KÁTIA CRISTINA ZANELATTO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE EXECUÇÃO NO
COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA
APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA

São Paulo
2012

KÁTIA CRISTINA ZANELATTO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE EXECUÇÃO NO
COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA
APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

São Paulo
2012

KÁTIA CRISTINA ZANELATTO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA TÉCNICA DE EXECUÇÃO NO
COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA
APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Área de Concentração
Engenharia de Construção Civil

Orientadora: Professora Doutora
Mércia Maria Semensato Bottura de
Barros

São Paulo
2012

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de novembro de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Zanelatto, Kátia Cristina

Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua / K.C. Zanelatto. -- ed.rev. -- São Paulo, 2012. 123 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Argamassa 2.Revestimento de fachadas (Desempenho; Projeção; Propriedades; Comportamento I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

DEDICATÓRIA

Às minhas avós, pelo exemplo de alegria, paciência e bondade.
Às minhas sobrinhas, pelos momentos de intensa alegria.
Ao meu marido, pelo apoio, compreensão e amor.
À minha irmã, pela amizade e cumplicidade.
Aos meus pais, por tudo que sou e serei.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Mércia Maria Semensato Bottura de Barros, pela seriedade, profissionalismo e dedicação com que conduziu as orientações dadas a este trabalho e com que conduz a pesquisa científica dentro da universidade. Por me mostrar os caminhos seguros e pela paciência em esperar por meu amadurecimento para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Ao professor Fernando Henrique Sabbatini, pela importante contribuição dada nas etapas de avaliação experimental e análise dos resultados; mas, mais do que tudo, pelo exemplo de determinação em mostrar que a teoria e a prática podem caminhar juntas em busca de uma construção civil mais responsável e profissional.

Ao professor Antonio Figueiredo, pela participação na banca de qualificação e pelas importantes contribuições dadas para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores da FAU e da Escola Politécnica, pelos ensinamentos passados, que contribuíram não somente para o desenvolvimento deste trabalho, mas também para a minha formação acadêmica e profissional.

À minha mãe, Maria Emília Bizzo Zanelatto, e ao meu pai, Luiz Carlos Zanelatto, por terem proporcionado, sem medir esforços, todos os meios necessários para que eu pudesse me tornar quem sou.

Ao meu amado marido, Rafael Couto Rodrigues de Oliveira, por acreditar sempre, por me confortar e ser paciente nos momentos difíceis, por me ajudar a enxergar caminhos possíveis para continuar e por ter comemorado intensamente as pequenas e importantes vitórias que se deram ao longo deste percurso.

À minha irmã, Ana Paula Zanelatto Fowler, e ao meu cunhado, Fábio Fowler, pelo incentivo, pela paciência com minhas ausências e pelas revisões dos textos em inglês, e às minhas queridas sobrinhas, Natália Bevilacqua Fowler e Camila Bevilacqua Fowler, por proporcionarem momentos de intensa alegria nos últimos anos.

Às empresas Cyrela Construtora e Living Construtora, pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa, e aos meus gestores Antonio Carlos Zorzi,

Alexandre Amado Britez, Fábria Cristina Marcondes e Felipe Cunha, pela compreensão que demonstraram durante o desenvolvimento deste trabalho.

Às minhas amigas e colegas de trabalho, Suellen Camargo e Raquel Massami Silva, por terem colaborado para o desenvolvimento do trabalho de campo, contribuindo não somente com suas observações e coleta de informações, como também com a sua amizade e companheirismo.

Ao mestre Daniel Teixeira de Freitas, por suas importantes contribuições na etapa de avaliação experimental e por mostrar o verdadeiro sentido da palavra mestre de obras.

Aos operários do laboratório de desenvolvimento de tecnologias construtivas da Living Construtora e da obra Jardim Mirassol, em especial Josuel, Carlos, Severino e Damião, por terem contribuído com carinho e presteza na execução dos painéis de revestimento.

À Renata Monte, por ter auxiliado na etapa de análise estatística, dando uma contribuição valiosa para a avaliação dos resultados e conclusão da pesquisa.

Aos meus amigos, especialmente àqueles que acreditaram e deram apoio nos momentos difíceis, afirmando, sem hesitar, que tinham certeza de que eu conseguiria. Especialmente, às minhas queridas amigas: Ana Paula Cavaleiro, Ana Lúcia Golin Aburaya, Beatriz Fujinaka, Giovana Avancini, Kátia de Mello Cypriano, Larissa Rosso, Luana Sato e Mariana Siqueira, pela compreensão de minha intensa ausência no decorrer desta etapa de minha vida.

Às minhas queridas avós, Maria Bortolucci Bizzo e Violanda Morellato Zanelatto, que tanto torceram, mas que, infelizmente, não puderam vivenciar este momento.

Meu muito obrigada!

“A ciência do arquiteto é ornada de muitas disciplinas e de vários saberes, estando a sua dinâmica presente em todas as obras oriundas das restantes artes. Nasce da prática e da teoria. A prática consiste na preparação contínua e exercitada da experiência, a qual se consegue manualmente a partir da matéria, qualquer que seja a obra de estilo cuja execução se pretende. Por sua vez, a teoria é aquilo que pode demonstrar e explicar as coisas trabalhadas proporcionalmente ao engenho e à racionalidade”.

(Vitruvius Pollio, séc. A.C.)

RESUMO

No Brasil, a quase totalidade dos edifícios habitacionais empregam revestimentos de argamassa em suas fachadas. Este revestimento vem passando por alterações significativas ao longo do tempo, dentre as quais se destaca a substituição do lançamento manual de argamassas pela projeção, por meio de equipamentos mecânicos, em especial a aplicação mecanizada contínua, com bombas helicoidais. Acredita-se que este sistema, por possibilitar o fluxo contínuo na etapa de aplicação e promover a diminuição da interferência das habilidades dos operários durante a execução, permite alcançar maior produtividade e melhorar a qualidade dos revestimentos, mas as diferentes técnicas de execução empregadas para a produção dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua ainda não foram avaliadas sistemicamente quanto à sua interferência no comportamento destes revestimentos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência de algumas variáveis empregadas na execução dos revestimentos de fachada de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, no seu comportamento, mais especificamente na adesão inicial, fissuração e aderência. Estas variáveis foram selecionadas através de um levantamento bibliográfico e aplicadas a um estudo experimental, no qual foram executados vinte e sete painéis de revestimento, para verificação da influência das variáveis no comportamento destes revestimentos. Ao final, foram apresentados e avaliados os resultados obtidos, por meio de análises qualitativas (adesão inicial e fissuração) e quantitativas (no caso de resistência de aderência). Os resultados obtidos permitiram concluir que, apesar de haver um acréscimo significativo da resistência de aderência à tração com a projeção mecânica contínua da argamassa, em comparação à aplicação manual, o teor de água das argamassas, associado à condição de umidade do substrato e ao tempo entre demãos, e as técnicas de acabamento da superfície do revestimento podem influenciar significativamente o comportamento dos revestimentos, aumentando ou diminuindo a resistência de aderência.

Palavras-chave: Revestimento de fachada. Revestimento de argamassa. Projeção de argamassa. Propriedades dos revestimentos. Aderência.

ABSTRACT

In Brazil, almost all residential buildings make use of exterior cement-based rendering. This rendering has been going through significant changes over time, among which the substitution of hand application of the mortar by mechanical methods of application, in particular the wet spraying method using rotor type machines. It is believed that this system, by allowing the continuous flow in the application step and reducing user skill interference, promotes greater productivity and helps to increase the quality of the rendering, but the different execution techniques employed in its production still haven't been systematically evaluated regarding their interference in the rendering's behavior. Hence, the objective of this study is to evaluate the influence of some variables related to the execution techniques of exterior cement-based rendering applied with the wet spraying method using rotor type machines on their behavior, more specifically on initial bonding, cracking and adhesion. These variables were selected through bibliographic data gathering, and then applied to an experimental study on which twenty seven rendering panels were executed for the verification of the influence of the variables on their behavior. The results were presented and evaluated by qualitative (in the case of initial bond and cracking) and quantitative analyses (in the case of adhesion). The results obtained allowed to conclude that, despite a significant increase in adhesion with the mechanical projection of the mortar compared to manual application, the water content of the mortar, associated with substrate moisture condition and time between coatings, as well as the techniques of surface finishing of the coating may affect the rendering quality by increasing or decreasing the adhesion strengths.

Keywords: Building Façade. Mortar rendering. Mortar spraying. Render properties. Adhesion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapa de aperto realizada com colher de pedreiro.....	8
Figura 2 - Etapa de alisamento realizada com régua H	8
Figura 3 - Sarrafeamento tradicional: corte do excesso de argamassa	8
Figura 4 - Raspagem: remoção do excesso de argamassa com régua H.....	8
Figura 5 - Transporte manual dos sacos	32
Figura 6 - Transporte do palete com grua	32
Figura 7 - Transporte dos sacos com carrinho plataforma	32
Figura 8 - Posicionamento do silo sobre base de concreto	33
Figura 9 - Caminhão graneleiro para abastecimento do silo com argamassa.....	33
Figura 10 - Compressor de ar	34
Figura 11 - Moega acoplada na misturadora.....	34
Figura 12 - Sensor de nível de argamassa.....	34
Figura 13 - Misturador contínuo	36
Figura 14 - Misturador contínuo acoplado ao silo.....	36
Figura 15 - Bomba associada ao misturador.....	37
Figura 16 - Bomba de projeção independente	37
Figura 17 - Argamassa dentro do reservatório da bomba de projeção.....	37
Figura 18 - Rosca metálica posicionada dentro do reservatório.....	37
Figura 19 - Misturador posicionado sobre a bomba	38
Figura 20 - Misturador posicionado sobre caixote (disposição não recomendada) ...	38
Figura 21 - Misturadora e projetora	38
Figura 22 - Misturadora e projetora	38
Figura 23 - Misturadora e projetora	38
Figura 24 - Misturadora e projetora	38
Figura 25 - Caixa alimentadora com caracol de transporte	39
Figura 26 - Câmara de mistura.....	39
Figura 27 - Esquema ilustrativo de um equipamento de mistura e projeção.....	39
Figura 28 - Rotâmetro localizado na misturadora e projetora de argamassa.....	40
Figura 29 - Detalhe do rotâmetro indicando a vazão em litros / hora	40
Figura 30 - Misturador contínuo sob silo	41
Figura 31 - Misturador integrado à bomba helicoidal sob silo	41
Figura 32 - Bomba helicoidal: rotor	42
Figura 33 - Bomba helicoidal: estator.....	42

Figura 34 - Mangueira para transporte da argamassa	43
Figura 35 - Pistola de projeção.....	43
Figura 36 - Bico metálico e bico de fibra de nylon.....	44
Figura 37 - Bico metálico e bico de fibra de nylon.....	44
Figura 38 - Talisca de argamassa e cerâmica.....	49
Figura 39 - Talisca de madeira fixada com prego na alvenaria.....	49
Figura 40 - Aplicação da argamassa entre taliscas.....	50
Figura 41 - Mestra após a remoção do excesso com régua metálica	50
Figura 42 - Posicionamento da pistola em relação ao substrato.....	51
Figura 43 - Projeção da argamassa: aplicação em forma de filetes.....	51
Figura 44 - Aperto com colher de pedreiro	53
Figura 45 - Alisamento com régua H.....	53
Figura 46 - Detalhe de inclinação da régua na etapa de alisamento da argamassa fresca.....	54
Figura 47 - Sarrafeamento tradicional	55
Figura 48 - Raspagem.....	57
Figura 49 - Desempeno com desempenadeira de PVC	58
Figura 50 - Desempeno com desempenadeira de PVC	58
Figura 51 - Substrato definido em laboratório	78
Figura 52 - Substrato definido em campo.....	78
Figura 53 - Equipamento de mistura e projeção de argamassa	79
Figura 54 - Bomba helicoidal (estator).....	79
Figura 55 - Talisca de madeira fixada na junta de assentamento da alvenaria.....	80
Figura 56 - Fixação da talisca de madeira na junta de assentamento da alvenaria ..	80
Figura 57 - Desplacamento	82
Figura 58 - Deslizamento da argamassa sobre o substrato	82
Figura 59 - Presença de ondulação	83
Figura 60 - Fissuração excessiva.....	83
Figura 61 - Corte do revestimento até o substrato com auxílio do gabarito de madeira	85
Figura 62 - Colagem das pastilhas metálicas.....	85
Figura 63 - Extração do corpo de prova	85
Figura 64 - Projeção.....	88
Figura 65 - Alisamento	88
Figura 66 - Raspagem.....	88
Figura 67 - Desempeno.....	88

