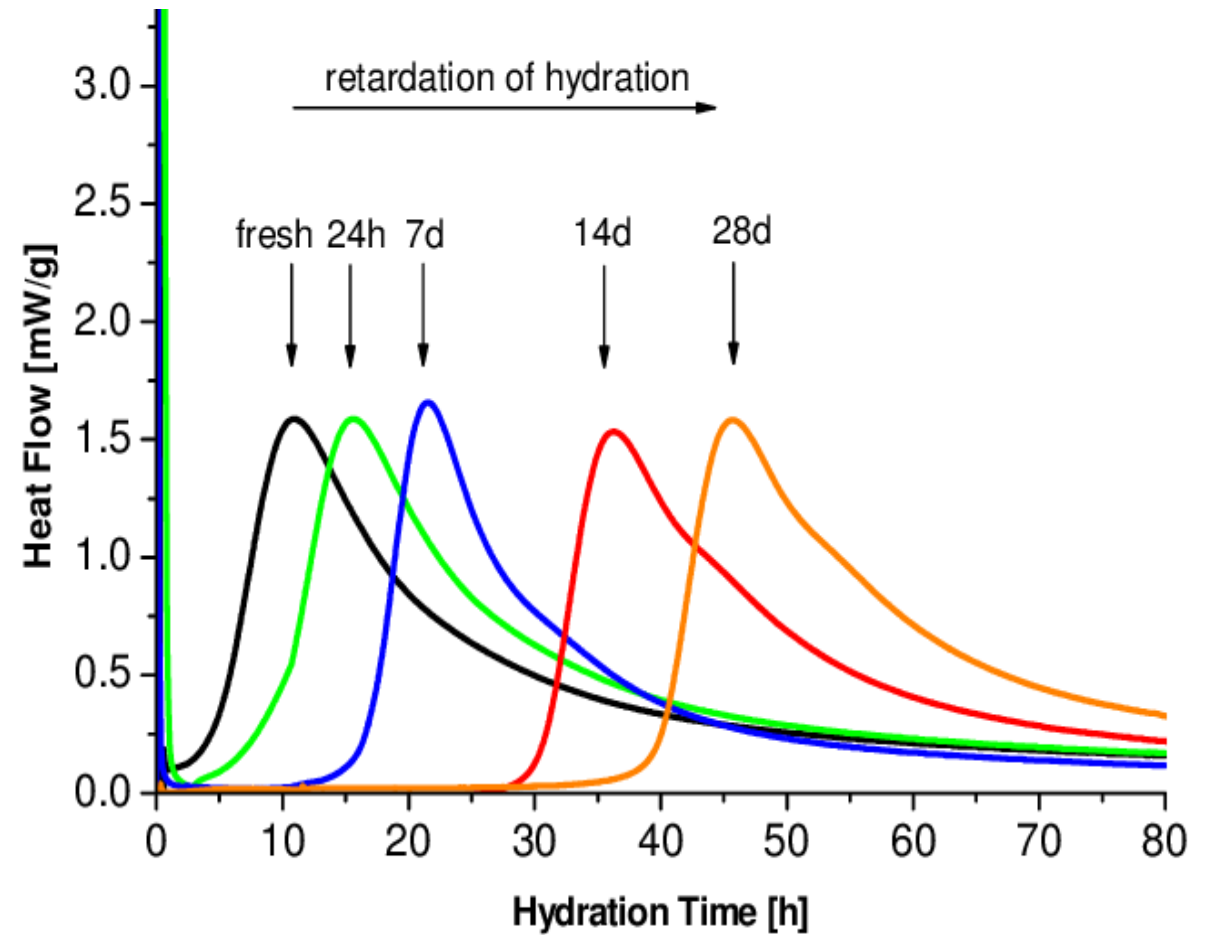
- Essenciais nas argamassas colantes
- Lubrificam o sistema (formando um gel)
 - ↑ Plasticidade
 - ↑ Coesão
 - ↑ Capacidade lubrificante
 - ↑ Retenção de água
 - ↓ Segregação
- Ex. Éteres de celulose



Gel aquoso

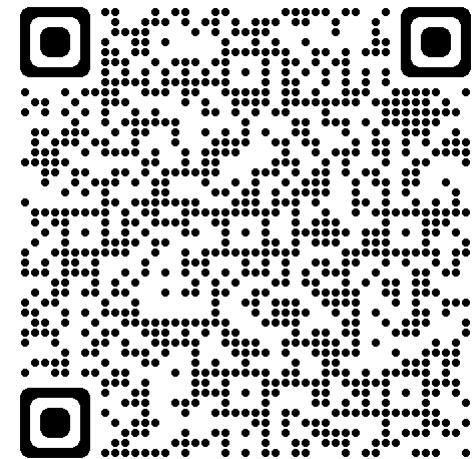
Outros aditivos

- Retardadores: controlam a pega e endurecimento
- Hidrofugantes: mudam o ângulo de contato com a água líquida



Rotas de produção de argamassa

Produção em obra (~90% do mercado)



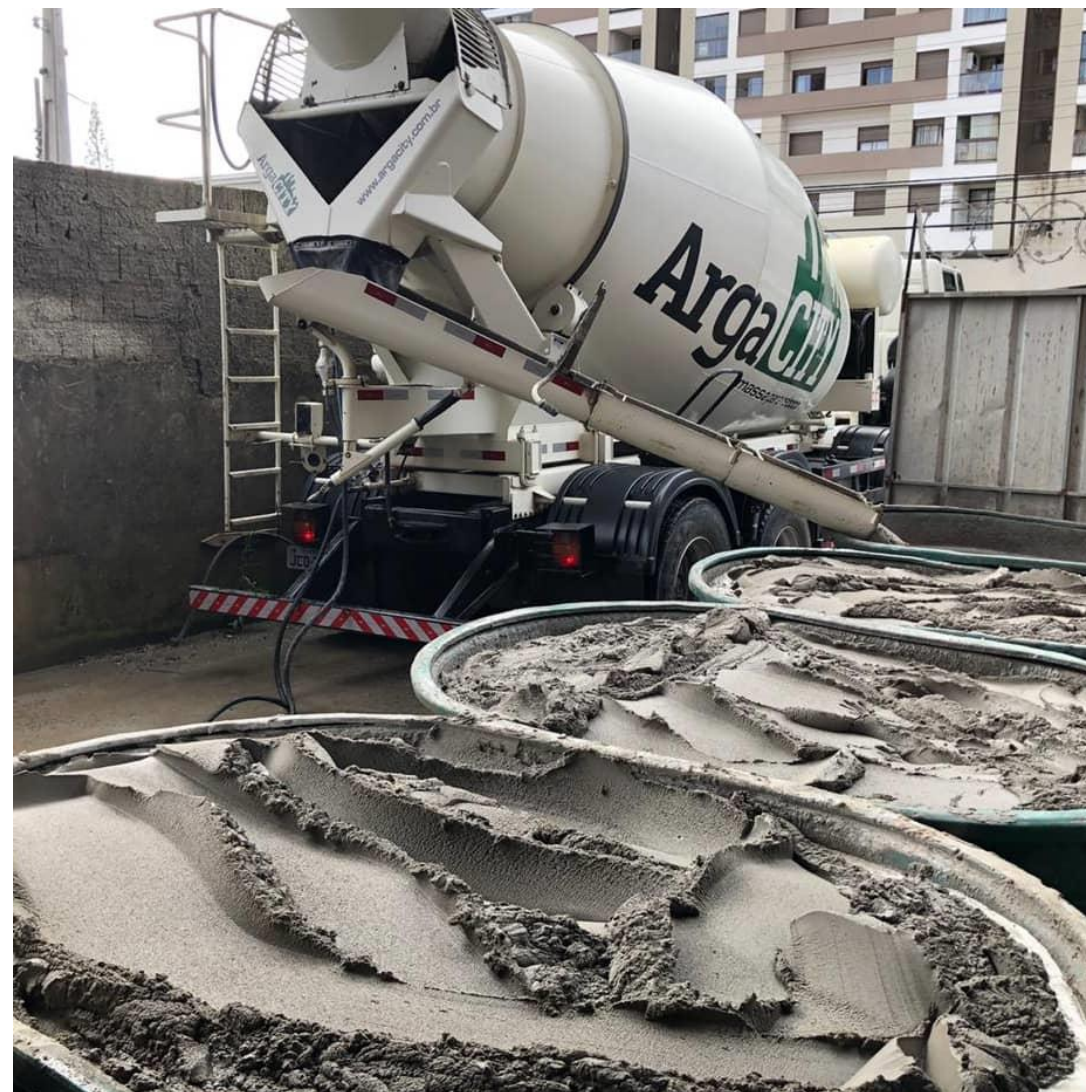
Argamassa produzida em obra

- Assentamento e revestimento
- Formulação prática não otimizada
- Elevadas perdas de materiais
- Informalidade da areia e finos
- Controle de qualidade baixo ou inexistente
- **Baixa produtividade**
- Alto impactos ambientais

Dosada em central (úmida)

Com aditivo retardador (12 a 72h) e ar incorporado

- Formulação otimizada
- Maior produtividade
- Prontas para aplicação
- Custo competitivo



Industrializada (mistura seca, dosagem em massa)



Argamassa Colante: assentamento de peças cerâmicas

- Muitos aditivos
- Modificador de viscosidade, polímeros
 - Facilita aplicação
 - Retem a água
- Tempo em aberto limitado

Uso interno

Rígida → ACI

Flexível → ACII

Uso externo

Flexível → ACIII

Bicomponente → ACIIIe



Quiz - Argamassa



<https://forms.gle/e8SEbjhfzNJsHE2f9>

Exercício: argamassa

Em uma obra, é utilizado o traço em volume (em padiolas) 1:1:6:1,5 (cimento: cal: areia: água) para fazer a argamassa.

