

Influência da umidade do revestimento na resistência superficial avaliada por diferentes métodos de ensaio



Amália ALVES
Escola de Engenharia
Civil/Universidade
Federal de Goiás
Brasil
liaeng@gmail.com



Helena CARASEK
Escola de Engenharia
Civil/Universidade
Federal de Goiás
Brasil
hcarasek@gmail.com



Oswaldo CASCUDO
Escola de Engenharia
Civil/Universidade
Federal de Goiás
Brasil
ocascudo@gmail.com

Resumo: Este trabalho, eminentemente experimental, ocupou-se em investigar a influência dos efeitos da umidade absorvida pelos revestimentos de argamassa nos valores de resistência superficial, sendo esta avaliada por meio de três técnicas de ensaio, que por sua vez empregam os seguintes equipamentos: esclerômetro de pêndulo, dinamômetro de tração e um aparelho gerador de onda ultrassônica. Para tanto, foram aplicadas diferentes argamassas de revestimento sobre substratos padronizados de concreto e testadas sob quatro diferentes condições de umidade. Como resultado, foi constatado, empregando-se critérios estatísticos, o efeito significativo da umidade nos ensaios de ultra-som e com o dinamômetro de tração.

Palavras-chave: argamassa, revestimento, resistência superficial, umidade, técnicas de ensaio.

1. INTRODUÇÃO

As argamassas de revestimento são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

No Brasil, essas argamassas aplicadas como revestimento em paredes com acabamento em pintura correspondem à opção construtiva mais empregada na construção de edificações, tanto interna quanto externamente (nas fachadas). Outros tipos de revestimento muito utilizados no país são aqueles que têm como acabamento as placas cerâmicas ou pedras, mas que mesmo assim se utilizam de argamassas de emboço como base de aplicação.

Os revestimentos de argamassa de parede devem cumprir determinadas funções para permitir um desempenho satisfatório das edificações durante o seu tempo de vida útil. As principais funções desse tipo de revestimento são: proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo (no caso dos revestimentos externos), integrar o sistema de vedação dos edifícios conferindo isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo, resistência ao desgaste e a abalos superficiais, além de regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo como base para acabamentos decorativos e contribuindo para a estética da edificação.

De modo a satisfazer às funções citadas anteriormente, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, especialmente suas propriedades e características no estado fresco, que definem a trabalhabilidade adequada à aplicação, a saber: consistência, plasticidade, adesão inicial e viscosidade, entre outras. No estado endurecido, o revestimento deve-se apresentar com baixa retração e reduzida permeabilidade à água, devendo conter adequados níveis de aderência, capacidade de absorver deformações e resistência mecânica (em especial uma boa resistência superficial) [1].

Pode-se definir a resistência superficial como a tensão máxima suportada pela superfície do revestimento de argamassa [2]. Assim, de modo a manter suas características funcionais, os revestimentos de argamassa devem apresentar uma superfície adequadamente resistente às ações de choque e de atrito inerentes à ocupação e circulação normais, que decorrem da mobilidade dos usuários e das operações cotidianas de limpeza ou de manutenção, evitando, com isso, o surgimento e mesmo o avanço de processos de deterioração. Tais processos se manifestam por meio da perda de planeza e ainda pela existência de defeitos devidos à ocorrência de fenômenos patológicos como a pulverulência ou a desagregação granular [3;4]. Salienta-se que a resistência superficial é um requisito importante não apenas para os revestimentos de argamassa que receberão acabamento final em pintura, mas, sobretudo, para a camada de emboço constituinte de um sistema de revestimento que receberá sobre si uma ou mais camadas, como, por exemplo, o revestimento constituído de placas cerâmicas como acabamento final.

A literatura ressalta que a avaliação da resistência superficial tem sido realizada, em geral, por meio de alguns ensaios que buscam medir diferentes parâmetros, tais como:

- **Resistência à tração superficial** – este método baseia-se na avaliação da resistência à tração (resistência ao arrancamento) de uma porção superficial do revestimento de argamassa. Para tanto, é seguida parte da metodologia de ensaio para a determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassas – Método de Ensaio EN 1015-12:2000, eliminando-se, todavia, na avaliação da resistência superficial à tração, a etapa de corte do revestimento [5];