Figura 68 - Argamassa aplicada em uma demão	88
Figura 69 - Argamassa aplicada em duas demãos, distância da pistola ao substrato - 15 cm.....	88
Figura 70 - Distância da pistola ao substrato - 50 cm	88
Figura 71 - Aplicação da primeira demão de argamassa	89
Figura 72 - Aplicação da segunda demão de argamassa (após 30 minutos).....	89
Figura 73 - Projeção da primeira demão de argamassa.....	89
Figura 74 - Projeção da segunda demão de argamassa.....	89
Figura 75 - Alisamento do painel de revestimento após a projeção	89
Figura 76 - Resistência de aderência em função de: (a) tempo entre demãos em min (b) intervalo para acabamento superficial em min	92
Figura 77 - Projeção da argamassa	95
Figura 78 - Espalhamento da argamassa.....	95
Figura 79 - Raspagem.....	95
Figura 80 - Desempeno.....	95
Figura 81 - Lançamento manual.....	96
Figura 82 - Aplicação com desempenadeira	96
Figura 83 - Projeção mecânica.....	96
Figura 84 - Resistência de aderência em função de: (a) umidade da argamassa x condição de umidade do substrato x tempo entre demãos; (b) forma de aplicação da argamassa (c) técnica de acabamento superficial.....	98
Figura 85 - Escorregamento da argamassa sobre o substrato.....	101
Figura 86 - Formação de bolhas de ar sob a camada de argamassa	101
Figura 87 - Fissuras no revestimento após espalhamento	101
Figura 88 - Fissuras no revestimento após o endurecimento da argamassa	101
Figura 89 - Resistência de aderência em função das condições de exposição do painel: 1 - laboratório, 2 - campo	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistência de aderência à tração.....	91
Gráfico 2 - Porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova	91
Gráfico 3 - Resistência de aderência à tração.....	97
Gráfico 4 - Porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normalização nacional e internacional	26
Quadro 2 - Formas de recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de materiais, identificadas em campo	35
Quadro 3 - Alternativas para recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de argamassa no canteiro de obras	35
Quadro 4 - Equipamentos utilizados para mistura e bombeamento da argamassa, identificados em campo	44
Quadro 5 - Alternativas de composição do sistema de mistura e bombeamento da argamassa.....	45
Quadro 6 - Principais características identificadas na produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica, identificadas em campo	59
Quadro 7 - Principais características e variáveis identificadas para produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua.....	59
Quadro 8 - Variáveis definidas para avaliação experimental.....	77
Quadro 9 - Caracterização do bloco de concreto	78
Quadro 10 - Caracterização da argamassa: métodos de ensaio e resultados	84
Quadro 11 - Ensaio de resistência de aderência à tração	85
Quadro 12 - Variáveis atribuídas aos painéis 1L ao 15L (laboratório).....	87
Quadro 13 - Resultados da avaliação visual	90
Quadro 14 - Resultados da ANOVA da avaliação experimental em laboratório.....	93
Quadro 15 - Variáveis atribuídas aos painéis de 1C a 12C (campo).....	94
Quadro 16 - Resultados da ANOVA da avaliação experimental em campo.....	99

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society for Testing and Materials
BS	British Standard
BSI	British Standard Institute
CEN	Committee for European Standardization
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DTU	Documents Techniques Unifiés
EN	European Standard
Epusp	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
IRA	Índice de Absorção Inicial
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalisation Française
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	9
1.3. METODOLOGIA	10
1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	13
2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO	16
2.1. HISTÓRICO	16
2.2. TERMINOLOGIA E NORMALIZAÇÃO	22
2.3. SISTEMAS DE PROJEÇÃO	27
2.4. MATERIAIS	29
2.5. PRODUÇÃO DA ARGAMASSA	31
2.5.1. Recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de materiais.	31
2.5.2. Mistura e bombeamento da argamassa.....	36
2.6. PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO	45
2.6.1. Preparação do substrato.....	46
2.6.2. Definição das referências de espessura	49
2.6.3. Projeção da argamassa	50
2.6.4. Alisamento.....	52
2.6.5. Acabamento superficial.....	55
3. O COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS INFLUENCIADO PELA TÉCNICA DE EXECUÇÃO.....	61
3.1. COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	61
3.1.1. Adesão inicial	61
3.1.2. Fissuração.....	62
3.1.3. Aderência	64
3.2. FATORES RELACIONADOS ÀS TÉCNICAS E ÀS CONDIÇÕES VARIÁVEIS IDENTIFICADAS EM CANTEIRO QUE INTERFEREM NO COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS.....	65
3.2.1. Teor de umidade da argamassa	66
3.2.2. Condição de umidade do substrato	67
3.2.3. Intervalo de tempo entre demãos	69

3.2.4. Técnica de aplicação da argamassa	70
3.2.5. Compressão da argamassa contra o substrato.....	71
3.2.6. Técnica de acabamento superficial	72
4. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	75
4.1. AMBIENTE DE PESQUISA	75
4.2. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL.....	76
4.3. VARIÁVEIS ESTUDADAS.....	76
4.4. CONDIÇÕES FIXAS	77
4.4.1. Substratos	78
4.4.2. Equipamento	79
4.4.3. Características dos painéis de revestimento executados	79
4.4.4. Materiais	81
4.5. MÉTODO DE AVALIAÇÃO.....	84
4.5.1. Adesão inicial	84
4.5.2. Fissuração.....	84
4.5.3. Aderência	85
5. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL	87
5.1. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO.....	87
5.1.1. Execução dos painéis	87
5.1.2. Resultados.....	90
5.2. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL EM CAMPO.....	93
5.2.1. Execução dos painéis	93
5.2.2. Resultados.....	96
5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	100
5.3.1. Distância de projeção da argamassa	100
5.3.2. Número e espessura das demãos	100
5.3.3. Intervalo de tempo entre demãos	102
5.3.4. Tempo para realização do acabamento superficial	103
5.3.5. Teor de umidade da argamassa	104
5.3.6. Condição de umidade do substrato	104
5.3.7. Forma de aplicação da argamassa.....	105
5.3.8. Técnica de acabamento da camada.....	106

5.3.9. Interação entre as variáveis.....	107
5.3.10. Influência das condições de exposição do painel	108
6. CONCLUSÕES	110
6.1. QUANTO À INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NO COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	110
6.2. RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA	111
6.3. QUANTO AO CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DESTA PESQUISA	112
6.4. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

No Brasil, a quase totalidade dos edifícios habitacionais empregam revestimentos de argamassa em suas fachadas, tanto como base para a pintura, como para outros tipos de acabamento (BRITEZ, 2007; TEMOCHE-ESQUIVEL; BARROS; SIMÕES, 2005).

O revestimento de argamassa é definido pela ABNT NBR 13529 (1995) como o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber o acabamento decorativo (pintura, cerâmica ou outro tipo de acabamento) e, uma vez que estes revestimentos são considerados parte integrante das vedações verticais (BAÍÁ; SABBATINI, 2000), exercem papel de fundamental importância no desempenho e durabilidade dos edifícios, tendo, conforme apontam Sabbatini (1990) e Selmo (1989), como suas principais funções:

- Proteger as vedações verticais contra os diversos agentes agressivos, contribuindo para a estanqueidade, habitabilidade, segurança e a saúde dos usuários e aumentando sua durabilidade.
- Auxiliar as vedações verticais no cumprimento de suas funções, contribuindo para o conforto higroscópico, térmico e acústico dos ambientes.
- Regularizar o substrato a ser revestido, cobrindo eventuais irregularidades e propiciando uma superfície uniforme e adequada para o recebimento de outros revestimentos ou da camada de acabamento.
- Proporcionar o acabamento final, relacionado com a valorização e com a definição de um padrão estético para a edificação.

Além de suas funções no edifício, os revestimentos de argamassa são responsáveis por uma porcentagem significativa dos custos das edificações. Por meio de um levantamento realizado, em 2011, junto a uma construtora nacional, identificou-se que, em empreendimentos habitacionais multipavimentos de médio a alto padrão, os revestimentos de fachada de argamassa variavam de 2,7 a 4,3 % do custo total da

obra, com valores médios de 3,4%, demandando elevado consumo de material e prazos extensos para sua execução.

Apesar da influência que exercem no desempenho, durabilidade, custo e prazo de execução, há ainda uma discrepância muito grande no grau de racionalização atingido entre as empresas do setor, identificada por Souza (2001) e Souza et al. (1999), através de variações nas perdas de argamassa para produção dos revestimentos (em torno de 53%, variando de -11% até 163% em relação aos valores previstos em orçamento) e de variações da ordem de 317% na produtividade atingida durante a execução dos revestimentos de fachada de argamassa.

Segundo Paravisi (2008), os baixos índices de produtividade e os elevados percentuais de perda de material relacionados à produção dos revestimentos de argamassa ocorrem, porque a produção destes revestimentos é caracterizada pela falta da gestão efetiva do processo produtivo e pela baixa racionalização e industrialização da produção.

Além disso, a técnica tradicional de execução dos revestimentos de argamassa, na qual a argamassa é aplicada por lançamento manual contra o substrato e sofre, posteriormente, as operações de sarrafeamento e desempeno, segundo Paravisi (2008), é altamente dependente da habilidade e do conhecimento da mão de obra. Possivelmente por isso, autores como Cincotto et al. (1995), Duailibe; Cavani e Oliveira (2005) e Gonçalves e Bauer (2005) encontraram grandes variações nos resultados experimentais em que avaliaram o desempenho destes revestimentos.

Com o objetivo de racionalizar o processo de produção, aumentar a produtividade e diminuir as elevadas perdas identificadas, a produção dos revestimentos de argamassa vem passando por alterações constantes desde os finais dos anos 1980, quando as medidas de racionalização construtiva passaram a fazer parte do dia a dia das obras.

Segundo registros de Cincotto et al. (1995), Farah (1992) e Sabbatini (1990), naquele contexto, foram introduzidas as argamassas industrializadas para execução de revestimentos e a técnica de produção da massa única (ou emboço paulista), buscando-se, com isso, retirar do canteiro operações e atividades que resultassem em perdas de materiais e dificultassem o fluxo contínuo de trabalho das equipes.

No final dos anos 1990 e início do novo milênio, destaca-se, também, dentre as medidas de racionalização, a substituição do lançamento manual de argamassas pela projeção mecânica (BOCCHILE, 2002; CICHINELLI, 2010_a; PARAVISI et al., 2007; PARAVISI et al., 2009; SILVA, M. S., 2006).

Essa técnica, além de contribuir para a racionalização do processo de produção, aumentando a produtividade e diminuindo as elevadas perdas de material, possibilita diminuir a variabilidade das características mecânicas do revestimento produzido (ANTUNES; JOHN, 2007; FERNANDES et al., 2007), sobretudo devido à diminuição da interferência do fator humano (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; GONÇALVES; BAUER, 2005), que, dificilmente, mantém constante a energia de aplicação da argamassa, diferente do que ocorre com os equipamentos de projeção.

Tais equipamentos, se devidamente calibrados, projetam a argamassa com energia de lançamento constante, potencializando a adesão inicial, principalmente pela eliminação dos vazios, o que é fundamental para o desenvolvimento da aderência do revestimento ao seu substrato (ANTUNES; JOHN, 2007; FERNANDES et al., 2007; FERNANDES et al., 2009).

Em diversos países, a projeção mecânica de argamassas de revestimento vem sendo feita pela utilização do sistema com bombas de projeção (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002), mostrando-se uma tendência internacional (FERNANDES et al., 2007). Mas, mesmo havendo potencial para sua difusão no Brasil, a utilização dos sistemas de projeção de argamassa com bombas não tem sido comum, estando concentrada em algumas regiões do país, principalmente em Salvador, Curitiba e Brasília (CICHINELLI, 2010_a; SILVA M. S., 2006).

Segundo Crescêncio et al. (2000), as primeiras tentativas de introdução dos sistemas de projeção mecânica no país ocorreram na década de 1970, quando um fabricante internacional de equipamentos de projeção tentou introduzir seus produtos no mercado, mas não foram bem sucedidas, principalmente porque não houve uma estratégia adequada para a implantação da tecnologia no mercado nacional, havendo falhas, tanto nas características da argamassa utilizada quanto no planejamento das atividades e, também, no treinamento da mão de obra que iria utilizá-lo.

Após aproximadamente quarenta anos das primeiras tentativas de implantação, embora os sistemas de projeção mecânica de argamassa sejam recebidos nos empreendimentos com grande expectativa de inovação, essa não tem sido atendida, pois os canteiros de obra ainda não estão adequadamente preparados para os novos processos, por falta de projeto, planejamento e logística de canteiro bem definidos, ou mesmo por falhas na capacitação e no treinamento da mão de obra (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Mas as dificuldades para a utilização dos sistemas de projeção mecânica contínua de argamassa, principalmente na sua forma contínua, estendem-se para além das necessidades de planejamento e treinamento da mão de obra. Um dos condicionantes que ainda limitam o seu potencial de implantação no país é a dificuldade de utilizá-los com as argamassas produzidas nos canteiros de obras, prática que, no final da década de 1990, representava 95% das argamassas utilizadas (NETO; DJANIKIAN, 1999).

No processo de produção tradicional de revestimentos, a aplicação manual leva a uma tolerância em relação às características reológicas da argamassa utilizada, o que facilita sua produção em obra, pois, mesmo com variação do agregado ou do teor de água, é possível aplicar a argamassa, uma vez que o operário assume a prerrogativa de corrigir suas características segundo sua percepção de trabalhabilidade, acrescentando água à mistura ou esperando certo tempo antes da sua aplicação, conforme queira adequá-la às condições de execução do revestimento.

Essa tolerância, no entanto, não ocorre no processo de projeção contínua. Nesses casos, a utilização de argamassas com reologia inadequada pode levar a danos nos equipamentos e, por consequência, à paralisação da produção, além de, possivelmente, comprometer a qualidade dos revestimentos executados (SANTOS, 2003), pois se trata de um método em que os ganhos do processo dependem fortemente da constância das características das argamassas empregadas.

São muitas as variáveis que interferem na reologia das argamassas: natureza, distribuição granulométrica, diâmetro máximo e forma dos grãos dos agregados; composição e dosagem dos constituintes; relação entre volume de pasta e área superficial dos agregados; teor de água; utilização de aditivos; tempo de mistura, dentre outras (SANTOS; BAUER, 2004) e, quando se produz a argamassa em

canteiro, é difícil obter o controle de todas estas propriedades, em função da dificuldade de se receberem agregados com as características especificadas e constantes, bem como da precisão exigida para a dosagem dos materiais, especialmente dos aditivos, que são utilizados em pequenas proporções e sem os quais dificilmente se consegue reologia adequada à projeção contínua.

Para agilizar a etapa de aplicação das argamassas e frente às dificuldades mencionadas para a implantação dos sistemas que utilizam bombas de projeção, muitas construtoras optaram, como alternativa a este sistema, pela utilização do sistema de projeção por spray a ar comprimido (usualmente conhecido como “canequinha” ou “caneca de projeção”) (CRESCÊNCIO et al., 2000; FERNANDES; JOHN, 2007).