- Estimar o consumo de cimento e cal (kg por metro cúbico)
- Qual o impacto da variação do ar incorporado 2%, 10% e 25% do volume total da argamassa no consumo de ligantes? **Qual o impacto no consumo de água de amassamento?**
- Dados:
 - Massa unitária (aparente) do cimento = 1 kg/dm³
 - Massa unitária (aparente) da cal = 0,5 kg/dm³
 - Massa unitária (aparente) da areia = 1,5 kg /dm³
 - Massa específica do cimento = 3,1 kg/dm³
 - Massa específica da cal = 1,8 kg/dm³
 - Massa específica da areia = 2,6 kg /dm³

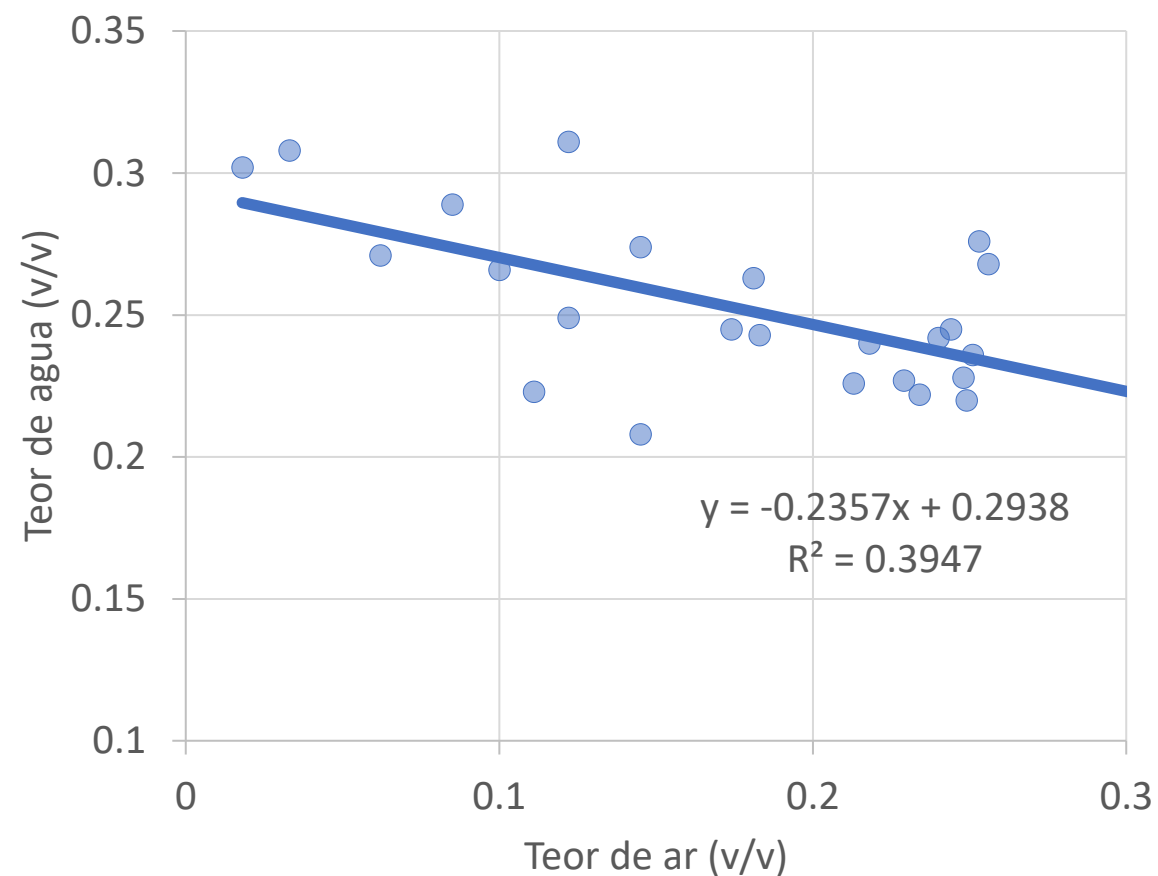
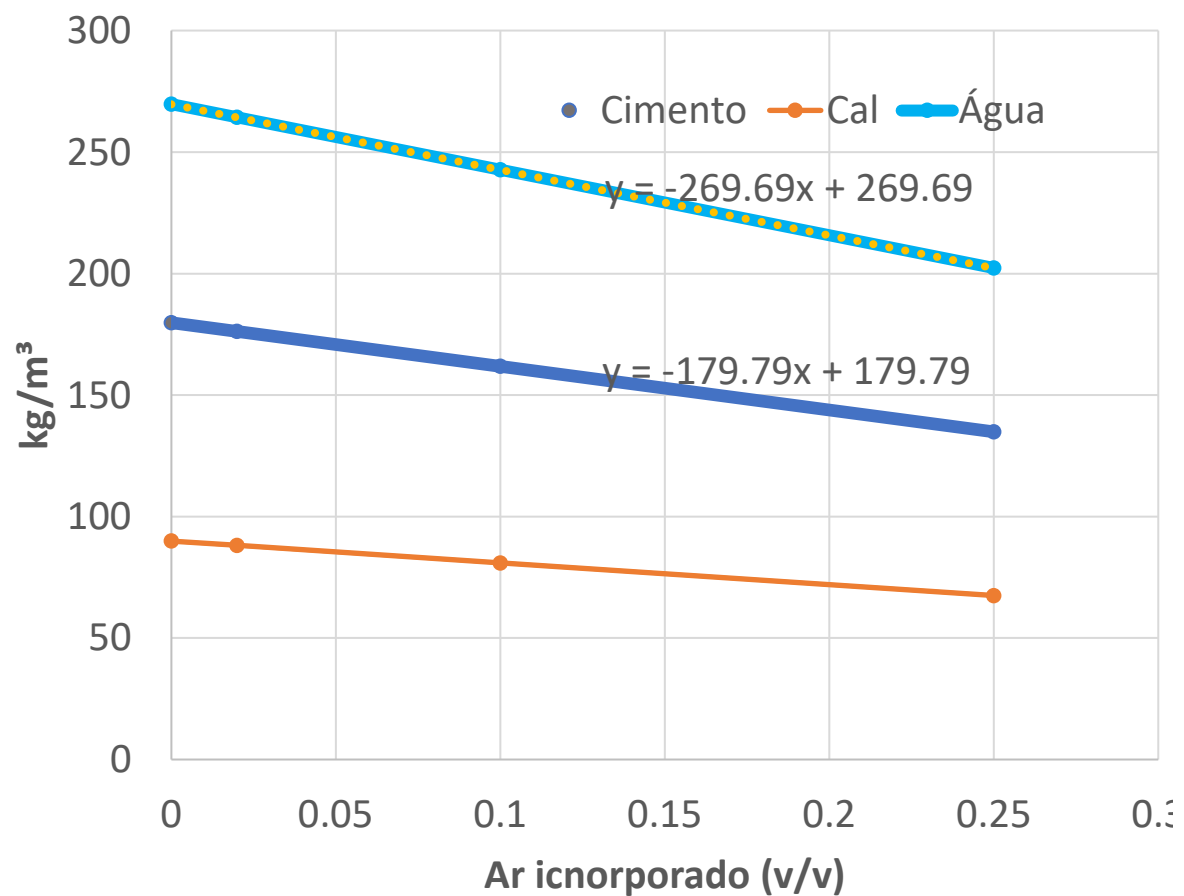
Exercício: argamassa

Regra de três:
 1 kg – 5,56 dm³
 X kg – 1000 dm³

Materiais	Traço dado (volume solto - dm ³)	Massa unitária (kg/dm ³)	Traço em massa (kg)	Massa específica (kg/dm ³)	Volume (dm ³)	Consumo (kg/m ³)
Cimento	1	1	1	3,1	0,32	180
Cal	1	0,5	0,5	1,8	0,28	90
Areia	6	1,5	9	2,6	3,46	1618
Água	1,5	1	1,5	1	1,50	270
	9,5		12		5,56	2158

	Consumo com ar incorporado		
Teor de ar	2%	10%	25%
Cimento	176	162	135
Cal	88	81	68
Areia	1586	1456	1214
Água	265	243	203

