ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS DE ARGAMASSA

Tema: Desempenho de sistemas de revestimento.
Grupo: 1

DANIELA CASTRO SILVA[1], HELENA CARASEK[2], OSWALDO CASCUDO[3]

[1]Eng.ª Civil, PPG-GECON – Universidade Federal de Goiás/UFG, eng.danielacastro@gmail.com
[2] Prof.ª Dr.ª, PPG-GECON – Universidade Federal de Goiás/UFG, hcarasek@gmail.com
[3]Prof. Dr., PPG-GECON – Universidade Federal de Goiás/UFG, ocascudo@gmail.com

RESUMO
A escolha por sistemas construtivos não deve ser balizada somente pelo custo direto do produto ou serviço, é fundamental considerar fatores técnicos e de gestão. Quanto ao desempenho dos revestimentos de argamassa o principal parâmetro para avaliação é a resistência de aderência à tração. Essa pesquisa visa comparar os resultados de aderência de quatro sistemas de revestimentos de argamassa executados em uma obra residencial na cidade de Goiânia/GO. Constata-se que os sistemas mais industrializados apresentaram maiores resultados de aderência e menores coeficientes de variação.

Palavras-chave: revestimento, argamassa, resistência de aderência.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BOND STRENGTH TO TRACTION OF DIFFERENT MORTAR SYSTEMS

ABSTRACT
The choice for constructive systems should not be evaluated only by the direct cost of the product or service, it's fundamental to consider technical and management factors. Regarding to the rendering performance the main technical parameter for evaluation is the tensile bond strength. This research aims to compare the bond strength to traction test results of four mortar rendering systems executed in a residential project in the city of Goiânia/GO. It can be observed that the most industrialized systems presented the best bond strength results and lowest coefficients of variation.

Key-words: rendering, mortar, bond strength.

1. INTRODUÇÃO

É comum encontrar nos canteiros de obras diferentes sistemas, com maior ou menor grau de industrialização conforme o controle tecnológico da produção, da mistura e do método de aplicação. Mas, independentemente do tipo de argamassa, essa deve apresentar aderência ao substrato, baixa permeabilidade à água, resistência mecânica e capacidade de absorver pequenas deformações. Quanto ao desempenho dos revestimentos de argamassa o principal parâmetro para avaliação é a resistência de aderência à tração, sendo essa propriedade influenciada pela reologia da argamassa, pelo método de aplicação, por características do substrato, por fatores externos e pela idade[1].

Quanto à execução, o método de lançamento da argamassa de revestimento pode ser manual ou por projeção mecanizada. Costa e Silva, Mota e Barbosa[2], Zanelatto *et al*.[3], Dal Bello *et al*.[4] e Ruffeil *et al*.[5] concluem que revestimentos produzidos com argamassa projetada apresentam resultados de resistência de aderência superiores (e com menores coeficientes de variação), quando comparados aos revestimentos aplicados manualmente.

Devido à complexidade de se controlar as variáveis em canteiro de obra e por saber que esses fatores afetam o desempenho do revestimento, propõe-se analisar comparativamente os resultados de resistência de aderência à tração de quatro sistemas de revestimento de argamassa executados em um canteiro de obra na cidade de Goiânia/GO, bem como objetiva-se identificar a influência dos métodos de aplicação dos revestimentos nesses resultados.

2. MATERIAIS E MÉTODO

A pesquisa foi realizada em uma obra residencial de alto padrão, composta por duas torres de 30 pavimentos. A alvenaria de vedação foi construída com blocos cerâmicos e o revestimento interno executado com argamassa industrializada armazenada em silo, aplicada por projeção mecânica. Além de monitorar o sistema de revestimento adotado pela obra, o estudo também selecionou outros três sistemas para a análise comparativa, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Sistemas de revestimento de argamassa estudados

Descrição Completa	Descrição Resumida	Abreviação
Argamassa industrializada armazenada em silo, com aplicação mecanizada via projeção por bomba.	Silo Projetada	SiP
Argamassa industrializada ensacada, com aplicação mecanizada via projeção por bomba.	Ensacada Projetada	EnP
Argamassa dosada em central (usinada/estabilizada), com aplicação manual.	Usinada Projetada	UsM
Argamassa preparada em obra com aplicação manual.	Preparada em Obra Manual	PrM

2.1. Apresentação dos sistemas de revestimento

O fornecedor das argamassas SiP e EnP não disponibilizou informações referentes à composição e ao traço, salientou tratar-se do mesmo produto, mas com modo de disponibilização diferente (granel/silo e ensacado). Na obra, as argamassas SiP e EnP foram transportadas secas até o pavimento (SiP bombeada em pó do silo até o pavimento de aplicação por meio de um compressor de ar), a dosagem de água e a mistura ocorreram por equipamento misturador. Essas argamassas foram projetadas mecanicamente de forma contínua; logo após a aplicação foi executado o alisamento e após caracterizado o tempo de "puxamento", deram-se as etapas de sarrafeamento e desempeno.