Este sistema foi introduzido no mercado nacional da década de 1990 (FERNANDES, 2010) e vem, desde então, tendo uma crescente aceitação nas construtoras em São Paulo e, mais recentemente no Rio de Janeiro, dado que requerem baixo investimento, são de fácil manuseio e permitem a utilização de argamassas produzidas em canteiro (FERNANDES; JOHN, 2007).

Além destas vantagens, o desempenho dos revestimentos aplicados por meio de projetores a ar comprimido pode ser melhorado em comparação à aplicação manual. Alguns estudos (DUAILIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; FERNANDES et al., 2009), por exemplo, identificaram acréscimos de resistência de aderência de 50% com a aplicação com projetores, em comparação à aplicação manual.

A promoção de uma melhora nas atividades relacionadas à aplicação da argamassa, a diminuição da variabilidade dos resultados obtidos e a melhoria do desempenho mecânico dos revestimentos (ANTUNES; JOHN, 2007; FERNANDES et al., 2007) fizeram com que, até recentemente, o sistema de projeção por spray fosse largamente empregado pelo meio técnico.

Mas, nos últimos anos, um novo contexto econômico, marcado pela intensa e extensa produção de edifícios, tem feito com que as empresas de construção passem a investir na modernização de suas formas de produção, buscando maior produtividade global através da utilização de sistemas construtivos com ciclos de produção rápidos, alto grau de padronização, alto grau de industrialização e baixa

dependência das habilidades da mão de obra (CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES, 2011).

Esses objetivos não estavam sendo atendidos pelo sistema de projeção por spray a ar comprimido, pois, tal como explica Paravisi (2008), como os equipamentos utilizados por este sistema não bombeiam o material e são compatíveis com argamassas produzidas em canteiros de obras, a sua utilização não determina grandes mudanças no sistema produtivo, em relação ao sistema convencional de produção, não contribuindo, de forma sistêmica, com a racionalização da obra.

Nesse contexto, o sistema de projeção de argamassa com bombas de projeção volta a ser visto como uma importante alternativa, pois, além de possibilitar o fluxo contínuo na etapa de aplicação e de promover uma diminuição da interferência das habilidades dos operários, permitindo alcançar maior produtividade e qualidade dos revestimentos executados (melhores resultados e baixa variabilidade) (CICHINELLI, 2010_b), exige significativas mudanças na organização da produção e no processo de produção para ser utilizado (PARAVISI, 2008), aumentando o grau de racionalização dos revestimentos como um todo.

A utilização de argamassas industrializadas juntamente com esse sistema, por exemplo, gerada pela necessidade de bombeamento e de projeção do material (SANTOS, 2003), traz consigo diversas vantagens, dentre as quais Regattieri e Silva (2003) destacam: a diminuição do número de processos para a produção da argamassa; a menor quantidade de etapas de controle; a maior qualidade e homogeneidade do material produzido; a menor quantidade de etapas de transporte; a maior possibilidade de mecanização do transporte; a menor necessidade de áreas para estocagem; a maior flexibilidade para estocagem dos materiais; a menor quantidade de utilização de mão de obra para o processamento dos materiais e a menor quantidade de perdas de material.

Mas, conforme explica Barros (1998), alterar as características dos métodos de produção dos edifícios não é uma tarefa simples e depende de investimentos, tanto por parte das empresas, como por parte do setor, para alcançar resultados positivos e possibilitar sua evolução.

Recentemente, Paravisi (2008), ao comparar os sistemas de revestimento executados por projeção manual e por projeção mecânica com bombas (com

utilização de argamassa industrializada específica para projeção), concluiu que a utilização da projeção mecânica da argamassa resultou em maior produtividade somente na etapa de aplicação da argamassa. Não foram identificados aumento significativo na produtividade do serviço como um todo, nem redução de seu prazo de execução.

Assim, mesmo empresas que investem nos equipamentos e nos materiais necessários para a execução dos revestimentos com projeção mecânica contínua não têm obtido resultados positivos quanto à eficiência do sistema, o que, segundo explica Paravisi (2008), acontece devido às etapas manuais, ainda presentes na técnica de execução, às perdas por espera entre as etapas e aos problemas mecânicos que ocorrem com os equipamentos.

Para que estes fatores combinados não dificultem a obtenção de melhores índices de produtividade, esperados durante a execução dos revestimentos com o sistema de projeção mecânica, a sua utilização deve vir acompanhada do planejamento sistêmico do processo de produção, incluindo os sistemas de andaimes ou balancins utilizados, a sequência de execução das atividades, a organização das equipes de produção, a logística de abastecimento e o transporte das argamassas no canteiro, entre outros.

Buscando promover mudanças que possibilitem tornar mais ágeis algumas etapas da execução dos revestimentos e eliminar possíveis gargalos em sua execução e beneficiando-se das propriedades reológicas das argamassas adequadas a esses sistemas, em alguns canteiros de obras, verifica-se que estão sendo introduzidas alterações em relação às técnicas tradicionais de execução dos revestimentos.

É o caso, por exemplo, da substituição da tradicional etapa de “aperto” (Figura 1), compressão da argamassa feita com o dorso da colher de pedreiro, quando é aplicada manualmente, pelo “alisamento” (Figura), realizado com régua H, com a qual se comprime e regulariza a camada de argamassa recém-projetada contra o substrato (CRESCÊNCIO et al., 2000; SANTOS, 2003) ou da substituição da tradicional técnica de sarrafeamento (Figura 3), pela etapa de “raspagem” (Figura 4), na qual o excesso de argamassa é raspado com uma régua H.

Figura 1 - Etapa de aperto realizada com colher de pedreiro

Figura 2 - Etapa de alisamento realizada com régua H

Figura 3 - Sarrafeamento tradicional: corte do excesso de argamassa

Figura 4 - Raspagem: remoção do excesso de argamassa com régua H

Estas variações identificadas na técnica de execução podem influenciar o comportamento do revestimento de argamassa, alterando suas propriedades. Sabbatini (1990) explica que, dependendo da técnica utilizada, é possível promover a compactação da argamassa e sua prensagem contra o substrato, ampliando a extensão de contato e proporcionando um revestimento de menor porosidade e, dessa forma, pode-se influenciar: a aderência; a resistência mecânica; a capacidade de absorver deformações; a capacidade de retração na secagem; a permeabilidade, a estanqueidade e, conseqüentemente, a durabilidade de um revestimento.

A própria técnica de aplicação da argamassa também influencia no comportamento dos revestimentos. No caso da projeção mecânica contínua da argamassa, quanto menor for o ângulo de projeção e a distância à parede, maior o potencial de contato

da argamassa com o substrato e, por consequência, maior o potencial de aderência (CRESCÊNCIO et al., 2000; MAIDL, 1995).

Além disso, a facilidade ou dificuldade com que se realizam as atividades de execução dos revestimentos com projeção mecânica contínua dependem de fatores relacionados a algumas condições que variam no canteiro de obra, tais como: a condição de umidade do substrato, o teor de água da argamassa, o intervalo de tempo entre demãos de argamassa e a condição de umidade da argamassa no momento do sarrafeamento e do desempenho.

Variações nessas condições também influenciarão o processo de movimentação da nata de cimento para o substrato e a perda de água para o meio, influenciando, consequentemente, a aderência e o grau de fissuração nas primeiras idades (SABBATINI, 1990).

Resultados de estudos (ANTUNES; JOHN, 2007; DUIABILE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; FERNANDES et al.; 2007) apontam que, com a aplicação mecânica das argamassas, é possível obter valores de resistência de aderência em torno de 50% superiores aos obtidos com a aplicação manual e diminuir a variabilidade dos resultados obtidos, sobretudo devido à diminuição da interferência do fator humano.

Assim, apesar de haver estudos associados à influência da forma de aplicação da argamassa, à energia de impacto e às características reológicas dos materiais exigidas pelo sistema de aplicação, no comportamento do revestimento (ANTUNES; JOHN, 2007; CARDOSO, 2009; DUAİLIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; FERNANDES et al., 2009; SANTOS, 2003), não foram encontrados trabalhos que tenham avaliado sistemicamente a influência das diferentes técnicas de execução no comportamento do revestimento executado com projeção mecânica contínua da argamassa, sendo este o objeto do presente trabalho, cujos objetivos são apresentados na sequência.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar as práticas atuais utilizadas na produção dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, identificando as técnicas mais adequadas para utilização durante a sua execução.

Os objetivos específicos são: avaliar a influência das principais variáveis relativas às técnicas de execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, associadas às condições variáveis no canteiro de obras, no comportamento desses revestimentos, quanto aos aspectos: adesão inicial da argamassa, fissuração e aderência dos revestimentos e propor diretrizes para a execução de revestimentos empregando-se projeção mecânica contínua da argamassa.

1.3. METODOLOGIA

O presente trabalho pode ser definido como uma pesquisa aplicada experimental, na medida em que se caracteriza por seu interesse prático em identificar a influência das técnicas construtivas, associada às condições variáveis no canteiro de obras, no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua (MARCONI; LAKATOS, 2008).

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em quatro etapas: levantamento bibliográfico, planejamento experimental, avaliação experimental em laboratório e em campo e, ao final, análise da revisão bibliográfica e dos resultados obtidos e conclusões. Em cada uma dessas etapas, foi aplicada uma metodologia de pesquisa particular, conforme se explicita a seguir.

1.3.1. Levantamento bibliográfico

A primeira etapa desta pesquisa consistiu em um levantamento de dados que possibilitasse caracterizar dois temas fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho: o processo de produção dos revestimentos de fachada de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua e os fatores associados à execução desses revestimentos que influenciam o seu comportamento.

Esse levantamento foi elaborado com base em três principais fontes de informação:

- Revisão bibliográfica: pesquisa em publicações constituídas por trabalhos científicos nacionais e internacionais (artigos publicados em congressos e revistas científicas, dissertações e teses).

- Levantamento documental: informações de catálogos, sites na internet, materiais promocionais e manuais de uso e operação de fornecedores de equipamentos e ferramentas.
- Levantamento de dados em campo: informações obtidas por meio de visitas realizadas em cinco canteiros de obras (dentre eles, três em Curitiba - Paraná, um em Sorocaba e um em Campinas - São Paulo), com o objetivo de complementar o levantamento bibliográfico com informações não identificadas na revisão bibliográfica ou no levantamento documental.

Para a caracterização do processo de produção dos revestimentos de argamassa aplicados por projeção mecânica contínua, buscaram-se informações sobre o histórico de sua utilização, tanto internacionalmente como no Brasil. Essa busca envolveu, também, uma revisão da normalização nacional e internacional.

Foram obtidas, também, informações sobre: as características dos materiais empregados, bem como os aspectos relacionados ao seu recebimento, armazenamento e transporte; os principais equipamentos utilizados nas etapas de mistura, bombeamento e projeção e as principais técnicas construtivas empregadas na execução do revestimento.

Para identificação dos fatores que poderiam influenciar o comportamento dos revestimentos de fachada, além das informações relacionadas à técnica de execução, registraram-se as principais condições variáveis nos canteiros de obras, desde a verificação das condições do substrato até as etapas de sarrafeamento e desempenho do revestimento. Essa etapa subsidiou a seleção das variáveis realizada no planejamento experimental, apresentado a seguir.

1.3.2. Planejamento experimental

O planejamento experimental teve o objetivo de caracterizar o ambiente da pesquisa, delimitar o escopo da avaliação experimental, possibilitar a seleção do equipamento e da argamassa a serem utilizados, bem como definir as variáveis e as condições de execução a serem empregadas. Nessa etapa, foram definidos, também, os métodos de ensaio mais adequados para a avaliação da influência das variáveis no comportamento dos revestimentos.

1.3.3. Avaliação experimental

A etapa de avaliação experimental teve o objetivo de identificar como as variáveis na técnica de execução afetam o comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua. Esta etapa foi dividida em duas subetapas: avaliação experimental em laboratório e avaliação experimental em campo.

O objetivo da subetapa de avaliação experimental em laboratório foi identificar a influência das variáveis previamente selecionadas, em ambiente de condições controladas. O objetivo da subetapa de avaliação experimental em campo foi identificar a influência das variáveis em condições reais de utilização.

1.3.4. Análise dos resultados

Ao final da avaliação experimental, os resultados obtidos foram apresentados e avaliados.

Para cada uma das variáveis aplicadas, identificou-se a sua influência no comportamento dos revestimentos quanto a: adesão inicial da argamassa ao substrato, fissuração e aderência dos revestimentos aos 28 dias de idade.

A avaliação da influência das variáveis na adesão inicial e na fissuração foi realizada por meio de análise visual dos painéis executados durante e após a sua execução.

Para se analisar a adesão inicial, verificou-se a ocorrência de deslocamento, fissuração excessiva ou ondulação, nos momentos imediatamente após a projeção da argamassa sobre o substrato e durante as operações de acabamento da camada de revestimento.

A avaliação da fissuração foi feita pela verificação visual da ocorrência de fissuras de retração ou em função da técnica de execução utilizada, logo após a execução dos painéis e após o endurecimento da argamassa, aos 28 dias da execução dos painéis de revestimento.

A avaliação da influência das variáveis na aderência se deu por meio de ensaios de resistência de aderência à tração, realizados conforme especificações da ABNT NBR 13528 (2010), também aos 28 dias da execução dos painéis de revestimento.

Os resultados obtidos para cada painel foram apresentados na forma de gráficos de barras, nos quais foi possível identificar a resistência de aderência (através da aderência potencial e da média dos resultados obtidos) e a porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova (ruptura superficial, ruptura no corpo da argamassa e ruptura na interface revestimento de argamassa / substrato).