- **Resistência à abrasão** – existem dois métodos muito conhecidos para a avaliação da resistência ao desgaste superficial (resistência à abrasão). O primeiro deles é o método preconizado pelo LNEC, na Ficha FE Pa 28: 1980, em que se emprega o equipamento *Martinet Baronnie*, sendo a resistência à abrasão obtida pela observação do estado da superfície submetida à fricção com tira de lixa, que é comprimida sobre o revestimento com massas sucessivamente crescentes (0 g, 250 g, 500 g e 1000 g). O resultado de abrasão é um valor numérico (0, 250, 500 ou 1000) correspondente à massa mais elevada (inserida no braço do *Martinet*) para a qual o revestimento resiste, sem que o substrato seja atingido de forma uniforme. O revestimento que não resiste à ação de abrasão sem massa

adicional é classificado como “nulo”. O segundo método é o da RILEM - MR 9:1982 – *Characterization of the abrasion resistance of renderings by means of a rotary brush*, em que a resistência à abrasão é medida por meio da quantificação da massa de revestimento coletada, após o desgaste superficial produzido por um dispositivo com motor elétrico. Este dispositivo é acoplado a uma escova circular de cerdas plásticas que gira sobre o revestimento durante 90 segundos, a uma intensidade de 0,33 rotações por segundo [6];

▪ **Resistência ao impacto** – o aparelho *Martinet Baronniet* permite a avaliação de revestimentos de argamassa em termos de resistência ao choque de corpos duros (cortantes e não-cortantes), através de dois ensaios (Fichas de ensaio LNEC – FE Pa 25:1980 e FE Pa 26:1980): choque de esfera e quadriculagem. O choque de esfera dá informação sobre a deformabilidade do revestimento e consiste na aplicação de um choque de corpo duro de 3 Joule, através de uma esfera de aço de cerca de 50 mm de diâmetro. No final de cada ensaio, é registrado o diâmetro da massa ($\varnothing_{\text{massa}}$) produzida pelo impacto da esfera, com uma régua própria com precisão de 0,1 mm [7;8;9]. Já o ensaio de quadriculagem destina-se a avaliar a resistência do revestimento ao choque de corpos duros cortantes (e ainda permite verificar concomitantemente a coesão do revestimento) quando submetido a ações de choque com energias crescentes (dentro de uma gama limitada), transmitidas por intermédio dum bloco dentado metálico (massas de 250 g, 500 g e 1000g). No final de cada ensaio, registra-se a massa de choque mais elevada a que o revestimento resiste sem escamar nem descolar (verificação dos quadrados da quadrícula), assim a superfície resiste à ação se resistir a, pelo menos, 3 dos 5 testes (sendo ainda atribuído um índice de resistência que corresponde à massa a que o revestimento resiste – I_{massa}) [7;8;9].

▪ **Dureza superficial** – o ensaio com o esclerômetro de pêndulo, segundo as recomendações da RILEM TC 127-MS D.7:1998, tem por objetivo determinar a dureza superficial dos revestimentos de argamassa através da medida do índice esclerométrico. Assim, o ensaio consiste na produção de uma reação elástica pelo impulso de uma massa conhecida, que choca contra o material sobre uma superfície de contato dada, de modo que é possível medir a quantidade de energia recuperada no ressalto da massa, permitindo a obtenção de um índice de dureza da superfície ensaiada (valor do ressalto) sobre uma escala graduada acoplada ao aparelho. Quanto mais brando for o material, maior é a quantidade de energia que ele absorve e menor é a altura do ressalto [10];

▪ **Resistência ao risco** – o LNEC sugere um método para avaliar a resistência à riscagem de revestimentos de paredes. Neste método, FE Pa 27:1980, o equipamento *Martinet Baronniet* também é empregado. O processo basicamente resume-se na constatação da ocorrência ou ausência de degradação por riscagem ou arrancamento, quando o revestimento é submetido à ação da aresta de um disco metálico em movimento retilíneo e carregado com massas sucessivamente crescentes (0 g, 250 g, 500 g e 1.000 g). Nesse caso, o resultado do ensaio é expresso pelo valor numérico (0, 250, 500 ou 1.000) da massa mais elevada (inserida no braço do *Martinet*) a que o revestimento resiste, isto é, para a qual o disco, ou não risca o revestimento, ou se o risca não lhe provoca qualquer arrancamento. O revestimento que apresenta vestígios de arrancamento no ensaio menos severo, sem massa adicional no braço do *Martinet*, é classificado de “nulo” do ponto de vista da resistência ao risco [6];

▪ **Velocidade de propagação da onda ultra-sônica** – o ensaio com ultra-som (ASTM C 597:1983; BS 1881 Part 203:1986) é totalmente não-destrutivo e permite, em conjunto com outros tipos de ensaios, localizar possíveis zonas degradadas dos revestimentos (fissuras, maior porosidade, etc.). Sendo assim, a referida técnica, efetuada pelo método

indireto, aplica-se na avaliação da superfície dos revestimentos de argamassa, uma vez que, as velocidades de propagação das ondas dependem das características do material que atravessam e refletem indiretamente o seu estado de conservação. Materiais mais degradados ou de coesão mais fraca apresentam valores de velocidade de propagação inferiores aos de materiais compactos ou menos degradados. Salienta-se que na transmissão indireta é necessário realizar várias medidas, mantendo-se fixo o transdutor emissor e movimentando-se o receptor em linha reta. O uso de gel à base de água é necessário para melhorar o contato entre os transdutores e a superfície do revestimento. Após efetuadas as medidas, essas são locadas em um eixo cartesiano, relacionando-se as distâncias com os tempos lidos para as mesmas. A inclinação da reta obtida é a velocidade de propagação de onda do material ensaiado [5].