Quanto à argamassa usinada, sabe-se que foi fabricada com cimento CP II F 40, sem cal, com areia fina e com aditivos estabilizador e incorporador de ar (consumo de cimento de 240 kg/m³). O traço da argamassa preparada em obra foi determinado pela construtora do empreendimento, sendo o traço padrão: um saco de cimento comum de 50 kg, 2 carrinhos de mão de areia grossa peneirada e 4 carrinhos de argamassa intermediária (cal hidratada e areia), resultando em uma proporção aproximada desses constituintes de 1:2,8:5,7, em volume. O processo de aplicação das argamassas UsM e PrM foi manual (com as etapas de "aperto", sarrafeamento, calafetação e desempeno).

2.2. Critérios de padronização das paredes e realização dos ensaios

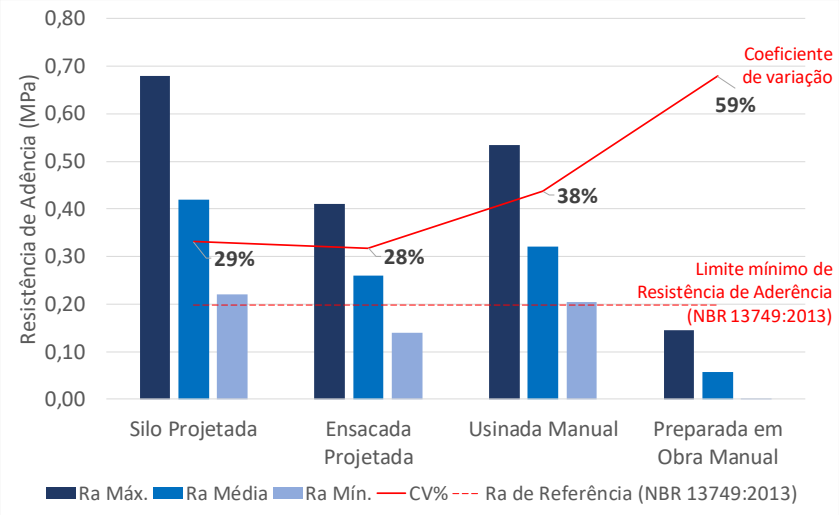
Para a padronização das paredes a serem ensaiadas foram estabelecidos alguns controles de variáveis, como o tipo de bloco cerâmico (mesmo fabricante, pois na obra estavam sendo utilizados dois tipos), a localização das paredes (mesma prumada), a espessura do revestimento (medida das taliscas de 2,0 $\pm$ 0,2 cm), a divisão das paredes em três níveis de altura para avaliação do impacto da ergonomia (faixa inferior de 30 a 90 cm; faixa intermediária de 90 a 150 cm e faixa superior de 150 a 210 cm), e a idade dos ensaios (todos executados com 28 ± 1 dias). Salienta-se que para a produção dos revestimentos, aplicados em camada única, não foram realizadas a aplicação de chapisco e tampouco cura úmida; conforme procedimentos adotados na obra para os revestimentos internos. Não foi possível padronizar a mão de obra de aplicação, logo, atribui-se que cada parede ensaiada foi executada por um operário diferente. Os ensaios de determinação da resistência de aderência à tração foram realizados com os revestimentos secos, entre os meses de abril e junho de 2017, seguindo as prescrições da norma ABNT NBR 13528:2010[(6)]. Foram monitoradas quatro paredes, uma para cada sistema, sendo executado um ensaio, composto por 12 corpos de prova (CPs), por parede.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 1 resume os resultados de resistência de aderência (Ra) obtidos para os diferentes sistemas; com valores médios, maiores e menores valores e coeficiente de variação. A NBR

13749:2013[7] estabelece que para revestimentos de argamassa de paredes internas a resistência de aderência à tração (Ra) deve ser igual ou superior a 0,20 MPa (8 em cada 12 CPs, ou seja ~ 70% dos CPs).