Além disso, para identificar como as variáveis influenciam os resultados de resistência de aderência, foram gerados gráficos *Box plot*, uma importante ferramenta para a análise dos resultados de cada combinação de variáveis, através dos quais foi possível visualizar as medianas dos resultados (linhas horizontais), bem como a sua variabilidade (linhas verticais) e os quartis inferiores e superiores (faixa onde se concentram 50% dos resultados, 25% acima e 25% abaixo da mediana) e, dessa forma, avaliar a simetria e a dispersão dos resultados, bem como fazer uma comparação entre os conjuntos de resultados apresentados em função da combinação de variáveis.

Os resultados foram, também, submetidos a um método de análise estatística, denominado Análise de Variância (ANOVA), em que se procura identificar se as variáveis aplicadas produzem efeitos estatisticamente significativos sobre a resistência de aderência, para o nível de significância adotado (COSTA NETO, 2002). A ANOVA foi aplicada através do software MINITab, com adoção do nível de significância $\alpha = 0,05$.

Por fim, os resultados foram analisados e comparados com os resultados obtidos em outros trabalhos, identificados durante a revisão bibliográfica, buscando-se, então, elaborar as conclusões desta pesquisa.

1.4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos de conteúdo, considerando este capítulo de introdução, dentro do qual estão apresentados: a contextualização,

que contém a problematização e a motivação para o desenvolvimento deste trabalho, o objetivo a ser alcançado, a metodologia de pesquisa utilizada e a estruturação da dissertação.

No segundo capítulo, está apresentada uma caracterização do processo de produção dos revestimentos de fachada de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua. Inicialmente, está apresentada uma revisão histórica, na qual é possível identificar como surgiram os primeiros equipamentos de projeção, como se deram as principais mudanças nestes sistemas e como eles foram introduzidos no Brasil.

Em seguida, está apresentada uma revisão bibliográfica acerca da normalização nacional e internacional, procurando abordar os aspectos relacionados não somente ao conteúdo das normas, mas também ao desenvolvimento da terminologia e das normas no exterior e qual a situação do Brasil frente ao desenvolvimento da normalização pertinente.

Por último, estão apresentados os principais fatores que caracterizam a produção dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, abordando aspectos relacionados ao sistema de projeção, aos materiais, à logística de canteiro, ao processo de mistura, bombeamento e projeção das argamassas, bem como às técnicas construtivas utilizadas nas principais etapas de execução dos revestimentos, foco do presente trabalho.

No terceiro capítulo, estão apresentadas as principais propriedades que caracterizam o comportamento dos revestimentos, relacionados aos fenômenos da adesão inicial, fissuração e aderência e, na sequência, estão apresentados os principais fatores que influenciam estas propriedades, relativos a cada uma das principais etapas de execução dos revestimentos e às condições variáveis identificadas nos canteiros de obras.

No quarto capítulo, está apresentado o planejamento experimental, dentro do qual foram definidos: o ambiente do desenvolvimento da pesquisa e a delimitação do escopo da avaliação experimental. Estão, ainda, apresentadas, neste capítulo, as variáveis e as condições fixas selecionadas para aplicação na avaliação experimental, bem como as principais características dos painéis de revestimento a serem executados.

No quinto capítulo, estão descritas as principais atividades desenvolvidas na avaliação experimental em laboratório e em campo, bem como estão apresentados os resultados obtidos e as suas respectivas análises.

Ao final, no sexto capítulo, estão apresentadas as conclusões obtidas com o desenvolvimento deste trabalho, para cada uma das variáveis aplicadas, bem como as conclusões gerais obtidas. Neste capítulo, também estão apresentadas as conclusões quanto ao cumprimento dos objetivos desta pesquisa e, por último, são apresentadas sugestões para pesquisas futuras.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

A caracterização do processo de produção dos revestimentos de fachada de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua inicia-se com a apresentação da evolução histórica dos sistemas de projeção e com uma revisão acerca da normalização nacional e internacional.

Em seguida, apresentam-se o sistema de projeção mecânica contínua de argamassas; as principais propriedades dos materiais para utilização juntamente com esses sistemas e os aspectos relacionados ao recebimento, armazenamento e transporte dos materiais no canteiro de obras, à produção das argamassas e à produção dos revestimentos.

Discutem-se, ainda, as propriedades que caracterizam o comportamento dos revestimentos de argamassa e os principais fatores relacionados às técnicas de execução e às condições variáveis identificadas nos canteiros que influenciam esse comportamento.

2.1. HISTÓRICO

O sistema de projeção de argamassas foi desenvolvido por Carl E. Akeley, que experimentou a aplicação dos primeiros rebocos e argamassas à base de cimento com aplicação mecânica, nos Estados Unidos, em 1911 (AUSTIN, 1995_a; GLASSGOLD, 1996; TEICHERT, 2002).

Akeley estava procurando por um método de produzir formas que não poderiam ser alcançadas utilizando as tradicionais formas de madeira (TAYLOR, 1996). Há relatos indicando que tais formas seriam relativas a modelos de animais (AUSTIN, 1995_a) e há, ainda, quem afirme que a invenção teve como objetivo permitir a aplicação de revestimentos pigmentados para a revitalização da fachada do *Museum of Natural History*, em Chicago, em 1907 (TEICHERT, 2002).

Ele obteve a patente pelo equipamento e método de aplicação, denominado, em 1911, de *cement gun* e, um ano mais tarde, de *gunite*, pela empresa que obteve a patente do equipamento (AUSTIN, 1995_a).

Segundo Austin (1995_a) e Glassgold (1996), na ocasião de seu desenvolvimento, o processo envolvia o lançamento de uma mistura de areia seca e cimento, que era introduzida em câmaras pneumáticas pressurizadas, de onde era transmitida, através de uma corrente de ar, por dentro de uma mangueira, até o bico de uma pistola.

A água era adicionada à mistura somente na pistola, momentos antes de sua saída, tratando-se, portanto, de um processo onde a mistura de materiais era transportada no estado seco, motivo pelo qual este processo ficou conhecido na literatura internacional como *dry process* (AUSTIN, 1995_a), ou processo via seca.

Houve, desde a criação desse processo, alterações significativas nos materiais e nos equipamentos de mistura, bombeamento e projeção utilizados (AUSTIN, 1995_a). Dentre elas, uma das mais significativas foi a criação de um processo alternativo, conhecido internacionalmente como *wet process*, ou processo de projeção via úmida.

Enquanto alguns afirmam que esse processo foi desenvolvido após a Segunda Guerra Mundial (MORGAN, 1996), outros (GLASSGOLD, 1996) explicam que ele foi mencionado, pela primeira vez, na literatura, em 1916, porém recebeu pouca publicidade, até que, em 1950, com a criação de um equipamento denominado *true gun* e com o desenvolvimento de vários tipos de bombas, ele se tornou economicamente viável e teve sua utilização ampliada.

O processo via úmida foi criado, inicialmente, para possibilitar a projeção de concretos e microconcretos, pois as dosagens desses materiais incluíam a utilização de agregados graúdos (usualmente, não maiores do que 15 mm de diâmetro) (MORGAN, 1996), não possibilitando o bombeamento via seca.

Nesse sistema, o material pré-misturado com a água era inserido em um dispositivo pneumático de tanque duplo (hoje conhecido como bomba do tipo pistão) que promovia o fluxo contínuo da mistura úmida por uma mangueira, até que, ao chegar na pistola, entrava em contato com o ar comprimido inserido na mesma (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 1999_a; GLASSGOLD, 1996) sendo, finalmente, projetado para fora.

Enquanto os sistemas de projeção por via seca e por via úmida serviram bem à indústria por muitas décadas, sempre houve espaço para a melhoria, tanto da

formulação dos materiais como dos equipamentos e procedimentos de aplicação (MORGAN, 1996), de forma que as décadas de 1970 e 1980 vivenciaram o desenvolvimento de uma série de materiais e equipamentos (AUSTIN, 1995_b; MORGAN, 1996).

Esses desenvolvimentos tiveram à frente o desejo de proprietários, engenheiros e empreiteiros de melhorar a qualidade e a durabilidade dos materiais projetados, aumentar a produtividade e a economia do processo de produção e aumentar as possibilidades de aplicação (MORGAN, 1996), permitindo que o processo via úmida pudesse competir com o processo por via seca, ou substituí-lo, em algumas aplicações, principalmente em função do melhor controle das proporções dos materiais nas misturas (particularmente da relação água/cimento).

Na Noruega e na Suécia, por exemplo, ao final da década de 1990, a maioria do processo já se dava por via úmida. Nos Estados Unidos, nesse período, ambos os processos dividiam o mercado igualmente e, na Inglaterra, a proporção de utilização do processo via úmida ainda era pequena, mas estava crescendo (AUSTIN, 1995_a).

Dentre os equipamentos desenvolvidos para o bombeamento da argamassa, estavam as bombas helicoidais, que, ao final da década de 1990, já realizavam a maior parte da projeção de argamassa via úmida Austin (1995_a). Essas bombas, também conhecidas hoje como *rotor-stator* - rotor estator -, *worm-pump* - bombas helicoidais -, ou *progressive cavity pump* - bombas de cavidade progressiva – têm, como princípio de funcionamento, um processo inventado por René Moineau, em 1930, e aprimorado por ele nas duas décadas seguintes.

Diferentemente das bombas do tipo pistão, essas bombas são adequadas para o bombeamento de argamassa, por serem capazes de promover um fluxo contínuo de materiais espessos sem sua deterioração (CHOLET, 1997). Além disso, em função de sua geometria e princípio de funcionamento, as bombas helicoidais podem bombear vazões de argamassa inferiores às aquelas bombeadas pelas bombas de pistão, ajustando-se perfeitamente às vazões requeridas para as aplicações de revestimentos de argamassa, de tal forma que, no início do novo milênio, o sistema que utilizava essas bombas, conhecido internacionalmente como *low volume wet sprayed* – ou projeção de baixos volumes por via úmida - já havia se mostrado ideal para a aplicação de revestimentos e, em específico, de revestimentos de argamassa cimentícia, na Europa (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002).

Na França, por exemplo, a utilização da projeção mecânica para a execução de revestimentos de fachada teve seu início em meados da década de 1970 e foi acompanhada de algumas alterações significativas no processo de produção dos revestimentos, tal como alterações nas formulações das argamassas e na natureza das matérias-primas, a utilização de aditivos para alterar as propriedades das argamassas e o surgimento de revestimentos de camada única (LEJEUNNE, 1996).

Segundo Austin, Robins e Goodier (1999_b), hoje estão sendo desenvolvidas argamassas industrializadas especificamente para projeção via úmida e a quantidade de produtos desse tipo disponível no mercado europeu vem crescendo cada vez mais, pois são vistos como materiais que apresentam melhor desempenho para o bombeamento (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002), uma etapa crítica do processo.

O desenvolvimento desses equipamentos e materiais fez com que, hoje, o sistema de projeção de baixos volumes de argamassa por via úmida com bombas helicoidais tenha se tornado o método mais utilizado para a aplicação de argamassa para produção de revestimentos em muitos países europeus (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002).

No Brasil, têm-se notícias de que a primeira tentativa de introdução de equipamentos de projeção de argamassas se deu na década de 1970 (CRESCÊNCIO et al., 2000). Baud (1972, p. 326), nesse período, mencionava a projeção mecânica como uma das alternativas de aplicação de argamassa em substituição à técnica de aplicação manual, quando eram necessários “*estuques com boas condições de aderência ou impermeabilidade*”, em função de o produto final ser “*mais denso, mais homogêneo e mais resistente que as preparações idênticas realizadas a mão*”.

Segundo Crescêncio et al. (2000), a tentativa de introdução dos sistemas de projeção no mercado nacional, naquele momento, não foi bem sucedida, pois não houve enfoque em treinamento da mão de obra e preparação da engenharia, indispensáveis para gerar as transformações necessárias para utilização de um processo de maior produtividade.

Além da falta de estratégia para a implantação, devido à recessão econômica, a década de 1980, de modo geral, não foi um período propício para a implantação de

sistemas que demandassem investimentos em equipamentos (FARAH, 1992), tal como aqueles utilizados na projeção de argamassas, o que, possivelmente, contribuiu para a descontinuidade na utilização do sistema. Dessa forma, embora já se tivesse conhecimento dos sistemas de projeção de argamassa, a forma de aplicação da argamassa utilizada no período ainda era predominantemente manual, *“feita pela projeção enérgica do material contra a base, através do movimento de quebra de pulso com a colher de pedreiro”* (SABBATINI; SELMO; SILVA, 1988, p. 50).

Enquanto a recessão da década de 1980 dificultou a utilização de equipamentos que necessitavam de maiores investimentos, por outro lado, conduziu a uma mudança de postura por parte das empresas, que passaram a buscar o deslocamento de algumas atividades do canteiro para os setores produtores de materiais (FARAH, 1992), a racionalização da produção dos edifícios, utilizada como estratégia para se manterem competitivas no mercado (BARROS, 1998), e introduziram algumas importantes mudanças no processo de produção de revestimentos de argamassa, dentre elas:

- O desenvolvimento e a implantação de procedimentos adequados à realidade das obras, que permitissem racionalizar os revestimentos argamassados (BARROS, 1998; SABBATINI, 1997).
- A utilização do revestimento de camada única (FARAH, 1992; SABBATINI; SELMO; SILVA, 1988).
- A possibilidade de utilização de argamassa pré-dosada ou industrializada (FARAH, 1992; SABBATINI; SELMO; SILVA, 1988).

Dentre as modificações introduzidas no método de execução dos revestimentos, não estava inclusa a utilização dos sistemas de projeção de argamassa propriamente ditos, mas algumas das alterações (tais como a introdução das argamassas industrializadas e da técnica da camada única, bem como outras medidas de racionalização) auxiliaram na preparação do mercado para as modificações que estavam por vir.