Tendo em vista a carência de informações na literatura que esclareçam se a umidade absorvida pelo revestimento exerce influência na resistência superficial, decidiu-se por investigar este aspecto, utilizando nesta pesquisa três equipamentos, esclerômetro de pêndulo, dinamômetro de tração e ultra-som, cujas técnicas de ensaio foram executadas em revestimentos (de argamassa mista e industrializada) submetidos a quatro condições de umidade (seco em estufa, com dois valores de umidade intermediários e com umidade de saturação).

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A pesquisa desenvolveu-se por meio de investigação laboratorial. A seguir, estão descritas as variáveis adotadas, as condições fixas e a metodologia utilizada.

2.1 Variáveis Estudadas

As variáveis foram estabelecidas segundo o objetivo da investigação laboratorial, ou seja, verificar se a umidade absorvida pelos revestimentos exerce influência na propriedade resistência superficial. Portanto, foram analisadas as seguintes variáveis:

- **Tipo de argamassa** – Ao longo de toda a pesquisa, fez-se uso de duas argamassas bem distintas (uma industrializada e uma mista), entretanto, o foco da investigação laboratorial não era equiparar essas argamassas e sim avaliar a influência da umidade na resistência superficial, além de verificar a eficiência (nível de sensibilidade) dos ensaios utilizados (esclerômetro de pêndulo, dinamômetro de tração e ultra-som) na caracterização de revestimentos cuja constituição interna intrínseca (microestrutura) seria bastante diferenciada, especialmente, em função do teor de cimento e da relação água/materiais secos.

- **Condições de umidade dos revestimentos** – Antes da execução dos ensaios, os revestimentos eram então preparados de modo a se enquadrarem nas seguintes condições de umidade, a saber:

- Condição seca (U1): Nesta condição, as placas revestidas foram mantidas em ambiente de laboratório (não climatizado) e 24 horas antes da execução dos ensaios, estas foram encaminhadas para estufa à temperatura de $105 \pm 5^\circ \text{C}$. Saindo da estufa, as placas

revestidas foram conduzidas a um dessecador, onde permaneceram em processo de esfriamento até o momento de serem ensaiadas;

- Condição do meio ambiente (U2): Nesta condição, as placas revestidas foram mantidas em ambiente de laboratório (não climatizado) até o momento de serem ensaiadas;

- Condição úmida (U3): Nesta condição, as placas revestidas permaneceram em ambiente de laboratório (não climatizado) e imediatamente antes de serem ensaiadas, durante um período de 10 minutos, foram molhadas na face revestida, por meio de imersão em lâmina de água de aproximadamente 30 mm de altura;

- Condição saturada (U4): Nesta condição, as placas revestidas permaneceram em ambiente de laboratório (não climatizado) e antes da execução dos ensaios, durante um período de 48 horas, foram mantidas submersas em tanque com água de onde saíram apenas no momento de serem ensaiadas.

2.2 Condições Fixas

- Base de aplicação do revestimento: placas de substrato-padrão (em concreto), produzidas de acordo com a ABNT NBR 14082:2004, com dimensões de 25 cm x 50 cm e espessura igual a 20 mm;
- Processo de aplicação da argamassa: mecânico, por meio de um projetor spray a ar comprimido;
- Espessura do revestimento: 25 mm \pm 2 mm;
- Procedimento de cura: todos os revestimentos foram curados ao ar;
- Idade de avaliação dos revestimentos: 6 a 6,5 meses.