Influência do Var no consumo de materiais

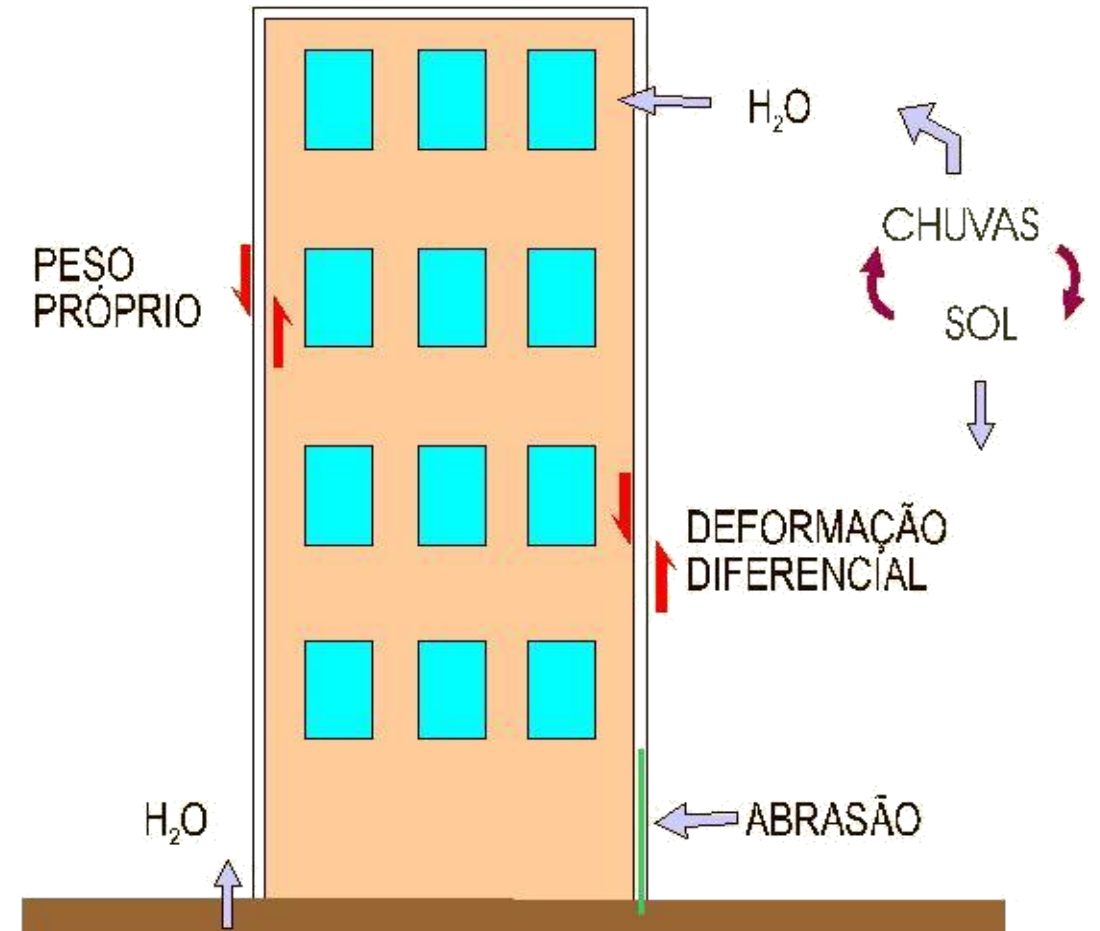


Tese: Fabio Alonso Cardoso (2009)

Desempenho dos revestimentos de argamassa

Revestimentos com argamassas.

- Fatores atuando na fachada



Problemas comuns:



RISCO DE ACIDENTES



Estética e estanqueidade

NBR 13281-1 (2023)

Documento visualizado em 20/11/2023 10:59:45, de uso exclusivo de UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - SEF

**NORMA
BRASILEIRA**

**ABNT NBR
13281-1**

Primeira edição
15.02.2023

**Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos
de ensaios
Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes
e tetos**

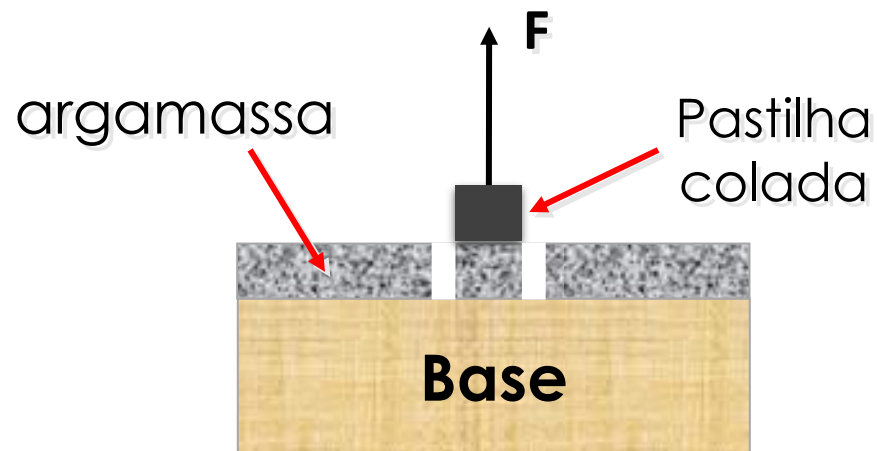
NBR 13281-1 (2023)

Tabela 1 – Requisitos classificatórios e informativos

Argamassa para revestimento de paredes e tetos ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET			
Requisitos classificatórios		Requisitos informativos	
		Estado fresco	Retenção de água (4.1.1)
			Densidade de massa no estado fresco (4.1.2)
			Teor de ar incorporado (4.1.2)
			Tempo de uso (4.1.3)
Estado endurecido	Resistência potencial de aderência à tração ao substrato (4.2.1.1)	Estado endurecido	Densidade de massa no estado endurecido (4.2.2.1)
	Resistência potencial à tração superficial (4.2.1.2)		Resistência à tração na flexão (4.2.2.2)
	Módulo de elasticidade dinâmico (4.2.1.3)		Coefficiente de absorção de água por capilaridade (4.2.2.3)
	Variação dimensional (retração ou expansão linear) (4.2.1.4)		Fator de resistência à difusão de vapor de água (4.2.2.4)

Resistência Potencial de Aderência à tração NBR 13528 (2010)

- Corpo de prova
 - cilíndrico ϕ 5 cm
 - quadrado 10 x 10 cm



Resistencia de aderência - NBR 13749

Tabela 2 – Limites de resistência de aderência à tração (*Ra*) para emboço e camada úmida

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

5.7.1 Avaliar a aderência dos revestimentos acabados por ensaios de percussão, realizados através de impactos leves, não contundentes, com martelo de madeira ou outro instrumento rijo. A avaliação deve ser feita em cerca de 1 m², sendo a cada 50 m² para tetos e a cada 100 m² para paredes. Os revestimentos que apresentarem som cavo nesta inspeção, por amostragem, devem ser integralmente percutidos para se estimar a área total com falha de aderência, a ser reparada.

5.7.2 Sempre que a fiscalização julgar necessário, devem ser realizados ou solicitados a laboratório especializado a execução de ensaios de resistência de aderência à tração, conforme ABNT NBR 13528, em pontos escolhidos aleatoriamente, a cada 100 m² ou menos da área suspeita. O revestimento desta área deve ser aceito se de cada grupo de 12 ensaios realizados (com idade igual ou superior a 28 dias) pelo menos oito valores forem iguais ou superiores aos indicados na Tabela 2.

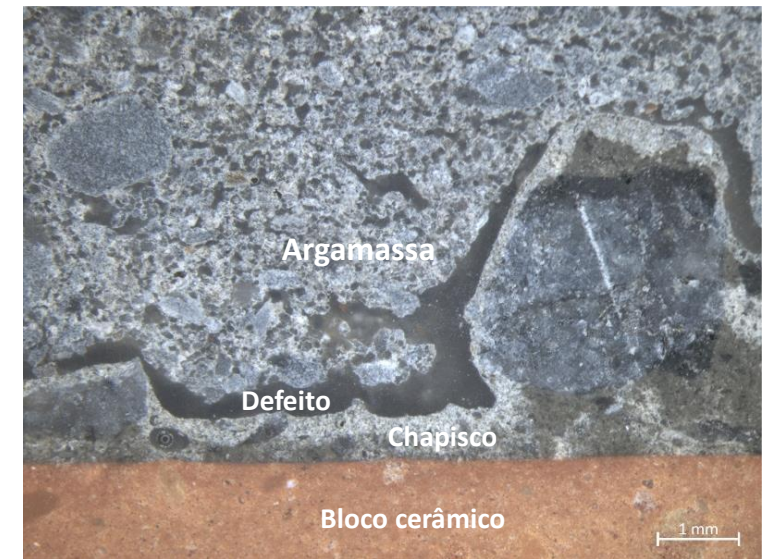
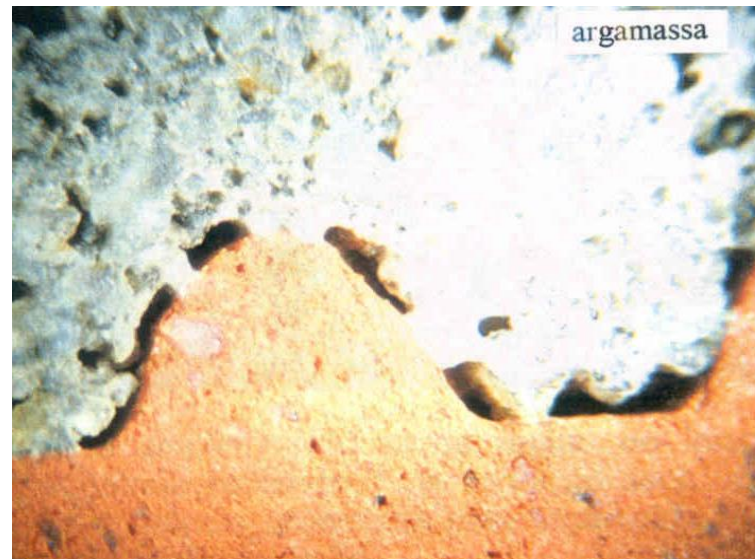
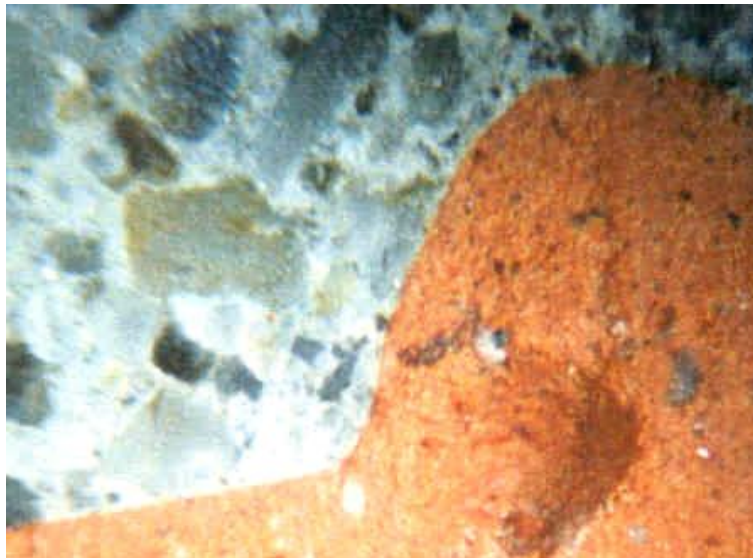
Como garantir a aderência dos revestimentos de argamassas?