Ao final da década de 1990 e início do novo milênio, os sistemas de projeção de argamassa foram reintroduzidos no mercado nacional. Além dos sistemas de projeção de argamassa com bombas de projeção, surgiu, também, a possibilidade

de utilização de pequenos projetores por spray a ar comprimido (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Esses projetores (usualmente conhecidos como “canequinhos” ou “canecas de projeção”) tiveram maior aceitação no mercado, pois requerem baixo investimento, são de fácil manuseio e permitem a utilização de argamassas produzidas em canteiro (CRESCÊNCIO et al., 2000; FERNANDES; JOHN, 2007), prática que, no final da década de 1990, representava 95% das argamassas utilizadas (NETO; DJANIKIAN, 1999).

Apesar dessas vantagens, o sistema de projeção de argamassa com projetores a ar comprimido se caracteriza como um sistema intermitente, sendo necessário realizar paradas na projeção para o abastecimento dos recipientes acoplados, e, como não realiza o bombeamento do material, também é adequado para a utilização com argamassas produzidas em canteiro. Dessa forma, esse sistema apresenta limitado potencial de aumento de produtividade na etapa de aplicação da argamassa e não determina grandes mudanças no sistema produtivo em relação ao sistema convencional de produção (FERNANDES; JOHN, 2007; PARAVISI, 2008).

No início dos anos 2000, algumas empresas, localizadas principalmente em Salvador, Curitiba e Brasília (SILVA M. S., 2006), buscando modernizar suas formas de produção, passaram a utilizar o sistema de projeção mecânica com bombas de projeção, juntamente com a introdução de sistemas de produção de revestimentos baseados na entrega de argamassa em silos (CRESCÊNCIO et al., 2000), abrindo novos caminhos em direção à evolução do processo de produção de revestimentos de argamassa.

Apesar dos quarenta anos passados, desde as primeiras tentativas de introdução dos equipamentos de projeção mecânica contínua de argamassas no mercado nacional, é possível afirmar que a situação antes descrita ainda é predominante nos canteiros de obra do país, dificultando a consolidação da aplicação dos revestimentos de argamassa com projeção mecânica contínua e a evolução do processo de produção dos revestimentos de argamassa.

Segundo Crescêncio et al (2000), a dificuldade para implantação dos sistemas de projeção mecânica contínua reside na necessidade de projeto, planejamento da execução dos revestimentos, logística de canteiro e treinamento da mão de obra

adequados para sua utilização, sem os quais não é possível obter os benefícios de produtividade proporcionados pela técnica. Some-se a isso a exigência de uma argamassa compatível com o equipamento de projeção, o que não tem sido possível de se obter com a argamassa produzida em canteiro.

Mas, nos últimos anos, um novo contexto econômico, marcado pela intensa e extensa produção de edifícios, tem feito com que as empresas de construção passem a investir na modernização de suas formas de produção, buscando reduzir os custos de produção, aumentar o controle dos custos, do prazo e da qualidade, minimizar o risco dos investimentos e garantir o retorno do capital investido (CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES, 2007).

Nesse contexto, o sistema de projeção mecânica contínua de argamassa volta a ser visto como uma importante alternativa, pois, além de possibilitar o fluxo contínuo na etapa de aplicação e de promover uma diminuição da interferência das habilidades dos operários, permitindo alcançar maior produtividade e qualidade dos revestimentos executados (melhores resultados de aderência e baixa variabilidade) (CICHINELLI, 2010_b), exige significativas mudanças na organização da produção e no processo de produção para ser utilizado (PARAVISI, 2008), aumentando o grau de racionalização dos revestimentos como um todo.

2.2. TERMINOLOGIA E NORMALIZAÇÃO

A revisão bibliográfica acerca da normalização nacional e internacional, apresentada a seguir, procurou abordar os aspectos relacionados ao desenvolvimento da terminologia e das normas no exterior e procurou identificar qual a situação do Brasil frente ao desenvolvimento da normalização pertinente.

Embora este trabalho trate especificamente de revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, desde a criação do primeiro sistema de projeção de argamassas, em 1911 (GLASSGOLD, 1996), o nome utilizado para se referir aos sistemas de projeção vem passando por diversas alterações, que, de forma geral, acompanham o desenvolvimento dos equipamentos e materiais e deixam margem para diversas interpretações contraditórias.

Nos Estados Unidos, o termo *shotcrete*, introduzido inicialmente em 1930 pela *American Railway Engineering Society*, é hoje, definido pelo ACI - *American Concrete Institute* - ou Instituto Americano do Concreto - como argamassa ou concreto projetado pneumáticamente com grande velocidade sobre uma superfície (GLASSGOLD, 1996).

Conforme explica Glassgold (1996), desde seu princípio, o ACI 506 publicou uma série de artigos e normas técnicas sobre o tema. Dentre eles, destaca-se a ACI 506 R - 05 (2005) *Guide to shotcrete* que, embora mencione que o *shotcrete* é utilizado para aplicação em revestimentos diretamente sobre alvenarias e outros tipos de substrato, não apresenta os aspectos particulares que devem ser levados em conta nesse tipo de aplicação, abordando somente os aspectos relativos à projeção de concretos e argamassa para aplicações em construções de canais, túneis, suporte de rochas, tanques, dutos, piscinas, etc.

A norma americana que trata dos assuntos relativos à aplicação de revestimentos de argamassa de base cimentícia, ASTM C 926-06 (2006): *Standard Specification for Application of Portland Cement Based Plaster* - norma de especificação para aplicação de revestimento à base de cimento Portland -, menciona a possibilidade de aplicação mecânica da argamassa sobre o substrato, mas também não trata de aspectos específicos da aplicação mecânica, e delega ao prestador de serviços (ou vendedor do sistema) as orientações para as atividades relativas à aplicação da argamassa e acabamento dos revestimentos, bem como para as particularidades que o mesmo impõe ao canteiro de obras (como organização de equipes, logística de materiais e equipamentos e etc.).

Na Europa, tal como nos Estados Unidos, não há diferenciação entre a terminologia utilizada para se referir às argamassas ou concretos projetados, utilizando-se, usualmente, nesses países, o termo *sprayed concrete* - concreto projetado - para se referir a esses materiais (AUSTIN, 1995_a).

As normas europeias que tratam os assuntos relativos à projeção de concretos e argamassas são a CEN EN 14487-1 (2005): *Sprayed concrete. Definitions, specifications and conformity* - Concreto projetado: definição, especificação e conformidade - e a CEN EN 14487-2 (2006): *Sprayed concrete. Execution* - Concreto projetado: execução.

Com relação à normalização de revestimentos de argamassa propriamente ditos, a norma britânica BSI BS 5262 (1991): *Code of practice for external renderings* - Código de práticas para revestimentos externos - que aborda aspectos relacionados aos materiais, à dosagem, à mistura e aos métodos de aplicação de revestimentos de base cimentícia, para diversos tipos de substratos, considera a possibilidade de aplicação de revestimentos externos com aplicação mecânica.

Segundo a BSI BS 5262 (1991), a utilização de sistemas aplicados por projeção (seja ela mecânica ou manual) é capaz de promover revestimentos de maior durabilidade em comparação aos aplicados com desempenadeiras, devido à maior aderência proporcionada pelo lançamento, especialmente para substratos com baixa absorção, onde a aderência adequada dificilmente é obtida.

A BSI BS 5262 (1991) faz menção à influência desse tipo de aplicação no planejamento das atividades no canteiro, e alerta que, ao especificar revestimentos aplicados com projeção mecânica, deve-se considerar a alta velocidade de aplicação proporcionada por esses revestimentos, de forma que grandes frentes de trabalho sejam previstas no planejamento das atividades.

Mas, ao abordar a aplicação por meio de equipamentos, a BSI BS 5262 (1991) considera que o processo de aplicação é normalmente executado por empresas contratadas, que utilizam processos de aplicação próprios e cujas recomendações devem ser seguidas, não fornecendo maiores detalhes sobre o processo de aplicação propriamente dito, sobre particularidades acerca das técnicas de execução a serem empregadas ou sobre os materiais necessários para a produção desses revestimentos.

Já as normas francesas que tratam da execução de revestimentos de argamassa de base cimentícia são a AFNOR NF DTU 26.1 P1-1 (2008). *Travaux d'enduits de mortier. Cahier des clauses techniques* - Execução de revestimento de argamassa. Caderno de Encargos - e a AFNOR NF DTU 26.1 P1-2 (2008). *Travaux d'enduits de mortiers. Critères généraux de choix des matériaux* - Execução de revestimento de argamassa. Critérios gerais para seleção de materiais.

A AFNOR NF DTU 26.1 P1-1 (2008) menciona a utilização da projeção mecânica para a aplicação da argamassa nas diversas camadas do revestimento, mas, tal como as normas americanas e inglesas, não aborda aspectos específicos

associados à projeção propriamente dita ou às técnicas específicas que devem ser utilizadas para a execução do revestimento na ocasião da aplicação com projeção mecânica. Já a AFNOR NF DTU 26.1 P1-2 (2008) aponta diferenças na formulação da argamassa utilizada para a aplicação com projeção mecânica, em função das propriedades reológicas das argamassas necessárias para esse tipo de aplicação.

Para Figueiredo e Helene (1993), a definição dada pelo *American Concrete Institute - Committee 506* é sucinta e abrangente, pois insere a possibilidade de utilizar ou não agregados graúdos na mistura a ser projetada.

No Brasil, diferentemente do que aconteceu nos Estados Unidos, Inglaterra e França, fez-se uma distinção entre o termo concreto projetado e argamassa projetada, de tal forma que as referências utilizadas para tratar de concretos ou de argamassas projetadas devem ser analisadas cuidadosamente.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da ABNT NBR 14026 (1997, p. 02): Concreto projetado: especificação, define o concreto projetado como: “concreto com dimensão máxima do agregado superior a 9,5 mm, transportado através de uma tubulação e projetado, sob pressão, sobre uma superfície, com compactação simultânea” e a argamassa projetada como: “argamassa com dimensão máxima característica do agregado inferior a 9,5 mm, transportada através de uma tubulação e projetada sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea”, de tal forma que, pela definição, somente o diâmetro máximo do agregado diferencia as definições do concreto e da argamassa projetada.

A ABNT NBR 14279 (1999): Concreto projetado - Aplicação por via seca – Procedimento, não trata dos aspectos relativos à produção dos revestimentos, somente da aplicação de concreto via seca. Enquanto a ABNT NBR 7200 (1998) - Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento, tal como as normas de execução de revestimentos internacionais, menciona que as argamassas podem ser aplicadas com o auxílio da colher de pedreiro ou através de processo mecânico, da mesma forma que a ASTM C 926-06 (2006), a BSI BS 5262 (1991) e a AFNOR NF DTU 26.1 P1-1(2008), não aborda aspectos específicos da utilização deste processo (com relação a materiais, ferramentas, equipamentos ou técnicas construtivas).

Não há, até o momento, normas brasileiras que abordem especificamente o tema argamassa projetada. Mesmo havendo menção sobre a possibilidade de aplicação mecânica das argamassas na ABNT NBR 7200 (1998), não são abordados aspectos específicos da produção dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica, ficando sob a responsabilidade de empresas prestadoras de serviço e fabricantes de equipamentos e materiais fornecerem informações que possibilitem a execução dos revestimentos aplicados com esses sistemas na construção de edifícios.

O Quadro 1, apresentado a seguir, resume as observações acerca das principais normas consultadas sobre a projeção de concretos e argamassas e sobre a execução de revestimentos de argamassa.

País	Projeção de concretos e argamassas	Execução de revestimento de argamassa
Estados Unidos	ACI 506 R - 05 (2005) Não trata dos aspectos relativos à produção dos revestimentos, embora mencione a possibilidade de utilização dos sistemas para aplicação de revestimentos sobre alvenaria.	ASTM C 926 - 06 (2006) Menciona a possibilidade de aplicação da argamassa com projeção mecânica, mas não aborda aspectos específicos desta utilização.
Inglaterra	CEN EN 14487- 1 (2005) CEN EN 14487- 2 (2006) Não tratam dos aspectos relativos à produção dos revestimentos, embora mencionem a possibilidade de utilização dos sistemas para aplicação de revestimentos sobre alvenaria.	BSI BS 5262 (1991) Menciona a possibilidade de aplicação da argamassa com projeção mecânica, mas não aborda aspectos específicos desta utilização
França		AFNOR NF DTU 26.1 P1 - 1 (2008) AFNOR NF DTU 26.1 P1 - 2 (2008) Mencionam a possibilidade de aplicação da argamassa com projeção mecânica, mas não abordam aspectos específicos desta utilização.
Brasil	ABNT NBR 14279 (1999) Não trata dos aspectos relativos à produção dos revestimentos.	ABNT NBR 7200 (1998) Menciona a possibilidade de aplicação da argamassa com projeção mecânica, mas não aborda aspectos específicos desta utilização.

Quadro 1 - Normalização nacional e internacional

2.3. SISTEMAS DE PROJEÇÃO

Segundo Maidl (1995), o sistema de produção de concretos e argamassas com projeção mecânica pode ser dividido em duas fases: a fase de preparação da argamassa seca, no qual as matérias-primas são preparadas, dosadas e homogeneizadas (não abordada neste trabalho), e a fase que envolve todos os aspectos da produção dos revestimentos no canteiro de obra, que, por sua vez, pode ser dividida em atividades relacionadas à produção (recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte dos materiais; mistura e bombeamento da argamassa plástica) e atividades relacionadas à aplicação (etapas que vão desde a projeção da argamassa no substrato até as etapas subsequentes de acabamento e cura) Austin (1995_b).

Denomina-se sistema de projeção de argamassas o conjunto de equipamentos utilizados para realizar desde atividades relacionadas ao recebimento dos materiais no canteiro (no caso de armazenamento de argamassa em silos) até a aplicação da argamassa no substrato. Esses sistemas são, por sua vez, denominados sistema de projeção via seca ou sistema de projeção via úmida.