2.3 Metodologia

✓ *Mistura das argamassas:*

Foram empregados dois tipos distintos de argamassa: uma industrializada e uma mista (preparada *in loco*). A argamassa industrializada empregada é denominada e especificada comercialmente como de múltiplo uso, constituída por cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos. Já a argamassa mista adotada possuía o proporcionamento de 1: 2: 9 – cimento: cal: areia (em volume, estando a areia úmida), de modo que no seu preparo foi usado cimento Portland composto CP II-E-32, cal hidratada tipo CH III e areia natural quartzosa de granulometria muito fina (com módulo de finura igual a 1,44). As relações água/material seco (H) foram, respectivamente, 0,153 e 0,234;

As argamassas foram preparadas em betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 400 litros, em ambiente de laboratório (não climatizado). No caso da argamassa industrializada, cada mistura era efetuada a partir de dois sacos e meio de argamassa – 125 kg, empregando-se 19,1 litros de água, com tempo de mistura entre 4 min e 6 min. Já no que tange a argamassa mista, por batelada, pesava-se 123,14 kg de material seco

(cimento:11,80kg; cal:12,51kg; areia:98,83kg), adicionava-se 28,83 litros de água e o tempo de mistura era fixado entre 10 min e 12 min.

✓ *Caracterização das argamassas:*

Ambas as argamassas foram caracterizadas no estado fresco e endurecido; os métodos de ensaio e os resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Previamente à aplicação da argamassa, era feita uma limpeza superficial nos substratos para retirar poeira e outros materiais que pudessem prejudicar a aderência argamassa-substrato. Após este procedimento, os substratos eram colocados na vertical e procedia-se ao lançamento das argamassas.

Tabela 1 – Características das argamassas no estado plástico (fresco).

Característica determinada	Método de ensaio	Arg. Ind.	Arg. Mista.
Consistência	Cone ASTM C780/1996 (mm)	40	45
Retenção de água	Papel filtro NBR 13277/1995 (%)	96	91
Densidade de massa	NBR 13278/2005 (g/cm ³)	1,70	1,88
Teor de ar	Gravimétrico NBR 13278/2005 (%)	22	10
	Pressométrico NBR 11686/1990 (%)	20	8

Tabela 2 – Característica das argamassas no estado endurecido.

Característica determinada	Método de ensaio	Arg. Ind.		Arg. Mista	
		Result. médios	Nº de CP's	Result. médios	Nº de CP's
Resistência à compressão (MPa)	NBR 13279/1995	6,7	16	4,1	12
Resistência à tração (MPa)	NBR 7222/1994	1,3	16	0,6	12
Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	NBR 15630/2008	8,3	16	5,5	12

✓ *Aplicação da argamassa:*

A fim de minimizar o efeito da variável mão-de-obra (a qual não faz parte do escopo do trabalho), optou-se pela utilização de um sistema de projeção mecânica. Neste sentido, a aplicação da argamassa foi feita em ambiente de laboratório, por meio de um projetor spray a ar comprimido, com pressão igual a 100 psi (0,70 MPa), na forma de filetes contínuos de baixo para cima, guardando uma distância de 30 cm das placas a serem revestidas.

A espessura dos revestimentos foi fixada em 25 mm ± 2 mm e controlada com auxílio de uma guia metálica fixada sobre o painel. Após a aplicação da argamassa, aguardava-se o ponto de sarrafeamento do revestimento. O tempo de espera para o sarrafeamento era de aproximadamente 1 hora e trinta minutos para os revestimentos de argamassa industrializada e 4 horas e trinta minutos para os revestimentos de argamassa mista (o elevado tempo de espera para o sarrafeamento, especialmente o da argamassa mista, foi devido a alta umidade relativa do ar – entre 70% e 90% – nos dias do lançamento, uma vez que, o tempo estava bastante chuvoso). Decorrido este tempo de espera, o pedreiro

cortava a argamassa excedente por meio de uma régua de alumínio. Em seguida, executava-se o desempenho da superfície com uma desempenadeira de madeira e o acabamento final era realizado com uma espuma umedecida. Após o acabamento das superfícies, com muito cuidado, as placas eram separadas por meio de um corte superficial do revestimento com espátula.

✓ *Cura dos revestimentos:*

Todos os revestimentos foram curados ao ar, em ambiente de laboratório (não climatizado), durante um período de 6 a 6,5 meses, quando então foram retirados dessa condição para a preparação que antecedia a realização dos ensaios. Este extenso período destinado à cura dos revestimentos é justificado, uma vez que, se desejava ensaiar revestimentos satisfatoriamente consolidados, com graus avançados de hidratação do cimento e de carbonatação da cal.

✓ *Realização dos ensaios:*

Precedendo a execução dos ensaios, os revestimentos eram preparados de modo a se enquadrarem em quatro faixas de umidade – seco em estufa, com dois valores de umidade intermediários e com umidade de saturação – como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Faixas de umidade apresentadas pelos revestimentos de argamassa

<i>Umidade</i>	<i>Umid. Superficial (%)</i>	<i>Umid. CP's (%)</i>
U1 - Condição seca	0 - 9	0 - 1
U2 - Condição do meio ambiente	10 - 20	1 - 6,5
U3 - Condição úmida	21 - 50	9 - 16,5
U 4 - Condição saturada	51 - 100	17 - 30

De modo a otimizar o andamento dos ensaios e também definir os pontos do revestimento, por placa, a serem destinados para ensaio com determinada técnica, fez-se uma espécie de gabarito que foi reproduzido sobre a superfície do revestimento (Figura 1), mantendo-se um espaçamento mínimo de 10 mm das bordas. Nota-se que a demarcação da superfície do revestimento, por placa, resultou em 32 pontos potenciais de ensaio (32 quadrados com 50 mm de lado).