Figura 1 – Resultados de resistência de aderência à tração dos sistemas estudados



Fonte: Elaborada pelos autores

Com exceção do sistema PrM, os demais apresentaram resistência média acima de 0,20 MPa, bem como mais de 70% dos resultados individuais superiores ao limite mínimo. Quanto aos sistemas SiP e EnP, o fabricante afirma que o produto (argamassa em pó) era o mesmo. Considerando que em ambos a aplicação foi mecanizada, a diferença de mão de obra fica minimizada; dois fatores podem, então, justificar a redução de 38% na aderência do sistema EnP, quais sejam a variação do produto e a relação água/cimento. A parede SiP foi executada em março/2017 e a parede EnP em maio/2017; provavelmente são lotes diferentes de materiais, todavia, por serem produtos industrializados, acredita-se que o fabricante tenha um rígido controle sobre os seus processos, havendo uma margem de variação prevista e aceitável. No que se refere à relação água/cimento, os equipamentos de mistura e de aplicação das argamassas não eram iguais, mas ambos controlavam a dosagem de água. Destaca-se que os operários mencionavam ter maior dificuldade na execução do revestimento EnP e foi observado que, nos dois sistemas (SiP e EnP), os pedreiros, por vezes, tinham o hábito de adicionar água na argamassa antes da projeção; esse procedimento, não recomendado pelo fabricante, pode ter impactado mais consideravelmente no resultado do sistema EnP. Antunes[8] explica que o aumento do teor de água na mistura enfraquece as propriedades mecânicas da argamassa, mas que, até certo ponto, esse fator pode aumentar os valores de aderência, visto que melhora a plasticidade e, consequentemente, a extensão de aderência. Porém, o limite ótimo deve ser observado, pois, se for ultrapassado, o revestimento tende a apresentar aderência e resistência superficial reduzidas, bem como elevada permeabilidade.

A diferença entre os equipamentos de projeção e seus componentes também podem influenciar nas características do produto final. Por exemplo, no fim da vida útil de um rotor ou um estator, o desgaste das peças por abrasão acaba por influenciar o operário a adicionar água à argamassa, tornando a mistura mais fluida a fim de facilitar a projeção.

O sistema UsM, mesmo com aplicação manual, obteve resultados de Ra superiores aos do sistema EnP, isso pode ser um indicativo de um elevado consumo de cimento na argamassa usinada. Carasek[9] alerta que argamassas com essa característica podem resultar em revestimentos com menor durabilidade, visto que misturas muito ricas em cimento são mais rígidas e tendem a fissurar e perder resistência ao longo do tempo.

Além do método de aplicação, o desempenho superior das argamassas industrializadas deve-se à presença de aditivos (podendo ser plastificantes, incorporadores de ar, retentores de água e retardadores de pega), pois, quanto adicionados à mistura, modificam uma ou mais propriedades da argamassa em seus estados fresco e endurecido.

Os dados indicam Ra mediana de 0,42 MPa, 0,25 MPa, 0,27 MPa e 0,05 MPa para os sistemas SiP, EnP, UsM, PrM, respectivamente. Ao calcular a média, o resultado é afetado pelos valores extremos, seja pelas resistências muito altas ou muito baixas. Em um conjunto de dados com uma distribuição normal, a média é igual à mediana, mas isso não ocorre quando há a presença de valores atípicos, o que sinaliza uma assimetria na distribuição dos resultados. Observa-se que para o sistema UsM a aderência média é 0,32 MPa e a mediana é 0,27 MPa, isso denota que no conjunto de dados (12 CPs) há uma concentração de valores mais baixos e a ocorrência de valores altos com pouca incidência, ou seja, o valor médio de Ra do sistema UsM foi afetado por esse fator, todavia, isso não ocorre com a mediana, pois o cálculo não sofre interferência de distribuições numéricas distorcidas.

Quanto ao sistema PrM, nem a aderência máxima obtida atingiu o valor normativo, o que traz à reflexão quanto à produção de argamassas em canteiros de obras. Mesmo para construtoras com anos de experiência no mercado, com um sistema de gestão da qualidade certificado, com mão de obra treinada e com um traço padrão ensaiado, é possível se deparar com revestimentos de má qualidade. Isso se justifica, principalmente, pela complexidade de se controlar a qualidade dos insumos e também o processo de produção da argamassa, fatores esses que provavelmente afetaram os resultados do sistema PrM. Entretanto, revestimentos com essa característica são capazes de apresentar Ra médias superiores a 0,20 MPa. Carasek *et al.*[10], ao avaliarem um grande conjunto de dados de obras, obtiveram média de 0,23 MPa (e coeficiente de variação de 49%) para sistemas executados com argamassas produzidas em obras e aplicados em diferentes tipos de substrato, constatando que, comparado a outros sistemas, o PrM é o que apresenta os menores valores de aderência e altos coeficientes de variação.