Problemas de aderência no substrato

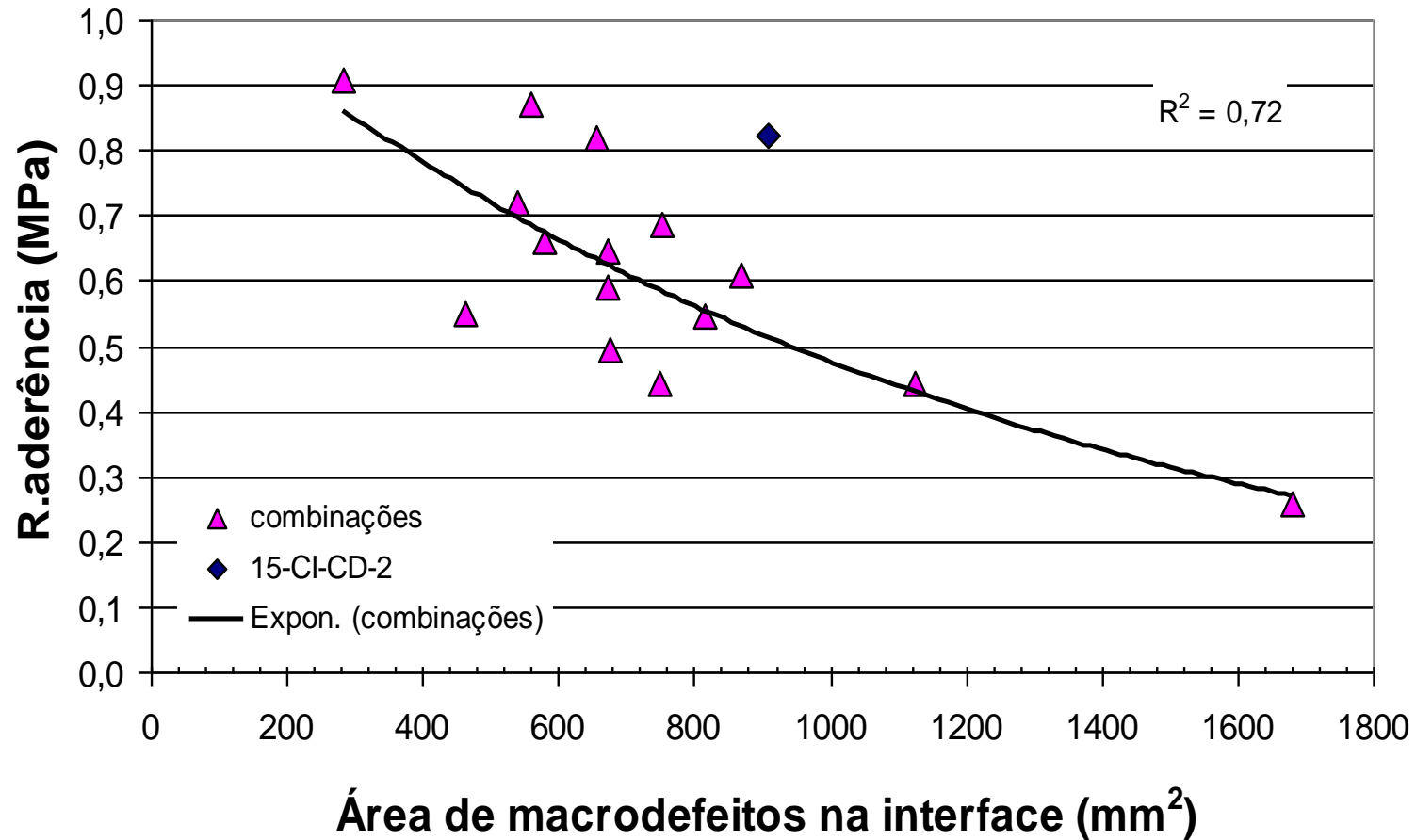
- Desmoldante na superfície do concreto
- Não molhar a superfície antes da aplicação da argamassa
 - Blocos de alvenaria, porosos
- Superfície (substrato) pouco rugosa
 - Uma das funções do chapisco é criar pontes de aderência entre as camadas
- Não ter aditivos promotores de adesão
 - Colas (PVA, etc), presentes nas argamassas industrializadas

Defeitos da interface governam aderência

- Sem contato com a base não existe aderência



Aderência e Defeitos na interface



Antunes. Modelagem aderência de Argamassas. Tese de Doutorado, Poli USP 2005

Defeitos na Interface

Se $E_{\text{lançamento}} < E_{\text{compactação}}$

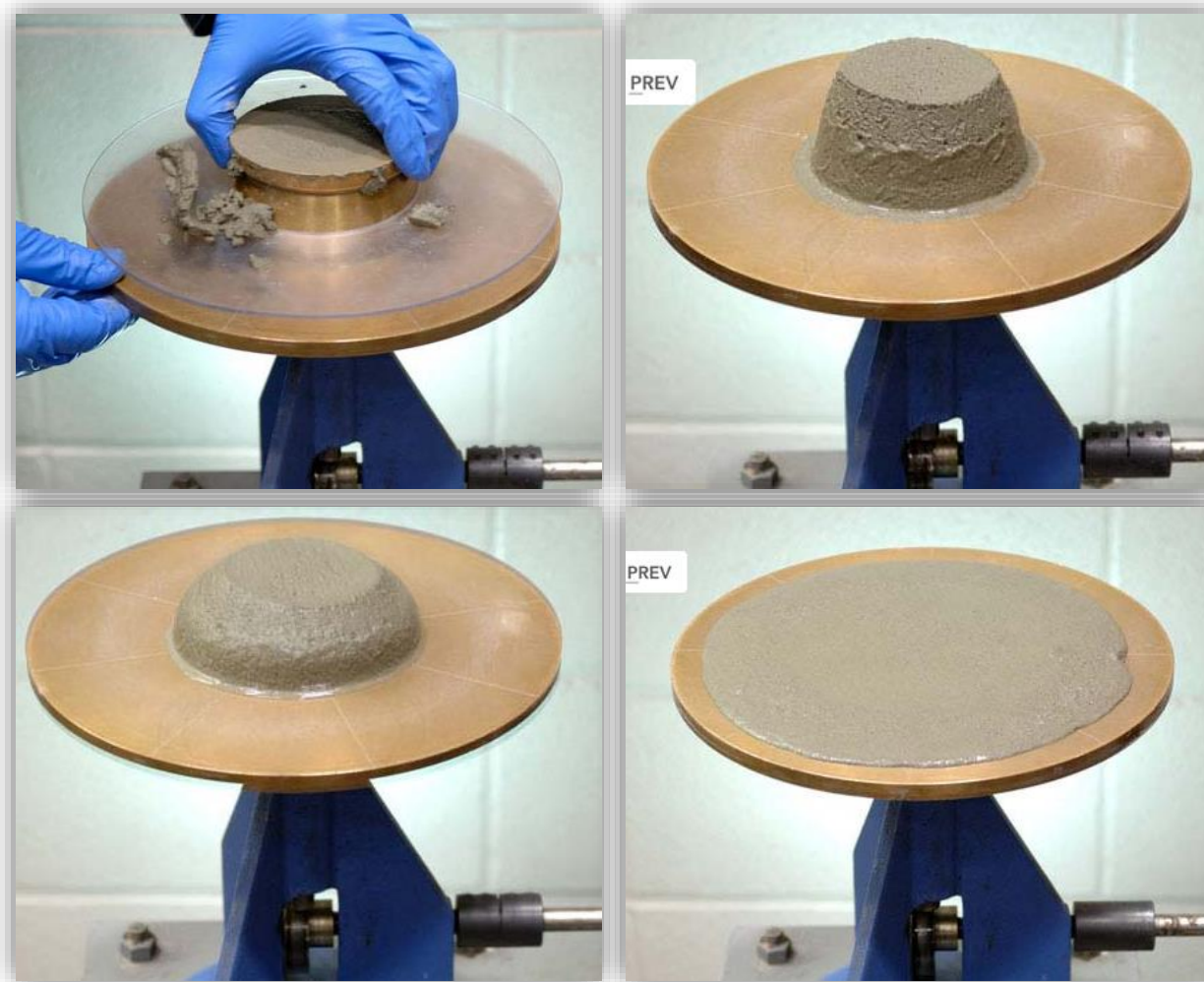
Maior probabilidade de defeitos na interface