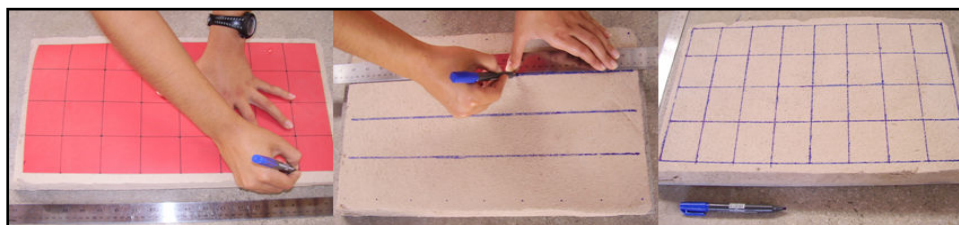


Figura 1 – Demarcação da superfície dos revestimentos, por placa, de maneira a orientar o processo de execução dos ensaios.

A ordem em que os ensaios foram realizados, por grupo de placas (tendo em vista cada uma das condições de umidade explicitadas anteriormente), foi: 1º) ultra-som (aproximadamente 40 leituras por situação estudada), 2º) esclerômetro (100 leituras por situação estudada) e 3º) resistência superficial à tração (40 leituras por situação estudada). Ainda neste sentido, é importante esclarecer que, por placa avaliada, antes do início de cada um desses ensaios, determinava-se a umidade superficial dos revestimentos em três pontos por meio do uso de um medidor de umidade superficial (com resolução de 0,1% a 100%, precisão de $\pm 0,2\%$ e medida relativa em área de 80 cm² conforme a ASTM E 1907:1997). Além desse procedimento, para quantificar o teor de umidade contido no interior dos revestimentos, foram extraídos corpos-de-prova (CPs) de cada uma das placas revestidas, sendo estes imediatamente pesados e em seguida colocados em estufa à temperatura de 105 ± 5 °C por 24 horas para determinação do teor de umidade interna dos CPs de argamassa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os resultados da investigação laboratorial, para cada um dos métodos de ensaio realizados nos revestimentos de argamassa mista e industrializada, submetidos as quatro condições de umidade.

3.1 Influência da umidade no ensaio de ultra-som

Os resultados individuais de velocidade de propagação da onda ultra-sônica para as placas revestidas de argamassa mista e industrializada, ensaiadas sob as diferentes condições de umidade (U1, U2, U3 e U4), foram submetidos a uma análise estatística de variâncias (ANOVA – Tabelas 4 e 5), onde o valor de “F calculado” (F_{cal}) foi comparado com o valor de “F tabelado” (F_{tab}) para um nível de significância de 5% ($F_{tab} = F_{\alpha = 0,05} (v1, v2)$), onde $v1$ e $v2$ são os graus de liberdade do efeito avaliado e do resíduo, respectivamente).

A ANOVA mostrou que o modelo fatorial adotado, tanto na análise da argamassa mista como na análise da argamassa industrializada, é significativo, uma vez que, o valor de F_{cal} é bem maior do que o F_{tab} (arg. mista: 141,04 >> 2,66; arg. ind: 214,35 >> 2,68). Portanto, a variável umidade do revestimento, exerce uma forte influência nos valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica, existindo, dessa maneira, diferenças significativas entre os grupos avaliados (U1, U2, U3 e U4). Também neste sentido, reforçando, ainda mais, a influência da umidade na velocidade de propagação da onda ultra-sônica é importante destacar os valores dos coeficientes de correlação (R) obtidos: 0,92 para a argamassa industrializada (correspondendo a uma correlação muito forte) e 0,85 para a argamassa mista (algo que denota uma correlação forte), ou seja, essas variáveis movem-se quase que em perfeita proporção na mesma direção.

Tabela 4 – Análise de variâncias do efeito da umidade absorvida pelas placas revestidas de **argamassa industrializada** sobre os valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Efeito	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Entre Grupos (Modelo)	81825647,03	3	27275215,68	214,35	2,68	Significativo
Dentro Grupos (Resíduo)	15905731,85	125	127245,85	-	-	-
Total	97731378,88	128	-	-	-	-

Coef. de determinação do modelo $R^2 = 0,84$ SQ = Soma dos quadrados; GL = Graus de liberdade;

Coef. de correlação do modelo $R = 0,92$ MQ = Média dos quadrados; F = Parâmetro de Fisher para o teste de significância dos efeitos.