As quatro paredes foram ensaiadas em três faixas de altura, com o objetivo de se avaliar a influência da ergonomia do operário, durante o lançamento da argamassa, na resistência de

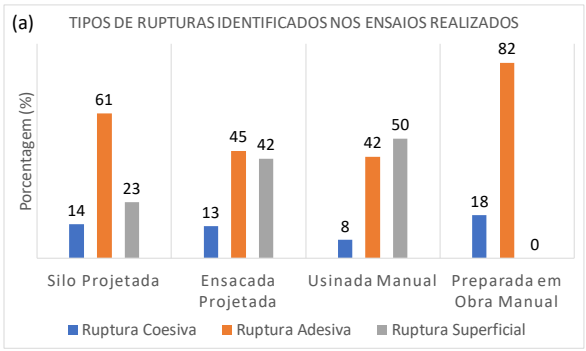
ISSN 1984-8757

aderência. Para tanto, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) nos conjuntos de dados, sendo observado que, nos sistemas SiP e EnP, a aplicação em diferentes níveis de altura não interfere significativamente no resultado médio de Ra. Quanto ao sistema UsM, a hipótese nula do teste é rejeitada, sendo identificada, pelo teste de Tukey, que a significância está entre as médias de aderência da faixa superior em comparação à faixa inferior. O resultado da ANOVA não apresentou significância no sistema PrM, possivelmente em decorrência dos baixos valores de Ra. Gonçalves e Bauer[11] e Carasek *et al*.[12] também observaram que a resistência de aderência é influenciada pela posição do operário ao aplicar a argamassa no substrato.

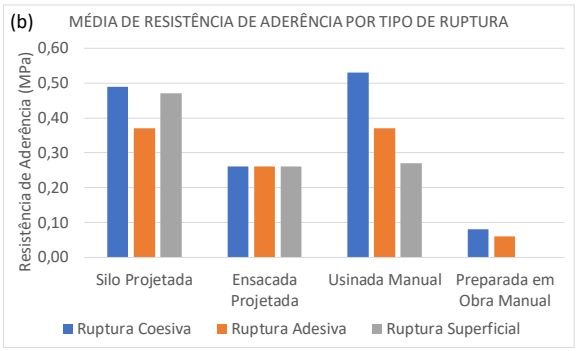
No que se refere ao coeficiente de variação (CV) é possível observar que para os sistemas com aplicação manual do revestimento houve uma maior variabilidade dos dados em relação à média, significando que para os sistemas aplicados mecanicamente o conjunto de dados ensaiados era mais homogêneo, situação que está relacionada à menor influência do fator humano no lançamento da argamassa.

Nos ensaios, a maioria das rupturas deu-se em região sobre o bloco cerâmico. A porcentagem de ruptura na região de junta da alvenaria (horizontal e vertical) foi de 13% para SiP, 10% para EnP, 7% para UsM e 12% para PrM. As rupturas coesivas ocorreram predominantemente na região de junta; nos sistemas com aplicação manual, principalmente o PrM, foram identificadas rupturas em locais de “cheia”, por esse motivo o sistema PrM chegou a 18% de ruptura coesiva. Com exceção do sistema UsM, os demais apresentaram maior porcentagem de ruptura adesiva, conforme Figura 2a.

Figura 2 – Tipos de rupturas: (a) por sistema; (b) relacionados à resistência de aderência



Fonte: Elaborada pelos autores



Fonte: Elaborada pelos autores

Observa-se na Figura 2b que para o sistema SiP as médias de Ra das rupturas superficial e coesiva foram superiores a 0,40 MPa, enquanto que a média de Ra da ruptura adesiva foi de 0,37 MPa, isso denota que o conjunto de dados ligados à ruptura adesiva contribuiu para uma redução do valor médio de Ra do sistema. No sistema UsM fica evidenciado que a ruptura superficial influenciou na redução da Ra média, visto que ocorre em 50% dos CPs e com uma aderência média de 0,27 MPa. Apesar do sistema PrM apresentar um pequeno aumento de

Ra nas rupturas coesivas, isso não foi suficiente para elevar a Ra média do ensaio, pois a incidência de ruptura adesiva foi de 82%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escolha por sistemas e processos construtivos não deve ser definida somente pelo custo direto do produto ou serviço, é fundamental considerar fatores técnicos e de gestão. Quanto ao desempenho dos revestimentos de argamassa o principal parâmetro para avaliação é a resistência de aderência à tração.