- $E_{\text{compactação}}$ - energia necessária para compactação, f(reologia da argamassa)
- $E_{\text{lançamento}}$ – energia de lançamento (controlada pelo operário / máquina)

Energia de compactação depende da consistência da argamassa

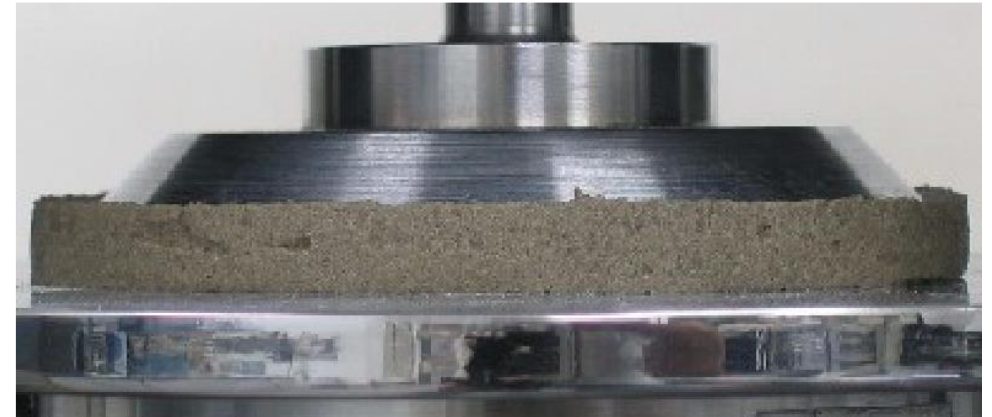
| trabalhabilidade |

Ensaio monoponto – Flow table (mesa de consistência)

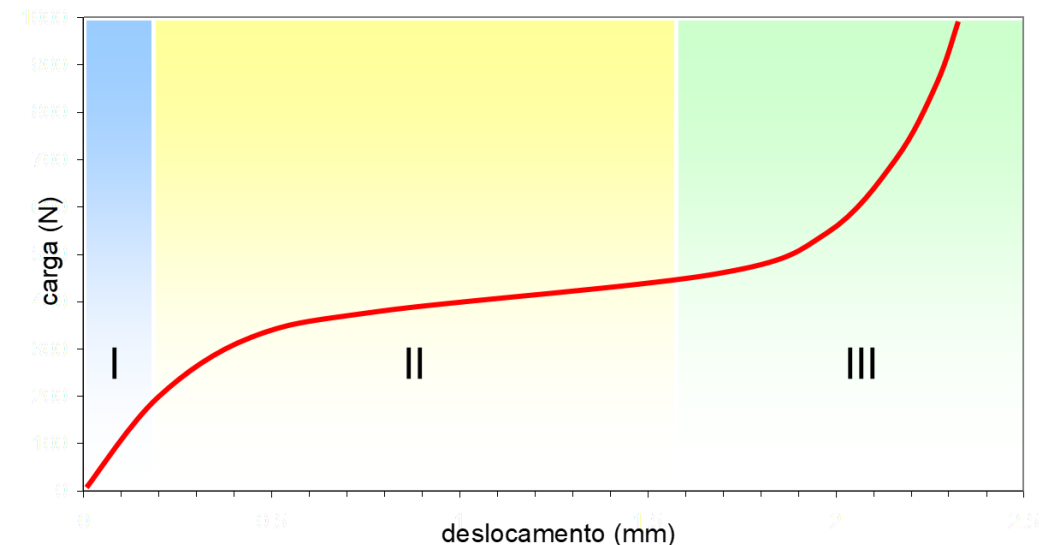


Squeeze flow – reometria compressiva (NBR 15839)

- Compressão (controle de deslocamento ou carga)
- Geometria moeda ($D/h > 5$) gera cisalhamento radial



Curva teórica típica de Squeeze-flow

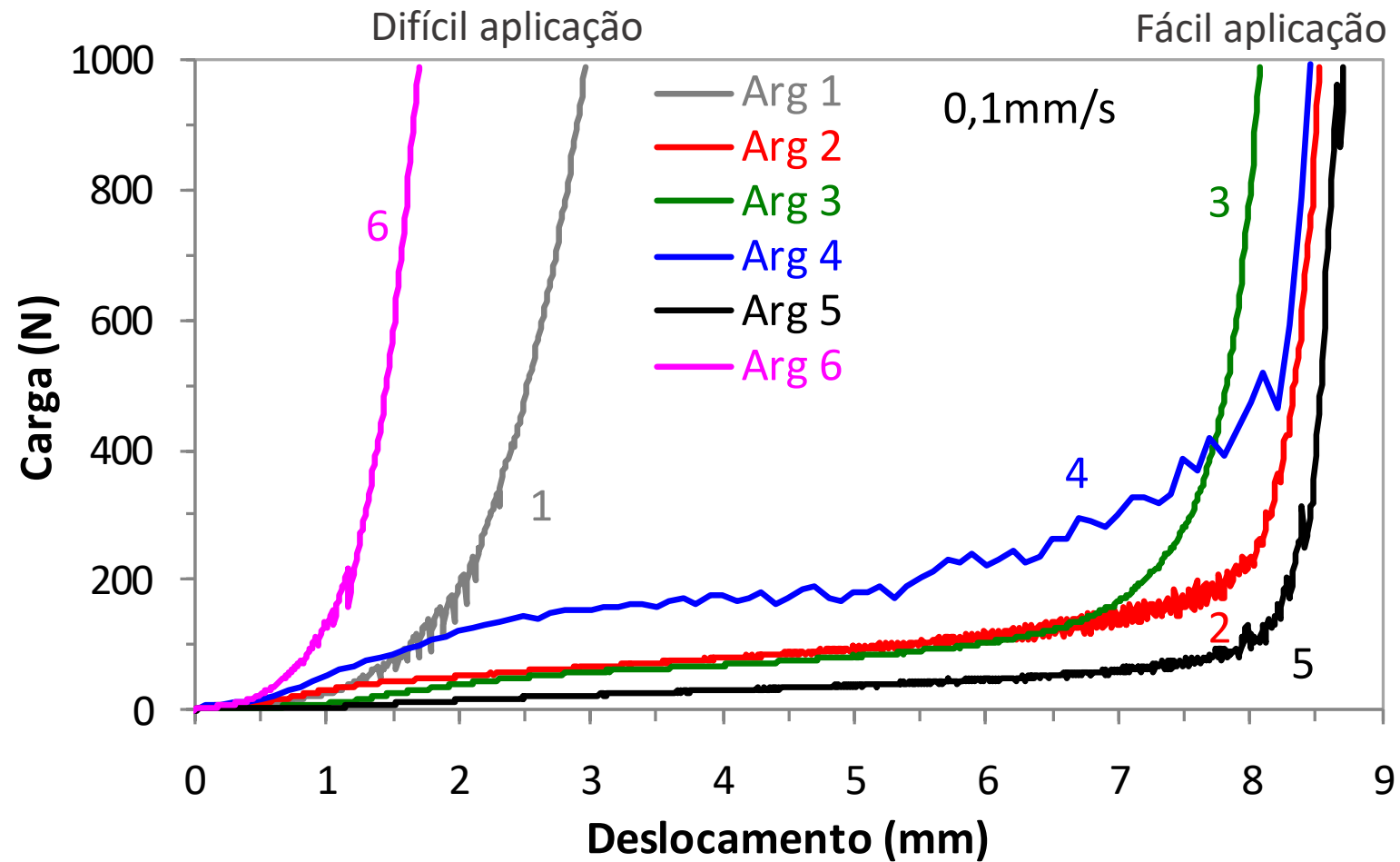


I – deformação linear elástica

II – deformação plástica ou fluxo viscoso

III – enrijecimento induzido por deformação (“strain hardening”)

Squeeze flow – reometria compressiva (NBR 15839)