$p = 0,00$

$p = \text{"p-valor"};$

Tabela 5 – Análise de variâncias do efeito da umidade absorvida pelas placas revestidas de **argamassa mista** sobre os valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica.

Efeito	SQ	GL	MQ	Fcal	Ftab	Resultado
Entre Grupos (Modelo)	59597891,72	3	19865963,91	141,04	2,66	Significativo
Dentro Grupos (Resíduo)	21973551,15	156	140856,10	-	-	-
Total	81571442,87	159	-	-	-	-

$R^2 = 0,73$

$R = 0,85$

$p = 0,00$

Submetendo os resultados experimentais das Tabelas 4 e 5 a uma comparação múltipla de médias (teste de Duncan), observa-se a formação de quatro grupos distintos, tanto para as argamassas mistas como para as industrializadas, conforme exemplificado na Figura 2, para a argamassa industrializada.

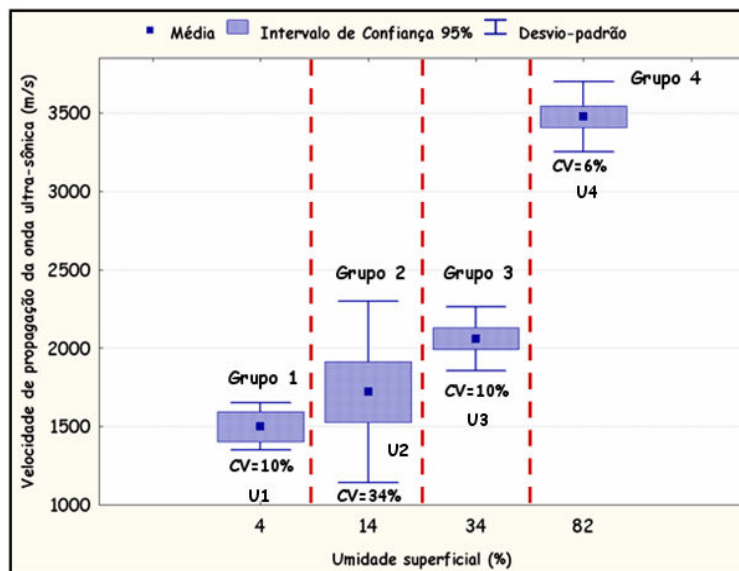


Figura 2 – Estimativa da média global dos valores de velocidade de propagação da onda ultra-sônica nas placas revestidas de argamassa industrializada, com seu desvio padrão e intervalo de confiança de 95%.

Tendo em vista as duas argamassas em estudo, percebe-se um considerável aumento da velocidade de propagação da onda ultra-sônica na medida em que se aumenta o teor de umidade absorvido pelo revestimento. Dessa maneira, considerando o princípio físico básico de que a onda ultra-sônica se propaga mais velozmente na água (do que no ar) e em meios contínuos, tal constatação acima mencionada é explicada, uma vez que, a presença de água (umidade) no material faz com que os vazios e as fissuras ali existentes (estas que constituem descontinuidades) sejam preenchidos, aumentando, portanto a velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas em porções superficiais e mesmo internas do revestimento de argamassa. Na literatura, outros autores também mencionaram comportamento semelhante, fazendo alusões à influência da umidade na velocidade de propagação da onda ultra-sônica, a exemplo de [11-15].

De forma geral, pode-se afirmar que o ensaio de ultra-som é fortemente influenciado pelas variações de umidade apresentadas pelos revestimentos de argamassa. Observa-se ainda que na medida em que se aumenta o teor de umidade das argamassas os resultados se tornam mais acurados (confiáveis), isto porque, observando os valores de velocidade desde a condição seca em estufa até a condição de saturação, tem-se que as argamassas em estudo são melhor caracterizadas sob a condição de umidade extrema (ou seja, umidade de saturação), enquanto que na condição seca em estufa as velocidades se aproximam muito, algo que certamente leva a uma interpretação equivocada dos resultados, uma vez que, indica um comportamento bastante similar entre duas argamassas, que, na prática, são bem distintas, especialmente, em termos da constituição interna intrínseca (microestrutura).