Constatou-se na presente pesquisa que os sistemas mais industrializados (de argamassas industrializadas aplicadas por projeção mecanizada) apresentaram melhores resultados de resistência de aderência e menores coeficientes de variação, todavia, uma possível variabilidade na fabricação do produto deve ser investigada. A adição de água à argamassa, acima do recomendado pelo fabricante, pode implicar na redução dos valores de aderência e de resistência superficial, aspecto que possivelmente justifica o comportamento do sistema executado com argamassa ensacada projetada.

Salienta-se que o desempenho superior das argamassas industrializadas, quando comparadas à argamassa preparada em obra, deve-se também à presença de aditivos, os quais tendem a potencializar algumas características dessas argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

Ao analisar a influência da ergonomia do operário nos resultados de resistência de aderência, observou-se no revestimento de argamassa usinada, aplicada manualmente, uma diferença significativa das médias, denotando que o método de aplicação manual promove uma variação da energia de lançamento da argamassa. Esse impacto da ergonomia não foi identificado nos sistemas com projeção mecânica.

Com exceção do sistema de argamassa usinada, os demais apresentaram maior incidência de ruptura adesiva; mas, esse rompimento na interface entre a argamassa e o substrato é mais significativo no sistema executado com argamassa preparada em obra com aplicação manual, visto que, associado à baixa resistência de aderência, tende a potencializar possíveis manifestações patológicas.

Nesse contexto, a industrialização dos sistemas de revestimento evidencia um processo construtivo mais eficiente, contudo, interferências da mão de obra devem ser mitigadas, principalmente quando na execução de revestimentos de fachada. Os elevados coeficientes de variação ligados aos sistemas com aplicação manual corroboram a justificativa de que o método de aplicação interfere na qualidade do revestimento. A resistência de aderência à tração é uma propriedade que pode ser afetada por diferentes variáveis, sendo o caminho da industrialização a melhor opção para se ter revestimentos de mais duráveis.

5. REFERÊNCIAS

1. CARASEK, H. Argamassas. *In:* Isaia, G.C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 3ª ed. São Paulo: IBRACON, 2017, v. 2, cap. 28, p. 922-969.

2. COSTA E SILVA, A. J.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R. Avaliação da influência da altura na resistência de aderência de argamassas de revestimento aplicadas por projeção mecânica. *In:* X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2013, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2013, 13p.

3. ZANELATTO, K. C.; BARROS, M. M. S. B.; MONTE, R.; SABBATINI, F. H. Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento de revestimento de argamassa aplicado com projeção mecânica contínua. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 87-109, abr./jun. 2013.

4. DAL BELLO, A. C.; CECHIN, G.; MASUERO, A. B.; STOLZ, C., SANTOS NETO, R.; ZUCCHETTI, L. Estudo comparativo da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa aplicados manualmente e com projeção mecânica contínua. *In:* XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2017, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. São Paulo: USP, 2017, 13p.

5. RUFFEIL, L. C.; SILVA, A. A.; GRISOLIA, B. B.; FONSECA, K. R.; RODRIGUES, P. M.; BORDALO, C. V. S.; PAES, I. N. L. Análise das características mecânicas e de desempenho de argamassa projetada: estudo de caso. *In:* XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2017, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2017, 9p.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010, 11p.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: Especificação. Rio de Janeiro, 2013, 8p.

8. ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** 2005. 162 p. Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2005.

9. CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. *In:* II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1997, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997, 14p.

10. CARASEK, H.; MALAGONI, M.; TERRA, V.; GIRARDI, A.; ARAÚJO, R. Análise de resultados de resistência de aderência de revestimentos de argamassa obtidos em obras. *In:*

XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2017, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2017, 10p.

11. GONÇALVES, S. R. C.; BAUER, E. Estudo de caso da variação da resistência de aderência à tração em uma parede. *In:* VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS / I *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY*, 2005, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ANTAC, 2005, 6p.

12. CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, M.S.J.; LEMES, N. Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa. Revista **ALCONPAT**, v.1, n.2, p. 118-140, mai./ago. 2011.