No sistema de projeção via seca, a argamassa é transportada em estágio seco, por meio de uma corrente de ar até o bico da pistola, onde a água é introduzida e misturada à argamassa e o ar comprimido é introduzido para projetar o material recém-misturado à água sobre o substrato (MAIDL, 1995; AUSTIN, 1995_b).

Esse sistema não é usualmente utilizado para aplicação de argamassas de revestimento, pois não produz uma mistura com propriedades adequadas para receber as etapas de acabamento, inerentes à execução dos revestimentos, além de apresentar grande quantidade de perdas de material e condições de insalubridade no ambiente de trabalho (MAIDL, 1995; AUSTIN et al., 1996).

No Brasil, denomina-se sistema de transporte via seca, o sistema de bombeamento que utiliza uma corrente de ar, gerada por compressores, para a realização do transporte da argamassa seca, do caminhão graneleiro até o silo e do silo até as misturadoras de argamassa (REGATTIERI; SILVA, 2003), reforçando a importância da elaboração de normas nacionais para estabelecer a terminologia adequada a ser utilizada.

Já no sistema de projeção via úmida, os materiais (cimento, agregados, água e aditivos) são pré-dosados, misturados à água e introduzidos em um equipamento de entrega (denominado bomba de projeção), a partir do qual o material é bombeado hidraulicamente para a pistola, onde o ar comprimido é injetado para projetar a mistura para fora da pistola.

O sistema de projeção via úmida é o sistema utilizado para a aplicação de argamassa para produção de revestimentos e pode ser composto com dois tipos de bombas: bombas do tipo pistão e bombas helicoidais (AUSTIN, 1995_b; CRESCÊNCIO et al., 2000; MAIDL, 1995).

Ressalta-se que as bombas do tipo pistão não são as mais adequadas para aplicação de argamassas de revestimentos, pois bombeiam grandes volumes de material, sendo indicadas, principalmente, para o bombeamento de concretos ou microconcretos.

Já as bombas do tipo helicoidal, rotor estator ou de cavidade progressiva, como também são conhecidas, são as bombas mais utilizadas para a aplicação de argamassas de revestimento, pois bombeiam volumes de argamassa adequados à sua produção (AUSTIN, 1995_b), de forma que, neste capítulo, estão apresentados os equipamentos utilizados no sistema de projeção de argamassa que utilizam esse tipo de bomba.

No levantamento de dados em campo, realizado para complementar a revisão bibliográfica, identificou-se que os sistemas de produção de argamassa utilizados dividem-se em duas etapas: uma englobando as atividades do transporte da argamassa seca até a misturadora de argamassa e outra englobando o processo de mistura, bombeamento e transporte da argamassa úmida. Em quatro dos cinco canteiros visitados, a argamassa seca estava sendo bombeada diretamente a partir dos silos, por meio de uma corrente de ar gerada por compressores, até as misturadoras. Já o bombeamento da argamassa fresca, pré-misturada à água, estava acontecendo em todas as obras por meio do sistema de projeção via úmida, com bombas helicoidais acopladas.

2.4. MATERIAIS

Uma das barreiras encontradas para a implantação dos sistemas de projeção com bombas no Brasil é a dificuldade de utilizá-lo juntamente com argamassas produzidas em canteiros de obra.

Austin, Robins e Goodier (2002) explicam que, para a utilização com esses sistemas, as argamassas devem ser “bombeáveis” e “projetáveis”, ou seja, elas devem apresentar propriedades reológicas específicas, de forma que não provoquem problemas no processo de bombeamento, como entupimentos do mangote, por exemplo, e da projeção, como reflexão elevada ou deslocamento (CRESCÊNCIO et al., 2000; SANTOS, 2003), permitindo, dessa forma, o correto funcionamento do sistema e possibilitando alcançar os potenciais ganhos desse método.

Dentre as propriedades reológicas das argamassas no estado fresco que mais influenciam o processo de bombeamento e, por consequência, as características de projeção, a consistência é a que mais se destaca (SANTOS, 2003), sendo, segundo Crescêncio et al. (2000), fortemente influenciada pela quantidade de água adicionada à argamassa.

Para facilitar o bombeamento das argamassas com bombas de projeção, Santos (2003) explica que há uma tendência de se realizarem misturas com altos teores de água, pois o acréscimo de água ao material eleva a fluidez da argamassa, diminuindo-se, dessa forma, o risco de obstruções e evitando altas pressões de bombeamento e baixas vazões de projeção, que podem comprometer o funcionamento da bomba e, consequentemente, a produtividade do processo de aplicação.

Para que as argamassas apresentem uma consistência adequada para projeção contínua, muitas vezes será necessário recorrer, também, ao uso de aditivos, que permitem minimizar os efeitos das características dos agregados, nem sempre adequados para produção das argamassas para utilização com a projeção mecânica contínua.

Mas a dosagem da água ou de aditivos nas argamassas para projeção deve ser realizada cuidadosamente, pois argamassas de consistência fluida facilitam o

bombeamento, mas podem causar reflexão excessiva, escorrimento ou deslocamento após a projeção (CRESCÊNCIO et al., 2000; SANTOS, 2003), enquanto misturas com consistência seca podem resultar no entupimento frequente da bomba ou mangote e levam a um desgaste excessivo das peças que compõem o sistema.

No processo de bombeamento com bombas helicoidais, há também uma grande dependência em relação a dimensões, distribuição granulométrica e geometria dos grãos do agregado utilizado (AUSTIN et al., 1996; CRESCÊNCIO et al., 2000), de forma que areias com partículas finas, médias e grossas, bem distribuídas e de grãos arredondados, proporcionam uma projeção com menor desgaste das peças e interrupções na produção; quando o agregado disponível não oferecer as condições ideais, o uso mais intenso de aditivos poderá ser necessário.

Outras características da argamassa, apesar de não influenciarem fortemente na projeção, influenciam nas demais etapas de execução do revestimento (como o alisamento, o sarrafeamento e o desempeno), tal como a capacidade de retenção de água.

Para projeção contínua, a argamassa deve reter a água por tempo suficiente para facilitar o alisamento (etapa na qual o operário passa a régua sobre a camada de argamassa, uniformizando-a e comprimindo-a contra o substrato) e deve perder a água em intervalo de tempo adequado, para não prejudicar as operações de sarrafeamento e desempeno (SANTOS, 2003). Santos (2003) explica que, no momento da realização das etapas de acabamento do revestimento, a argamassa deve estar em condições de plasticidade adequadas. Caso contrário, ao passar a régua sobre a argamassa, ela poderá apresentar ruptura da interface entre o material e o substrato ou dentro da própria camada de revestimento, comprometendo o seu comportamento.

Tal como pode ser verificado, a seleção dos materiais, a definição dos traços, a utilização de aditivos e o controle da dosagem e da produção das argamassas não são tarefas simples de serem realizadas, pois são muitas as variáveis que interferem nessas propriedades: natureza, distribuição granulométrica, diâmetro máximo e forma dos grãos dos agregados; composição e dosagem dos constituintes; relação volume de pasta/área superficial dos agregados, teor de água, utilização de aditivos, tempo de mistura, dentre outras (SANTOS; BAUER, 2004).

Variações nas características dos agregados (distribuição granulométrica, formato dos grãos, módulo de finura e teor de finos), nas dosagens dos materiais (em função do inchamento da areia, de imprecisões nas dosagens de aditivos) e no teor de água das argamassas, podem levar a uma série de problemas, principalmente ao utilizar os sistemas de projeção de argamassa com bombas de projeção.

Enquanto as exigências dos sistemas de projeção com bombas, quanto ao comportamento reológico das argamassas, dificultam a utilização de argamassas produzidas em canteiros de obra, há diversos produtos industrializados ofertados pelo mercado nacional para esse fim (AUSTIN, 1996), os quais devem ser adequadamente escolhidos, em função: das características do substrato, das condições de exposição durante a aplicação, dos procedimentos de cura adotados, da adequação aos equipamentos de mistura e projeção disponíveis, etc.

No levantamento de dados em campo, realizado para complementar a revisão bibliográfica, identificou-se que, em todos os canteiros de obras visitados, estavam sendo utilizadas argamassas industrializadas de base cimentícia, fabricadas especificamente para utilização com sistemas de bombeamento e projeção contínua de argamassas.

2.5. PRODUÇÃO DA ARGAMASSA

A etapa de produção da argamassa envolve todas as atividades, que vão desde o recebimento, o descarregamento, o armazenamento e o transporte dos materiais no canteiro, até a mistura e o bombeamento da argamassa fresca (AUSTIN, 1995_b), sendo cada uma delas tratada mais detalhadamente a seguir.

2.5.1. Recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de materiais

A argamassa industrializada pode ser entregue, no canteiro de obras, ensacada ou a granel (em silos) e, em função dessa característica, haverá diferenças significativas na forma de descarregamento, armazenamento e transporte dos materiais no canteiro de obras (REGATTIERI; SILVA, 2003).

Conforme explicam Regattieri e Silva (2003), no caso da argamassa entregue em sacos soltos, o descarregamento deve ser realizado manualmente (Figura 5) e, no caso de entregas através de sacos paletizados, o descarregamento pode ser realizado com o uso de porta-palete, com empilhadeira ou grua (Figura 6), possibilitando uma redução no consumo de mão de obra da atividade.

Após o armazenamento inicial, a argamassa ensacada deve ser transportada até as misturadoras de argamassa e depositada sobre uma grade de proteção metálica, dotada de rasga-sacos. Esse transporte pode ser realizado por meio de carrinhos plataforma (Figura 7) e cremalheiras (sacos soltos), ou por meio de guas, empilhadeiras ou outro meio de transporte (sacos paletizados).

Figura 5 - Transporte manual dos sacos

Figura 6 - Transporte do palete com grua

Figura 7 - Transporte dos sacos com carrinho plataforma

A argamassa industrializada também pode ser entregue a granel, pronta para consumo, ou, em função do sistema contratado, com materiais básicos separados para compô-la no canteiro. Nesse caso, os aglomerantes e agregados são armazenados separadamente no interior do silo e deverão ser dosados previamente à mistura. O silo, por sua vez, é posicionado no canteiro de obras pelo próprio caminhão que realiza o seu transporte (Figura 8) e os materiais entregues a granel são fornecidos separadamente, através de um caminhão graneleiro, bombeados a partir do caminhão graneleiro e enviados através de compressores de ar e de mangueiras para o interior dos silos (Figura 9) (REGATTIERI; SILVA, 2003), onde ficarão armazenados até o momento do consumo.

Figura 8 - Posicionamento do silo sobre base de concreto

Figura 9 - Caminhão graneleiro para abastecimento do silo com argamassa

Para que o posicionamento do silo seja possível, é preciso prever: acessos adequados para a entrada e a manobra dos veículos, que realizarão tanto o seu posicionamento como o seu abastecimento, sempre que houver necessidade; uma base de concreto, adequadamente dimensionada para receber as cargas previstas, e infraestrutura elétrica e hidráulica necessárias, especificadas pelo fabricante dos equipamentos (CEOTTO; BANDUK; NAKAMURA, 2005).

A localização dos silos de argamassa deve ser prevista levando-se em consideração: os espaços disponíveis no canteiro (para o seu posicionamento e abastecimento) e as limitações de bombeamento da argamassa seca na vertical e na horizontal. Em certos casos, quando as distâncias de bombeamento, verticais ou horizontais, forem muito grandes, pode-se optar pela utilização de dois compressores operando em conjunto.

A partir do silo, o material pode seguir diferentes caminhos em função do sistema adotado. É possível dosar os materiais básicos e misturá-los junto ao silo, para, depois, realizar-se o transporte da argamassa pronta, ou pode-se transportar a argamassa seca, até o ponto de consumo, para, então, proceder a sua mistura em uma argamassadeira (MAIDL, 1995).

O transporte mecanizado da argamassa seca até as misturadoras é realizado com o auxílio de compressores de ar e mangueiras (Figura 10), os quais deverão ser dimensionados em função da distância a ser percorrida pela argamassa seca e das características do material transportado (granulometria, densidade, se seco ou úmido, etc.). Esses compressores geram uma corrente de ar comprimido contínua,

que, ao entrar em contato com a mistura de argamassa seca na saída do silo, carrega-a pela mangueira até o misturador contínuo de argamassa.

Na entrada da mangueira nos misturadores contínuos, utiliza-se de um conjunto de filtros acoplados sobre uma caixa metálica (Figura 11), usualmente conhecido como moega, que, por sua vez, é fixado ao misturador (CRESCÊNCIO, 2000).

Esse conjunto permite a saída do ar comprimido, retendo a argamassa seca dentro da misturadora. Além disso, a caixa metálica, parte integrante da moega, funciona como um reservatório intermediário de argamassa seca, onde é possível acoplar um sensor para identificar o nível da argamassa dentro do reservatório e enviar sinais ao painel de controle do silo, controlando automaticamente o fluxo dos materiais do silo até a misturadora (Figura 12).

Figura 10 - Compressor de ar

Figura 11 - Moega acoplada na misturadora

Figura 12 - Sensor de nível de argamassa

No Quadro 2, é possível verificar as formas de recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte, identificadas nos canteiros de obras visitados, durante o levantamento de informações em campo. É possível perceber que a maioria dos canteiros visitados estava utilizando argamassa recebida a granel, armazenada dentro de silos e transportada mecanicamente até a misturadora.