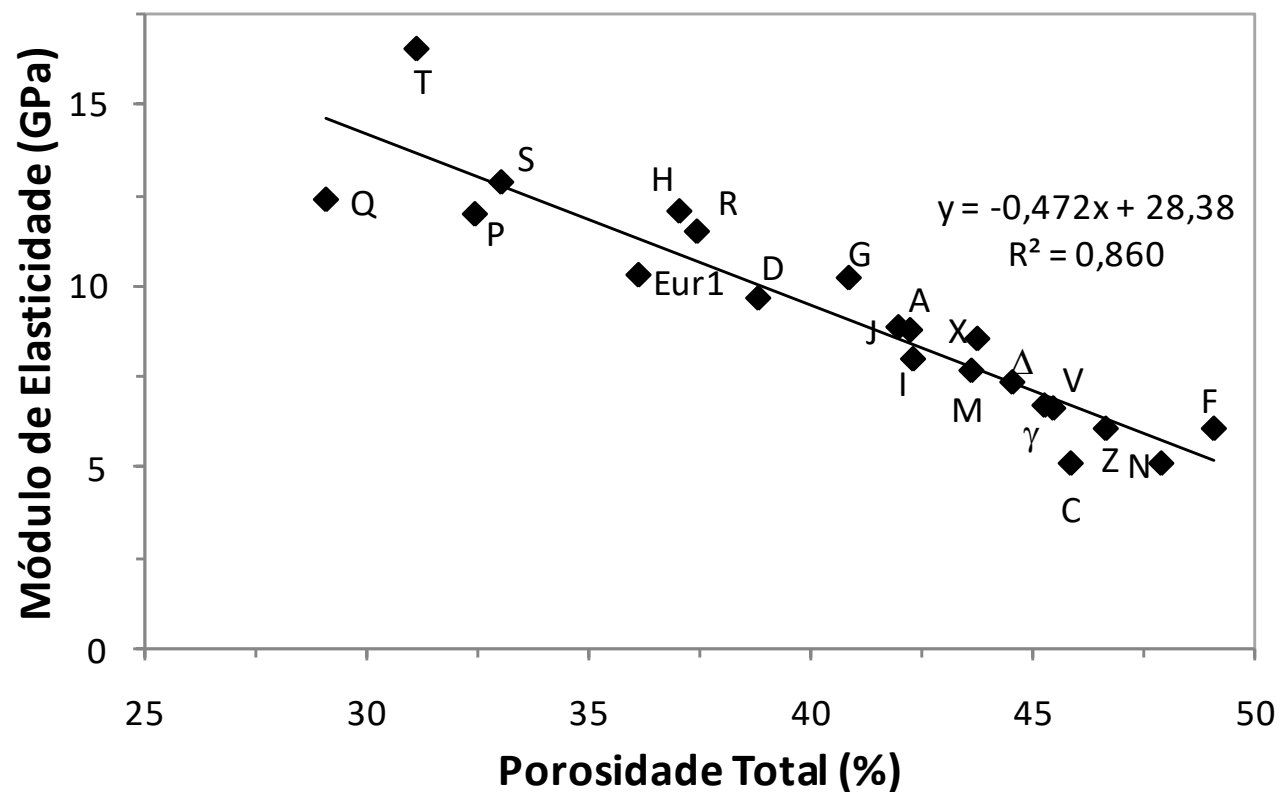


Durabilidade e modulo de elasticidade

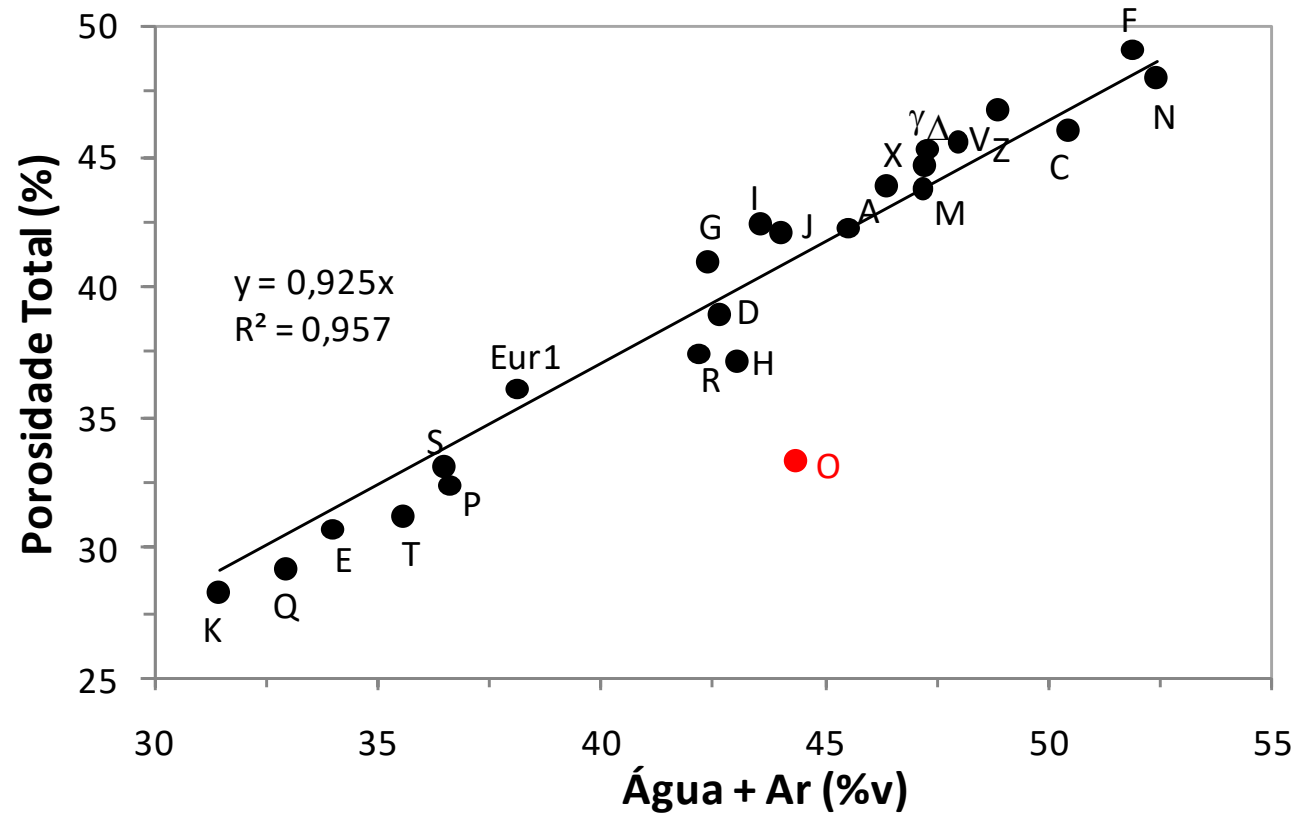
Ciclos de molhagem e secagem reduzem a aderência por fadiga.

Quanto maior o módulo de elasticidade (para uma mesma taxa de defeitos da interface) menor sera a durabilidade;

Módulo de elasticidade é f(porosidade)