3.2 Influência da umidade no ensaio de esclerometria pendular

Os resultados dos ensaios com o esclerômetro de pêndulo, para as placas revestidas de argamassa mista (com um total de 400 leituras) e industrializada (mais 400 leituras), também foram submetidos à análise estatística de variâncias (ANOVA), entretanto, o modelo fatorial adotado não foi significativo (com valores de F_{cal} de 0,02 e 1,43, respectivamente para a argamassa industrializada e mista). Outro aspecto a ser considerado é o **p-valor** do modelo, que resultou igual a 1,00 (na análise da argamassa industrializada) e igual a 0,23 (para a argamassa mista). Para que ocorresse a rejeição da hipótese nula, o p-valor, deveria ser inferior a 0,05; assim, não há evidências suficientes para a rejeição da hipótese nula, logo admite-se que na determinação do índice esclerométrico a umidade dos revestimentos não exerce influência sobre os valores medidos, ou seja, o ensaio de esclerometria não é sensível às variações de umidade apresentadas pelos revestimentos de argamassa. Contudo, essa técnica mostrou-se eficaz no sentido de caracterizar argamassas de composições distintas; o índice esclerométrico médio para a argamassa mista ($IE_{médio}$) foi igual a 55 (com coeficiente de variação $CV = 9\%$), considerando todas as condições de umidade impostas aos revestimentos, enquanto que o $IE_{médio}$ da argamassa industrializada foi igual a 71 (também com $CV = 9\%$). Ou seja, os valores para as duas argamassas foram bem diferenciados e ambos com baixos coeficientes de variação.

3.3 Influência da umidade no ensaio com o dinamômetro de tração – avaliação da resistência superficial à tração

Como nos itens anteriores, os resultados de resistência superficial à tração para as placas revestidas de argamassa mista (160 leituras) e industrializada (160 leituras), também foram submetidos à análise estatística de variâncias (ANOVA), e o modelo fatorial adotado foi significativo, uma vez que, o valor de F_{cal} foi maior do que o F_{tab} (arg. mista: $51,13 \gg 2,66$; arg. ind: $130,07 \gg 2,66$). Logo, a variável umidade do revestimento exerce uma relevante influência sobre os valores de resistência superficial, algo que se confirma através dos valores encontrados para os coeficientes de correlação (R), iguais a 0,85 e 0,71, para os revestimentos de argamassa industrializada e mista respectivamente.

A comparação múltipla de médias (teste de Duncan) resultou em três grupos distintos entre si (tanto para argamassas mistas com para as argamassas industrializadas): U1 e U2 pertencem a um mesmo grupo, já U3 e U4 estão em grupos distintos entre si. A Figura 3 exemplifica a divisão dos grupos.

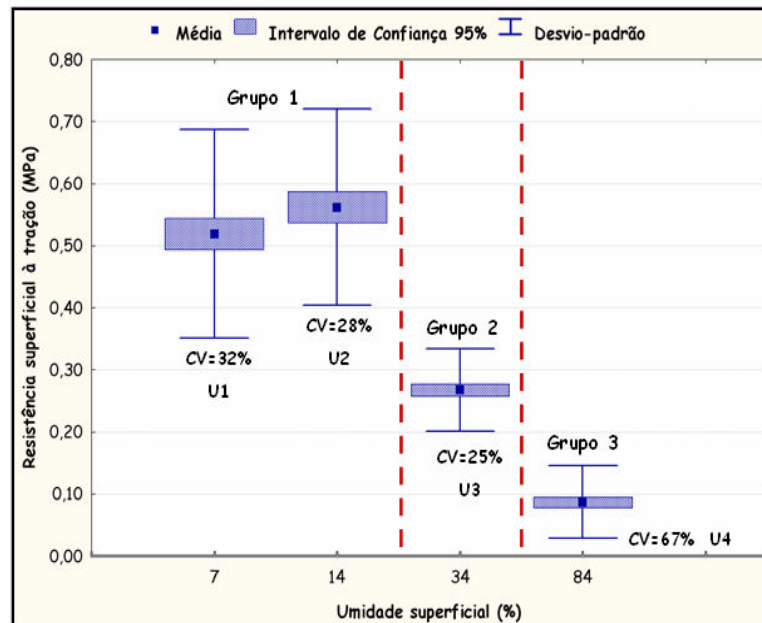


Figura 3 – Estimativa da média global dos valores de resistência superficial à tração, para placas revestidas de argamassa industrializada, com seu desvio padrão e intervalo de confiança de 95%.