Levantamento em campo	Recebimento	Descarregamento	Armazenamento	Transporte
Canteiro 1	Argamassa ensacada, sacos não paletizados	Manual	Empilhado	Carrinhos plataforma e cremalheira
	Em silo, pré-misturada	Mecanizado	Dentro do silo	Bombeado
Canteiro 2	Argamassa ensacada, sacos não paletizados	Manual	Empilhado	Carrinhos plataforma e cremalheira
Canteiro 3	Em silo, pré-misturada	Mecanizado	Dentro do silo	Bombeado
Canteiro 4	Em silo, pré-misturada	Mecanizado	Dentro do silo	Bombeado
Canteiro 5	Em silo, pré-misturada	Mecanizado	Dentro do silo	Misturadora acoplada sob o silo

Quadro 2 - Formas de recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de materiais, identificadas em campo

Já o Quadro 3 apresenta, além das alternativas identificadas no levantamento de campo, as alternativas identificadas na revisão bibliográfica, resumindo as possíveis formas de recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte das argamassas nos canteiros de obras.

Recebimento	Descarregamento	Armazenamento	Transporte	Entrega no equipamento de mistura
Argamassa ensacada, sacos não paletizados	Manual	Empilhado	Carrinhos plataforma e cremalheira	Depósito sobre rasgadores
Argamassa ensacada, sacos paletizados	Mecanizado (grua, empilhadeira ou carro porta paleta)	Paletizado	Grua	
			Empilhadeira	
Em silos, materiais pré-misturados	Mecanizado (bombeamento a partir de caminhão graneleiro)	Dentro do silo	Bombeado a partir do silo para a misturadora	Entrada através da moega
Em silos, materiais separados			Sem transporte a seco	Entrada diretamente a partir do silo

Quadro 3 - Alternativas para recebimento, descarregamento, armazenamento e transporte de argamassa no canteiro de obras

2.5.2. Mistura e bombeamento da argamassa

A mistura da argamassa industrializada com a água para aplicação com bombas helicoidais é usualmente realizada por misturadores contínuos (Figura 13) (CRESCÊNCIO et al., 2000) que, por sua vez, podem ser acoplados aos silos (Figura 14) ou não.

Figura 13 - Misturador contínuo
(M-TEC, 2011)

Figura 14 - Misturador contínuo acoplado ao silo
(M-TEC, 2011)

Esses misturadores são indicados para a utilização com os sistemas de projeção contínua, pois produzem volumes de argamassa compatíveis com as altas demandas das bombas helicoidais (aproximadamente 32 litros de argamassa/minuto - referência bomba D7 2-5, fabricante: MAI International) (MAI INTERNATIONAL, 2011), que podem variar em função da capacidade da bomba utilizada e das condições de execução.

Eles devem receber a argamassa seca previamente homogeneizada, pois não possuem as pás de eixo horizontal, responsáveis pela homogeneização do material, existentes nas misturadoras de argamassa intermitentes, de tal forma que são mais adequados para utilização juntamente com argamassas industrializadas.

Após a mistura do material seco à água e a homogeneização da argamassa, dá-se início ao bombeamento da argamassa, que consiste no transporte da argamassa fresca, por meio de bombas acopladas a um conjunto de mangueiras (REGATTIERI; SILVA, 2003). Essas bombas de argamassa podem se encontrar associadas (Figura 15) ou não (Figura 16) aos misturadores de argamassa (CRESCÊNCIO, 2000).

Figura 15 - Bomba associada ao misturador (M-TEC, 2011)

Figura 16 - Bomba de projeção independente (M-TEC, 2011)

Quando não estão associados aos misturadores, esses equipamentos são usualmente denominados bombas de argamassa. Neles, a argamassa pronta, previamente misturada à água e homogeneizada, é depositada diretamente sobre uma câmara ou reservatório do equipamento de bombeamento (REGATTIERI; SILVA, 2003) (Figura 17) e conduzida através de uma rosca metálica (Figura 18), para, então, ser introduzida na bomba helicoidal, onde irá passar sob pressão e será transportada pelas mangueiras de argamassa.

Figura 17 - Argamassa dentro do reservatório da bomba de projeção

Figura 18 - Rosca metálica posicionada dentro do reservatório

Nesse caso, as bombas de projeção devem ser preferencialmente posicionadas sob o bocal de saída de argamassa das misturadoras contínuas (Figura 19), de forma que a argamassa, depois de misturada à água, seja depositada diretamente sobre a bomba, eliminando uma das etapas de transporte da argamassa no canteiro de obra e diminuindo as potenciais perdas de material que podem ocorrer nesse transporte (Figura 20).

Figura 19 - Misturador posicionado sobre a bomba
(ANVI, 2011)

Figura 20 - Misturador posicionado sobre caixote
(disposição não recomendada)

Quando as bombas de argamassa estão associadas aos misturadores, após a mistura da argamassa com a água, ela é imediatamente depositada na entrada da bomba helicoidal, sem haver interferência da mão de obra, desde a produção da argamassa até a sua projeção sobre o substrato, trazendo como vantagens: a eliminação de uma das etapas de transporte dos revestimentos; a diminuição das perdas associadas a essa etapa de transporte e a produção da argamassa somente mediante o acionamento da pistola de projeção. Nas Figuras 21 a 24, é possível observar modelos de misturadores e projetores associados, de diferentes fabricantes.

Figura 21 -
Misturadora e projetora
(PFT, 2011)

Figura 22 -
Misturadora e projetora
(M-TEC, 2011)

Figura 23 -
Misturadora e projetora
(BALKE, 2011)

Figura 24 - Misturadora
e projetora
(PUTZMEISTER, 2011)

Nesses equipamentos, a argamassa seca é introduzida em um reservatório - usualmente denominado de caixa alimentadora (Figura 25) - e conduzida através de uma rosca metálica até a entrada do misturador - ou câmara de mistura (Figura 26).

Figura 25 - Caixa alimentadora com caracol de transporte

Figura 26 - Câmara de mistura

Na câmara de mistura, a água é introduzida, misturada à argamassa, através de uma pá rotativa e, imediatamente, depositada sobre a entrada da bomba helicoidal, por onde passa sob pressão, entrando na mangueira, sendo conduzida até a pistola de projeção (Figura 27).

Figura 27 - Esquema ilustrativo de um equipamento de mistura e projeção (M-TEC, 2011)

A introdução da água na câmara de mistura pode ser controlada através de um registro conectado a um sistema de ajuste da vazão de água, conhecido como rotâmetro, ou medidor de fluxo de área variável (Figuras 28 e 29).

Figura 28 - Rotâmetro localizado na misturadora e projetora de argamassa (M-TEC, 2011)

Figura 29 - Detalhe do rotâmetro indicando a vazão em litros / hora (M-TEC, 2011)

Esse sistema permite que as argamassas sejam preparadas nas condições especificadas pelos fabricantes ou conforme a necessidade de trabalhabilidade definida para cada uso, registrando a quantidade de litros de água por hora adicionada à argamassa.

Há, ainda, a possibilidade de utilizar os misturadores e as bombas de projeção, acoplados diretamente sob o silo (BAÍÁ; SABBATINI, 2000) (Figuras 30 e 31). Nesse caso, devem-se analisar as distâncias máximas de bombeamento na horizontal e na vertical e as pressões internas geradas no sistema de bombeamento, definidas pelos fabricantes de equipamentos em função das características das bombas de projeção helicoidais.

Figura 30 - Misturador contínuo sob silo
(M-TEC, 2011)

Figura 31 - Misturador integrado à
bomba helicoidal sob silo
(M-TEC, 2011)

A utilização das bombas helicoidais para o bombeamento e projeção de argamassa (Austin, 1995_a), também conhecidas como bombas do tipo *rotor estator* - bomba rotor estator -, *worm-pump* - bomba de rosca sem fim - ou *progressive cavity pump* - bomba de cavidade progressiva, é conveniente para a aplicação dos revestimentos de argamassa, pois permite o bombeamento de materiais com agregados miúdos de diversas granulometrias e, tal como explica Cholet (1997), é ideal para transportar fluxos contínuos de materiais espessos sem sua deterioração (no caso de argamassas, sem a segregação da pasta e dos agregados).

Cook (1990) acrescenta que as bombas helicoidais são de fácil limpeza e manutenção e bombeiam o material de forma contínua e livre de oscilações, o que, segundo ele, é extremamente útil para alguns tipos de aplicações, tal como a projeção contínua de argamassas para revestimentos (com agregados miúdos de 0 a 8 mm), favorecendo uma dosagem de aditivos mais precisa.

O bombeamento contínuo de argamassa, proporcionado por esse tipo de bomba, é o fator pelo qual se definiu chamar de projeção mecânica contínua de argamassas os sistemas de projeção de argamassa que se utilizam das bombas de projeção helicoidais.

Hoje, existem diversos fabricantes de bombas helicoidais e, para cada fabricante, diversos modelos com comprimentos e diâmetros variáveis. Elas são compostas de duas partes: um rotor, parte interna de aço (Figura 32), e um estator, parte externa

fabricada com um elastômero derivado do petróleo (Figura 33). A geometria do rotor e do estator não é idêntica, de forma que os espaços formados entre eles, interligados, criam uma pressão negativa na saída da bomba, à medida que giram um em relação ao outro (CHOLET, 1997; MAIDL, 1995), proporcionando a pressão necessária para o bombeamento da argamassa.

Figura 32 - Bomba helicoidal: rotor

Figura 33 - Bomba helicoidal: estator

O comprimento das bombas (determinado pelo número de “ondas” formadas) determina a pressão de saída da bomba: quanto maior for o comprimento da bomba helicoidal, maiores serão as pressões de saída (CHOLET, 1997).

Já o tamanho dos espaços formados entre o rotor e o estator determina o diâmetro máximo do agregado adequado para utilização juntamente com bomba helicoidal. Utilizar agregados com diâmetros de grãos superiores ao especificado pelos fabricantes ocasionará o desgaste excessivo das peças que formam a bomba e, conseqüentemente, aumentará o número de reposições necessárias, aumentando o custo do sistema.

Ao passar pela bomba helicoidal e sair sob pressão, a argamassa entra na mangueira (Figura 34), acoplada na saída da bomba helicoidal, para, então, ser transportada até a pistola de projeção.

Existem mangueiras com diferentes diâmetros, especificados em função do tamanho do agregado, da pressão do ar e da vazão de saída da argamassa (AUSTIN, 1995_b), sendo mais comuns os diâmetros de 25, 35 e 50 mm e os comprimentos de 10, 15, 20, 25 e 50 m (CRESCÊNCIO et al., 2000).

A distância máxima de transporte da argamassa fresca dentro das mangueiras depende da vazão de saída da máquina, da pressão do ar no bico da pistola e do tamanho da mangueira, bem como das propriedades reológicas da argamassa, e pode alcançar até mais de 300 metros horizontalmente e 100 metros verticalmente (AUSTIN, 1995_b).

Na pistola (Figura 35), o ar comprimido, que é produzido nos compressores de ar (geralmente parte integrante dos equipamentos de bombeamento) e conduzido até a pistola por meio de mangueiras, é injetado por meio de um anel, localizado dentro da pistola, próximo ao orifício de saída, projetando a argamassa para fora (AUSTIN, 1995_b).

Figura 34 - Mangueira para transporte da argamassa (MAI INTERNATIONAL, 2011)

Figura 35 - Pistola de projeção (MAI INTERNATIONAL, 2011)

As pistolas possuem variações quanto ao seu comprimento, diâmetro e ângulo de projeção, sendo comuns as pistolas com diâmetros de 25 mm e 35 mm, com ângulo reto (normalmente utilizadas em execução de revestimentos) e angular (normalmente utilizadas em execução de tetos), curtas (normalmente utilizadas em locais com limitação de espaço para manobras) ou longas (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Existem diversos tipos de bicos para as pistolas, fabricados com diversos materiais, sendo os mais comuns os de PVC e fibra de poliéster (Figuras 36 e 37). Em geral, o diâmetro do furo do bico da pistola deve ser igual à aproximadamente três vezes o

diâmetro máximo do agregado, sendo, usualmente, encontrados bicos com diâmetros de 10, 12, 14, 16, 18 e 20 mm. Quanto menor for o orifício do bico da pistola, maior será a velocidade de projeção da argamassa, resultando em maior energia de aplicação e, conseqüentemente, maiores valores de resistência de aderência (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Figura 36 - Bico metálico e bico de fibra de nylon Figura 37 - Bico metálico e bico de fibra de nylon

Além disso, a distância do furo do bico em relação à saída do ar comprimido irá determinar a geometria do spray formado. É possível ajustar essa distância, rosqueando mais ou menos o bico na pistola, sendo mais usual trabalhar com o orifício do bico posicionado a uma distância igual ao seu diâmetro em relação à saída do ar comprimido.

Esses bicos apresentam desgastes com o uso (ocorrendo o aumento do diâmetro do furo e, conseqüentemente, a diminuição da velocidade de projeção) e sua troca deve ser prevista juntamente com o fornecedor do equipamento.

Nos canteiros de obra visitados no levantamento de dados em campo, foi possível identificar os sistemas de mistura e bombeamento de argamassa utilizados, representados no Quadro 4.

Local	Mistura da argamassa	Bombeamento da argamassa
Canteiro 1	Misturadora associada à bomba de projeção	
Canteiro 2	Misturadora contínua independente	Bomba de projeção independente
Canteiro 3	Misturadora associada à bomba de projeção	
Canteiro 4	Misturadora contínua independente	Bomba de projeção independente
Canteiro 5	Misturadora contínua acoplada ao silo de argamassa	

Quadro 4 - Equipamentos utilizados para mistura e bombeamento da argamassa, identificados em campo

O Quadro 5, apresentado a seguir, ilustra as possíveis alternativas de composição do sistema de mistura e bombeamento da argamassa.

Sistema	Mistura da argamassa		Bombeamento da argamassa úmida
Independentes	Misturadora intermitente		Bomba de projeção independente
	Misturadora contínua	Independente	Bomba de projeção independente
		Acoplada ao silo	Bomba de projeção independente
Integrados	Misturadora associada à bomba de projeção		
	Misturadora associada à bomba de projeção, acoplada ao silo de argamassa		

Quadro 5 - Alternativas de composição do sistema de mistura e bombeamento da argamassa

É grande o número de alternativas de recebimento, transporte, mistura e bombeamento dos materiais dentro dos sistemas de projeção mecânica contínua de argamassa, possibilitando diversas configurações para esses sistemas nos canteiros de obras.