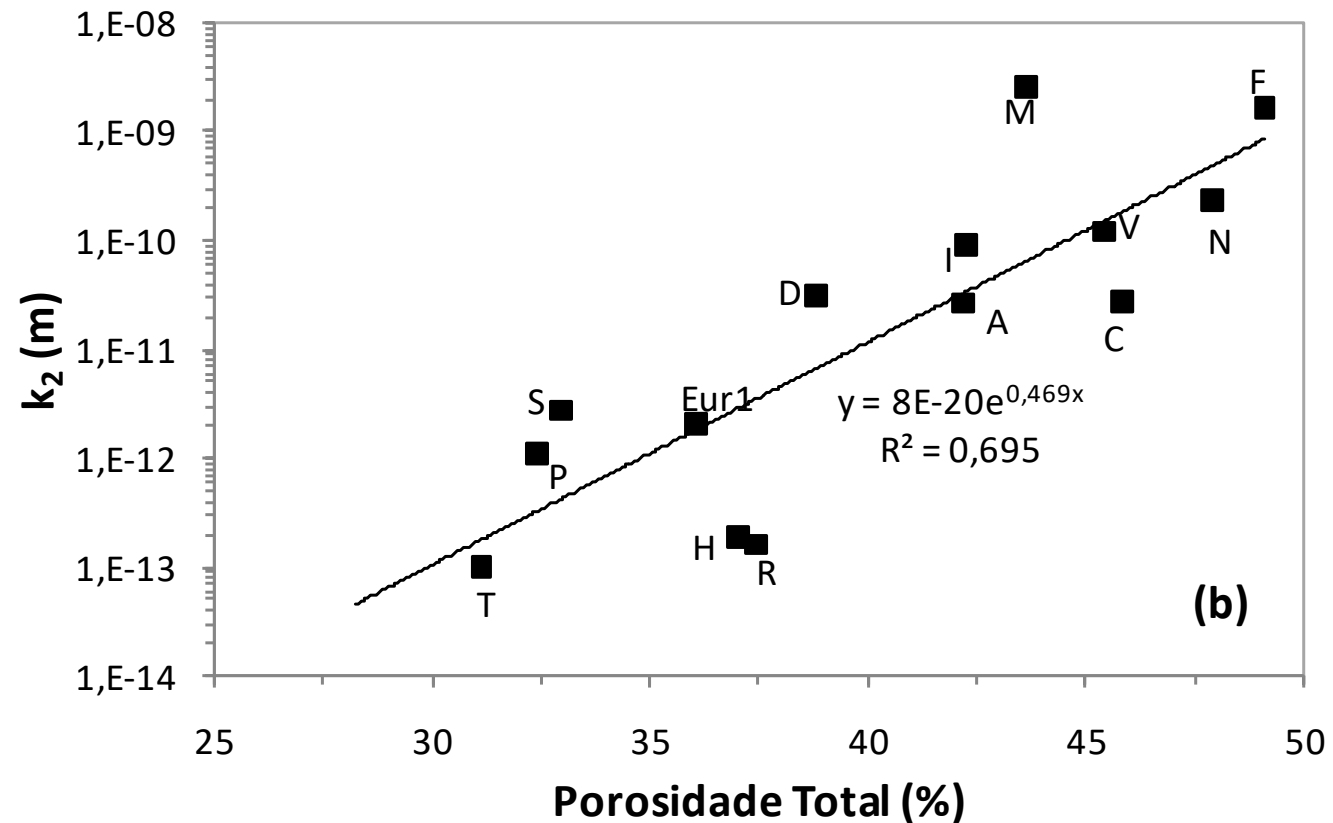


Porosidade: ar incorporado + excesso de água



Muita porosidade, aumenta também a permeabilidade ao ar

- K_2 é um parâmetro de permeabilidade



Como medir o módulo de elasticidade

Método convencional com carregamento estático



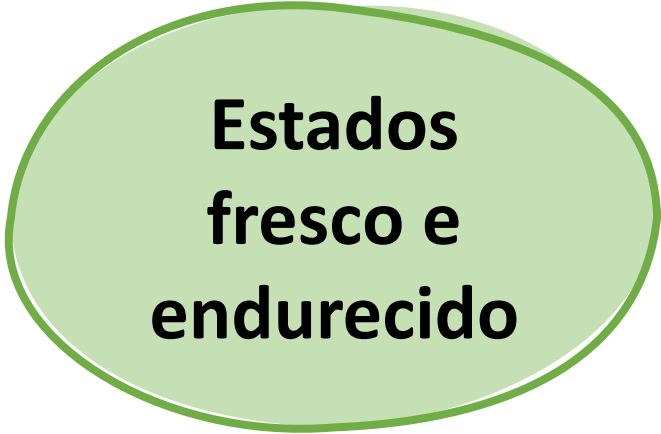
Como medir o módulo de elasticidade

- Módulo dinâmico – Velocidade da onda ultrassônica – NBR 15630



Sistemas de revestimento

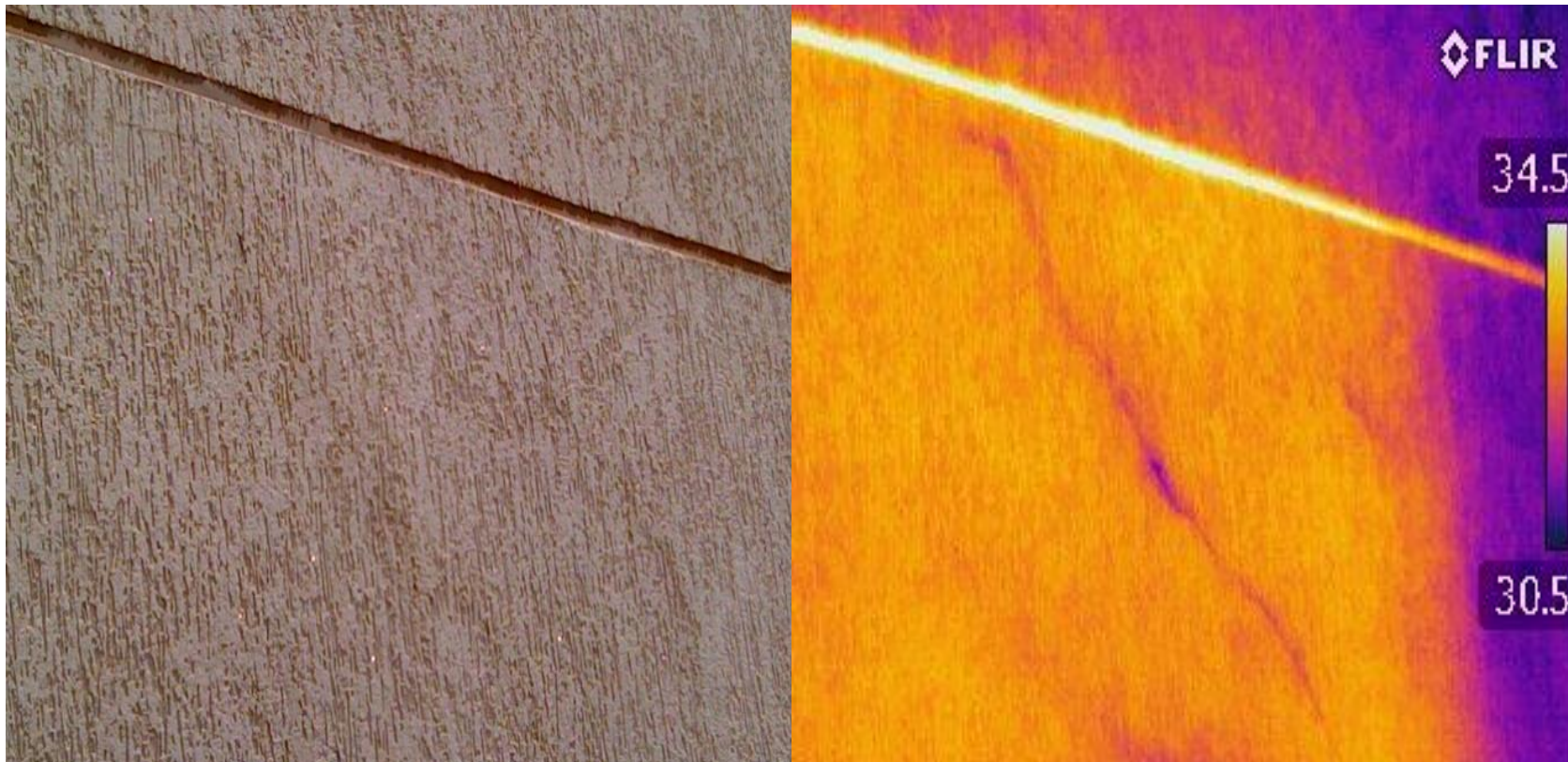
- Desempenho depende das propriedades dos materiais como:
 - Trabalhabilidade
 - **Aderência ↑**
 - Adesão
 - Cura
 - **Retração ↓**
 - **Estanqueidade (permeabilidade à água) ↗**
 - Isolamento térmico e acústico
 - Dureza superficial
 - **Módulo elasticidade ↓ (capacidade de absorver deformações)**
 - Base para as camadas de acabamento
 - Resistência a ataques químicos (sulfatos,)
 - Segurança ao fogo



**Estados
fresco e
endurecido**

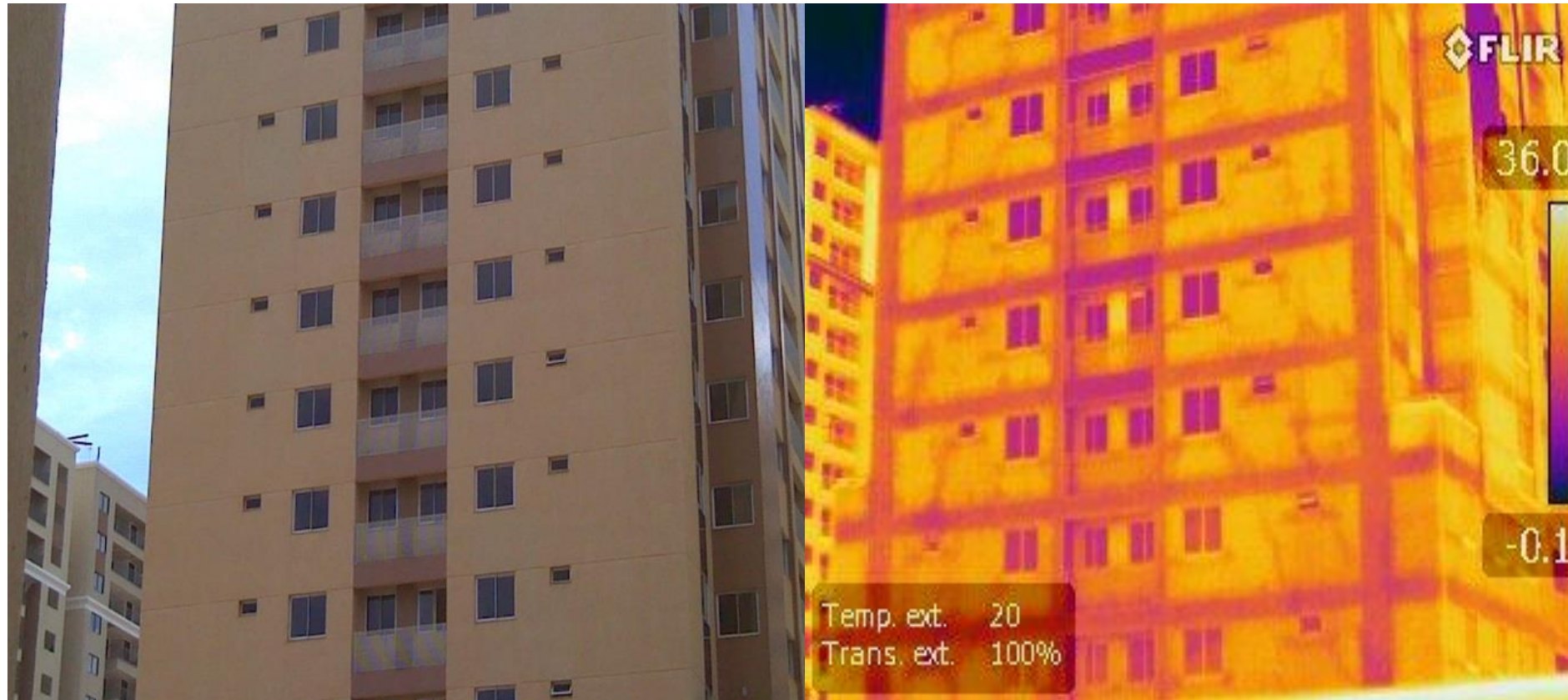
Métodos não destrutivos em revestimentos externos em argamassa