Analisando o comportamento dos revestimentos de argamassa mista e industrializada, desde a condição de umidade ambiente (U2) até a condição de umidade saturada (U4), nota-se que na medida em que se aumenta o teor de umidade dos revestimentos, ocorre uma grande redução nos valores de resistência superficial à tração. Tal fenômeno pode ser explicado a partir da hipótese proposta no trabalho de [16] onde se argumenta que a presença de água na pasta de cimento hidratado (condição úmida e condição saturada) causa uma dilatação do gel do cimento (material coloidal que compõe a maior porção da massa porosa da qual é composta a pasta de cimento hidratado). Assim, em função da dilatação do gel de cimento, ocorre um enfraquecimento dos elementos que compõe a

matriz cimentícia, algo certamente agravado no momento do ensaio de arrancamento, uma vez que, durante este ensaio a matriz sólida (já bastante fragilizada) e a água nela contida são tracionadas, dando origem a uma rede de ar difuso ao longo da massa porosa, de forma que na matriz sólida essa rede atua na formação de rupturas de orientação transversal, facilitando ainda mais o desprendimento do material por ocasião do ensaio, daí a queda expressiva nos valores observados [17].

4. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo são as seguintes: o ensaio com o ultra-som é fortemente influenciado pelas variações de umidade apresentadas pelos revestimentos de argamassa e se mostra eficaz apenas como um indicativo de suas propriedades mecânicas, podendo ser também influenciado pelas características do substrato. O ensaio com o dinamômetro de tração também é influenciado pela umidade absorvida pelos revestimentos de argamassa, de modo que na medida em que se aumenta o teor de umidade, ocorre uma redução bastante significativa dos valores de resistência superficial à tração; quanto à sua aplicabilidade tem-se que o referido método avalia razoavelmente bem as características superficiais dos revestimentos de argamassa, contudo com algumas limitações, a exemplo, dos elevados coeficientes de variação observados, algo que compromete a acurácia dos resultados obtidos por meio dessa técnica. Por fim, o ensaio de esclerometria pendular não é influenciado pelas variações de umidade dos revestimentos de argamassa, entretanto se mostra eficaz no sentido de caracterizar argamassas de composições distintas.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos e da CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Brasil). Os autores agradecem também ao Laboratório Carlos Campos, ao CONSITRA – Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa e seus parceiros.

6. REFERÊNCIAS

- [1] CARASEK, H. Argamassas. In: _____. Livro Materiais de Construção Civil. 1. ed. São Paulo, IBRACON, 2007.
- [2] TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F. *et al.* Avaliação da influência das condições de execução do emboço na resistência de aderência do revestimento cerâmico externo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI., 2005. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005. P.454 – 465.
- [3] COLEN, I. F. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. Lisboa, 2009. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Portugal, 2009.
- [4] ISO 7361. *Performance Standards in Building – Presentation of Performance Levels of Façades made of Same-source components*. International Organization for Standardization. Switzerland, 1986.

- [5] ALVES, A. S. **Estudo da propriedade resistência superficial em revestimentos de argamassa**. Goiânia, 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.
- [6] CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo, 1995. Boletim 68.
- [7] VEIGA, M. R.; CARVALHO, F. *Experimental characterisation of lime based rendering and repointing mortars. Definition of relevant laboratorial and in situ tests*. Atenas, National Technical University of Athens, Dezembro de 2000.
- [8] COLEN, I. F.; BRITO, J.; FREITAS, V. P.; SILVA, L. A resistência superficial como característica de desempenho de rebocos exteriores. In: ENCONTRO SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, II, 2006. Portugal. **Anais...** Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006. 10p.
- [9] UZAC, R *et al. Essais de Qualification des Surfaces Peintes*. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Paris (89), Cahier 695, Juin 1966.
- [10] VEIGA, M.R. *et al.* Conservação e Renovação de revestimentos de Paredes de Edifícios Antigos, Coleção Conservação e Reabilitação de edifícios, Lisboa: LNEC, 2004, 126 p.
- [11] MAGALHÃES, A. C.; COSTA, D.; VEIGA, M. R. Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio *in situ*. Avaliação da resistência mecânica. In: ENCONTRO SOBRE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS, 3., 2003. Lisboa. **Actas...** Lisboa: LNEC, 2003.
- [12] ARAÚJO JR. J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- [13] RAMOS, D.V.M. **Avaliação da influência das elevadas temperaturas em concretos empregados em revestimentos de túneis**. Brasília, 2005. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- [14] EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 2002. 219 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- [15] PHOON, K.K., *et al.* *Development of statistical quality assurance criterion for concrete using ultrasonic pulse velocity method*, **ACI Material Journal**, September-October 1999, p.568-573.
- [16] GALLOWAY, J.W.; HARDING, H.M.; RAITHBY, K.D. (1979). Effect of moisture changes of flexural and fatigue strength of concrete. *Transport and Road Research Laboratory*, Nº 864.
- [17] GUO, J. S., WALDRON, P. (2001). An Elastic Model to Quantify the Effect of Moisture on the Mechanical Properties of Concrete at the Time of Test. *Magazine of ConcreteResearch*, 53(3), 151-162.