Fissura por termografia no infravermelho



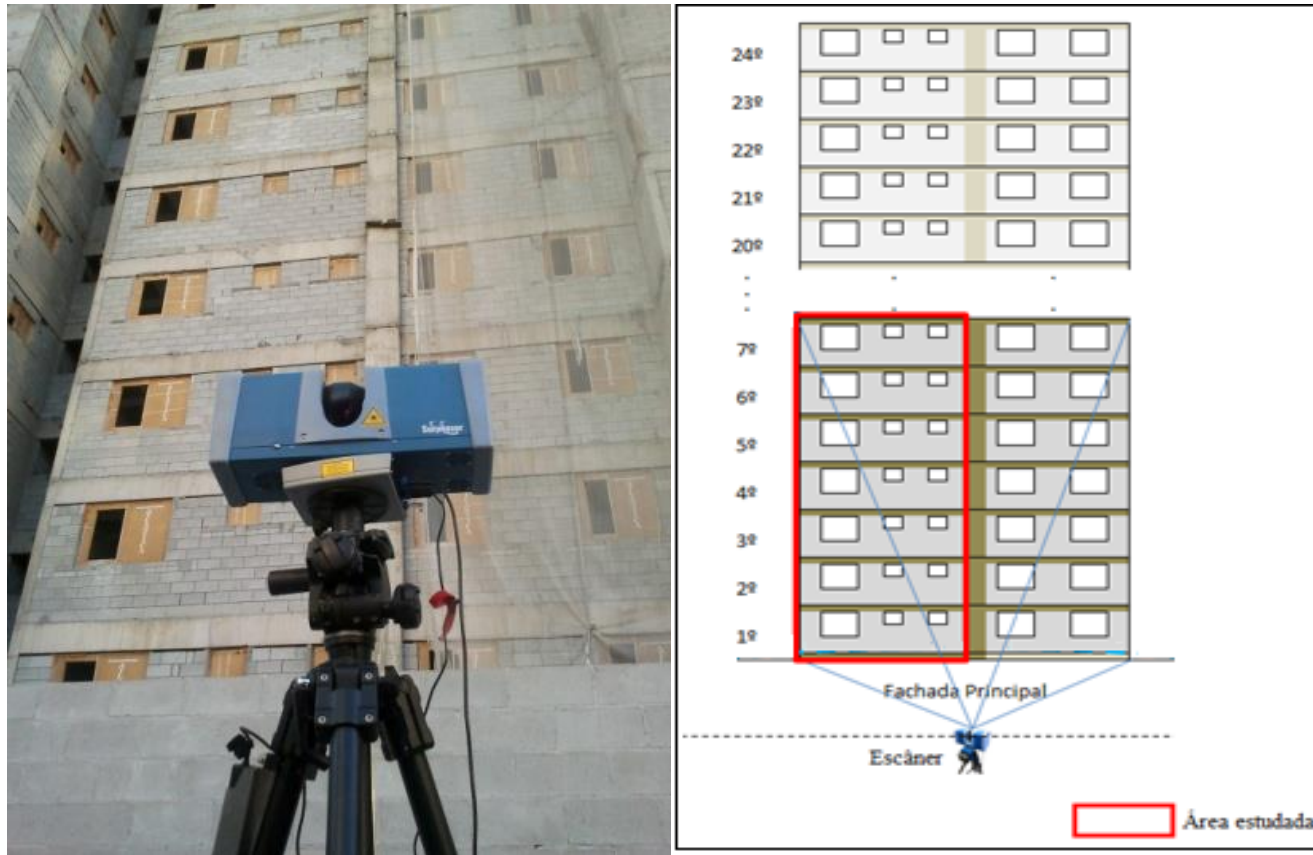
ISRAEL, M. C. Ensaios não destrutivos aplicados à avaliação de revestimentos de argamassa. (2015)
Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, USP.

Fissura por termografia no infravermelho

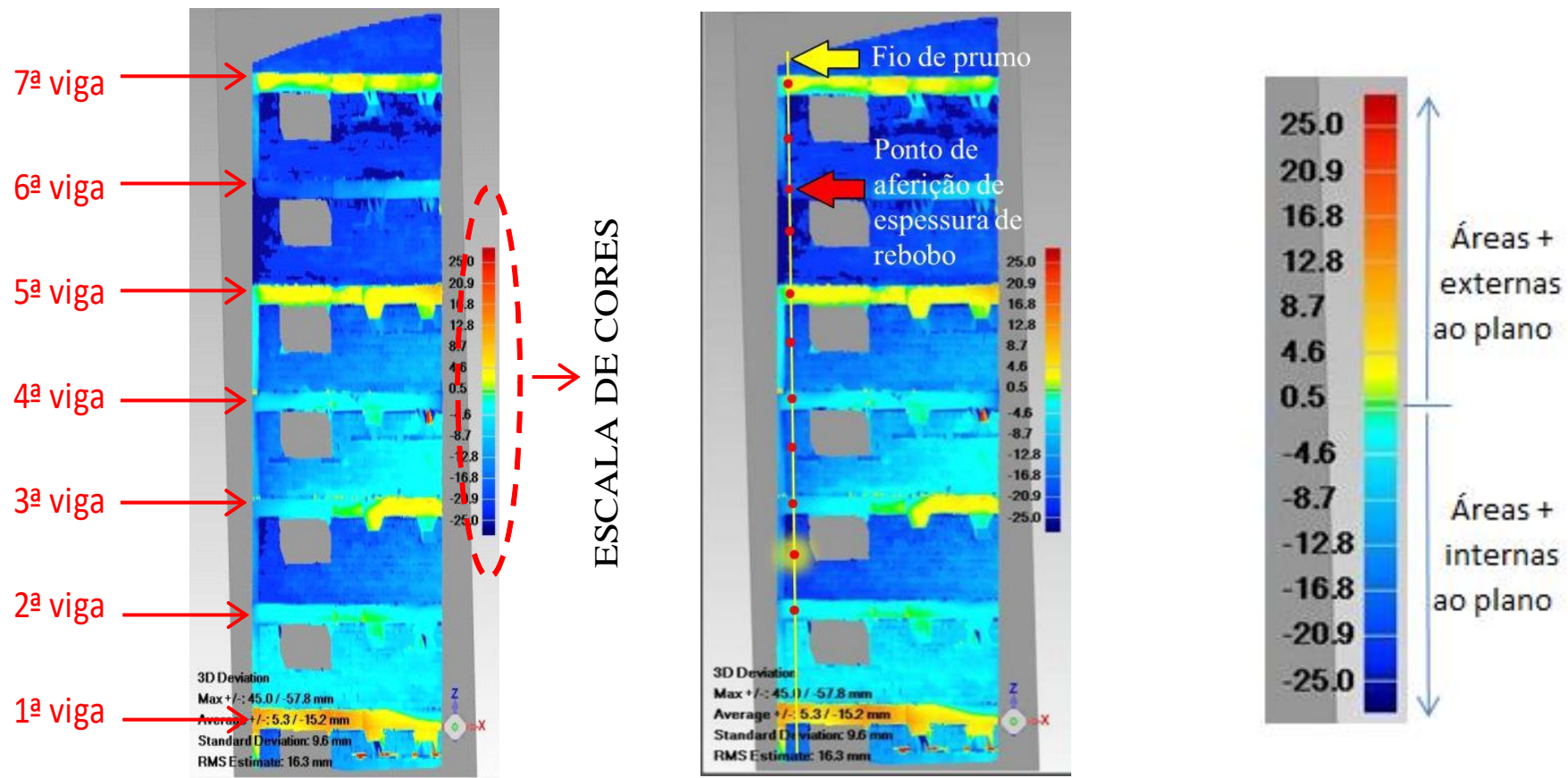


ISRAEL, M. C. Ensaios não destrutivos aplicados à avaliação de revestimentos de argamassa. (2015)
Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, USP.

Qual a espessura do revestimento necessário? Scanner laser 3D



Qual a espessura do revestimento necessário? Scanner laser 3D



Conclusões

- Desempenho do revestimento de argamassas depende do substrato, do operário e do material em si.
- A aderência do revestimento depende das características reológicas do material. Há materiais de fácil espalhamento plástico como argamassas industrializadas, de controle mais prático em obra.
- Outras propriedades como módulo elástico, permeabilidade são relevantes.
- Inovações em ensaios não destrutivos surgem como ferramenta útil para verificar defeitos e patologias de revestimentos executados

Bibliografia recomendada

- CARASEK, H. **Argamassas**. In: Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. págs. 892-944
- F.A. CARDOSO, R.G. PILEGGI, V.M. JOHN. **Squeeze-flow aplicado a argamassas de revestimento: Manual de utilização** – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP – BT/PCC/545. Departamento de Engenharia de Construção Civil.