A escolha dos equipamentos e configuração do sistema dependerá principalmente das características das obras a serem executadas, das limitações impostas pelos equipamentos (em função das distâncias de transporte de argamassa na horizontal e vertical, tanto no estado seco como umedecido) e da disponibilidade de fornecimento de equipamentos e materiais por parte dos fabricantes, devendo ser realizada o quanto antes no processo de produção dos empreendimentos.

2.6. PRODUÇÃO DO REVESTIMENTO

A produção dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua aborda as etapas que vão desde a projeção da argamassa no substrato até as etapas subsequentes de acabamento e cura (Austin, 1995_b), descritas detalhadamente a seguir.

2.6.1. Preparação do substrato

Austin (1995_b) afirma que a integridade dos materiais projetados é totalmente dependente da adesão ao substrato, sendo vital que ele seja preparado adequadamente (estando livre de poeira, óleo, graxa e outros contaminantes) de forma a apresentar rugosidade, integridade; limpeza e condição de umidade, adequadas para a aplicação do material.

Caso o substrato não apresente as propriedades adequadas para a aplicação do revestimento, a sua preparação é a primeira etapa a ser executada, com o objetivo de melhorar as condições de aderência do revestimento ao substrato (SANTOS, 2003), através do aumento da rugosidade superficial, da regularização e da uniformização da absorção de água (SCARTEZINI et al., 2002; PARAVISI, 2008).

Podem ser consideradas atividades de preparação do substrato: a limpeza, o pré-umedecimento da base com água e a aplicação de chapisco (SANTOS, 2003), tratados a seguir.

2.6.1.1. Limpeza

A limpeza do substrato é uma atividade de fundamental importância e tem como objetivo eliminar os elementos que venham a prejudicar a aderência da argamassa à base, tais como: pó, fuligem, graxas, óleos, desmoldantes, fungos, musgos e eflorescências (CRESCÊNCIO et. al., 2000; BAÍA; SABBATINI, 2000).

As técnicas recomendadas para sua realização variam de acordo com a extensão das sujidades (BAÍA; SABBATINI, 2000), podendo ser adotados os procedimentos de escovação e lavagem da superfície ou aplicação de jato de água sob pressão, para remoção de materiais pulverulentos; limpeza com soluções alcalinas ou ácidas, para remoção de óleos e graxas; escovação a seco da superfície com escova de cerdas de aço e limpeza com solução de ácido muriático, para remoção de eflorescências e escovação da superfície com escova de cerdas duras, com solução de fosfato trissódico, para remoção de bolor e fungos (ABNT NBR 7200, 1998).

Hoje, existem equipamentos mecânicos que podem facilitar a execução dessas atividades, tais como os destacados por (CEOTTO; BANDUK, NAKAMURA, 2005):

bomba de hidrojateamento, lixadeiras mecânicas, serras manuais para corte de pontas de ferro, lixas d'água, etc.

Destaca-se que a ABNT NBR 7200 (1998) especifica que, após quaisquer dos procedimentos de lavagem, deve-se esperar pela completa secagem da base para se prosseguir com a aplicação do revestimento.

2.6.1.2. Pré-umedecimento

O pré-umedecimento do substrato também é considerado como uma forma de preparo (SANTOS, 2003), prevista pela ABNT NBR 7200 (1998), para bases de revestimento com elevada absorção de água, o que, geralmente, ocorre em superfícies de baixa porosidade ou em locais de baixa umidade relativa do ar.

Sabe-se que a absorção de água capilar é uma característica que interfere na capacidade de aderência dos revestimentos, na medida em que, em bases de baixa absorção, a transferência de pasta aglomerante da argamassa para a base se processa ao longo de um período mais extenso, possibilitando a formação de um meio contínuo de pasta endurecida, enquanto nas bases com elevada sucção capilar, a rápida absorção impede, quando associada a uma argamassa de baixa retenção de água, a formação desse meio contínuo, determinando uma menor ancoragem mecânica dos revestimentos (SABBATINI, 1990).

Geralmente, o pré-umedecimento do substrato se dá por meio da aspersão de água com brochas ou trinchas, com o objetivo de equilibrar a umidade entre as duas camadas (substrato e revestimento), porém esse procedimento é suscetível à habilidade e à experiência de mão de obra, já que depende de sua análise para determinar a quantidade de água necessária para ser aspergida.

2.6.1.3. Aplicação de chapisco

A aplicação do chapisco é uma terceira forma de preparo do substrato que, embora não seja considerada parte do revestimento propriamente dito, pode ser utilizada para homogeneizar a absorção da base, em situações onde o substrato é composto de materiais que apresentam diferentes propriedades (por exemplo, o caso de

estruturas de concreto e alvenaria de vedações), ou melhorar as condições de aderência da primeira camada em situações onde há: substrato com porosidade ou rugosidade inadequada; bases com capacidade de sucção incompatível com as propriedades da argamassa de revestimento (por exemplo, materiais com sucção muito alta, associados a argamassas com baixa retenção de água) ou revestimentos sujeitos a ações de maior intensidade (por exemplo, revestimentos externos e revestimentos de teto) (SABBATINI, 1990).

Trata-se de uma camada de preparo da base, constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, de consistência fluida (ABNT NBR 7200, 1998). Segundo Crescêncio et al. (2000) e Paravisi (2008), a camada de chapisco pode ser aplicada através de projeção manual, com rolos de espuma ou através de projeção mecânica e, nesse último caso, utilizando-se bombas de projeção contínua ou projetores a ar comprimido, sendo também necessário que a argamassa de chapisco tenha sido desenvolvida com características adequadas à forma de aplicação, bem como às propriedades do substrato e da argamassa de revestimento a ser aplicados sobre ele.

No caso de aplicação manual, o lançamento do chapisco sobre o substrato é realizado com a própria colher de pedreiro. Já no caso da aplicação mecânica contínua, para atender às especificações de espessura máxima de 5 mm e obter uma textura rugosa e rala, durante a aplicação, o operador deve posicionar a pistola a cerca de 50 cm do substrato e movimentá-la rapidamente, deixando sempre o bico da pistola perpendicular ao substrato (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Há autores (GEOTTO; BANDUK, NAKAMURA, 2005) que recomendam, ainda, a cura úmida do chapisco, mediante a utilização de uma névoa de água, durante o maior período possível, através da aspersão de água sobre o chapisco um dia antes da aplicação da argamassa de revestimento sobre o mesmo.

Segundo a ABNT NBR 7200 (1998), em regiões de clima muito seco e quente, após a sua aplicação, o chapisco deve ser protegido da ação direta do sol e do vento, através de processos que mantenham a umidade da superfície no mínimo por 12 horas após a aplicação e deve ser respeitado um prazo mínimo de dois a três dias, dependendo das condições ambientais, entre a aplicação do chapisco e a aplicação do revestimento de argamassa (emboço ou camada única de argamassa).

2.6.2. Definição das referências de espessura

Antes de iniciar o revestimento de qualquer base, devem ser criadas as referências para a definição do plano a ser obtido, de forma que o revestimento dessas superfícies esteja em prumo e obedeça às espessuras admissíveis (BAÍÁ; SABBATINI, 2000; PARAVISI, 2008).

Essas referências, denominadas usualmente de taliscas, são obtidas através da locação dos arames de fachada, seguida da atividade de mapeamento da fachada, da definição da espessura do revestimento da fachada e do taliscamento propriamente dito (BAÍÁ; SABBATINI, 2000) e são executadas, usualmente, com pedaços de cerâmica ou azulejo e argamassa (Figura 38), ou outro tipo de material. Na Figura 39, é possível ver um exemplo de uma talisca executada com chapa de madeira compensada, que pode ser utilizada, por exemplo, em substratos com grande precisão dimensional.

Figura 38 - Talisca de argamassa e cerâmica (CICHINELLI, 2009)

Figura 39 - Talisca de madeira fixada com prego na alvenaria

As taliscas devem ser espaçadas, considerando o comprimento da régua de alumínio e a altura do trecho sobre o balancim (ABNT NBR 7200, 1998; CEOTTO; BANDUK, NAKAMURA, 2005).

Após o endurecimento da argamassa utilizada na fixação das peças cerâmicas, as taliscas são utilizadas para apoiar e servir de referência para a execução das

mestras, faixas estreitas e contínuas de argamassa feitas entre duas taliscas, que servem de guia para a execução do revestimento, através das quais fica delimitada uma região onde será aplicada a argamassa (ABNT NBR 7200, 1998; BAÍA; SABBATINI, 2000).

As mestras podem ser executadas aplicando-se a argamassa, manualmente ou por projeção mecânica, entre duas taliscas consecutivas (Figura 40) e, após o seu enrijecimento, o excesso de argamassa é cortado, apoiando-se a régua metálica sobre as taliscas (Figura 41).

Após o enrijecimento parcial da argamassa das mestras, poderá ser realizada a projeção da argamassa sobre o substrato entre as guias ou mestras (ABNT NBR 7200, 1998), de forma que elas possam servir de apoio durante a realização do alisamento e do sarrafeamento (ou raspagem) da argamassa, etapas descritas adiante.

Figura 40 - Aplicação da argamassa entre taliscas

Figura 41 - Mestra após a remoção do excesso com régua metálica

2.6.3. Projeção da argamassa

No caso da utilização do sistema de projeção mecânica contínua para a execução dos revestimentos, durante a etapa de projeção da argamassa sobre o substrato, a operação da pistola é de particular importância para a produção do revestimento,

pois o impacto do jato na superfície influencia a sua qualidade e a reflexão de material, devendo se dar da forma mais perpendicular possível, formando um ângulo próximo de 90 graus com o substrato (AUSTIN, 1995_b; MAIDL, 1995).

A distância da pistola ao substrato dependerá da velocidade de projeção da argamassa, que, por sua vez, depende da capacidade de bombeamento do equipamento utilizado, da pressão do ar injetado na pistola e das características do bico da pistola de projeção. Para aplicações com velocidade de partículas menores (menor pressão do ar comprimido, maior diâmetro do furo do bico da pistola, etc.), a pistola deve ficar mais próxima à superfície (AUSTIN, 1995_b). É o caso da execução de revestimentos de argamassa, em que se recomenda uma distância do bico de projeção à parede entre 10 e 30 cm (Figura 42) (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Segundo observou Crescêncio et al. (2000), a projeção de argamassa deve ser feita na forma de filetes contínuos, de cima para baixo, com passes horizontais, formando faixas menores de 2,0 m de largura (Figura 43); para isso, é necessário observar a distância de projeção do bico da pistola ao substrato. Quanto menor for o ângulo de projeção e a distância da pistola à parede, mais preciso será o jato (CRESCÊNCIO et al., 2000), permitindo a projeção em forma desses filetes.

Figura 42 - Posicionamento da pistola em relação ao substrato

Figura 43 - Projeção da argamassa: aplicação em forma de filetes

No momento da projeção, a velocidade de projeção, associada à velocidade com a qual se movimenta a pistola, também determina a quantidade de argamassa

aplicada no substrato e, conseqüentemente, a espessura de argamassa aplicada. O aplicador deve utilizar as mestras como referência visual, para verificar se está aplicando a quantidade de argamassa adequada, que deve ser o suficiente para que, após a etapa de alisamento, o revestimento fique praticamente com a espessura final desejada.

Caso seja aplicada argamassa em excesso, as operações de alisamento e de sarrafeamento se tornarão menos produtivas e exigirão maior esforço físico por parte dos operários, pois uma grande quantidade de argamassa terá que ser removida da camada para chegar à planicidade e à espessura final. Caso seja aplicada pouca argamassa, será necessário o posterior preenchimento das regiões falhas com argamassa aplicada, utilizando-se a colher de pedreiro ou a própria pistola, prejudicando a produtividade da execução dos revestimentos.

Além disso, a projeção de argamassa em quantidade excessiva poderá resultar no deslocamento da argamassa, pois ela poderá não ter a adesão inicial ao substrato suficiente para resistir ao peso próprio da camada. Por esse motivo, recomenda-se a aplicação da argamassa em diversas camadas de, no máximo, 2 cm, em casos de revestimentos com mais de 2 cm de espessura (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Após o término da projeção, é fundamental que a limpeza dos equipamentos de mistura e projeção seja feita dentro dos prazos indicados pelos fornecedores dos equipamentos e em função das características das argamassas utilizadas, para evitar o entupimento das mangueiras ou de outras peças do sistema de projeção.

Para a realização da limpeza, Crescêncio et al. (2000) explica que, em equipamentos com misturadores acoplados, deve-se aumentar a vazão de água no rotâmetro, até obter uma argamassa de baixa consistência na pistola de projeção e, em seguida, passar uma esfera de espuma (de diâmetro ligeiramente superior ao diâmetro da mangueira) pela mangueira, para completar a limpeza.

2.6.4. Alisamento

Segundo explicam Crescêncio et al. (2000) e Santos (2003), a etapa de alisamento é realizada para substituir a etapa de “*aperto*” da argamassa, realizada no processo de

execução tradicional de revestimentos, com a colher de pedreiro, logo após a aplicação da argamassa sobre o substrato (Figura 44) (SANTOS, 2003).

O alisamento deve ser realizado com uma régua metálica de perfil H ou trapezoidal, imediatamente após a projeção da argamassa no plano definido entre duas mestras, com o objetivo de proporcionar um maior contato entre a argamassa fresca e o substrato (SANTOS, 2003) e tornar a superfície a mais plana possível, facilitando as próximas etapas da execução (Figura 45) (CRESCÊNCIO et al., 2000).

Figura 44 - Aperto com colher de pedreiro

Figura 45 - Alisamento com régua H

Diferentemente do sarrafeamento, no qual ocorre o corte do excesso de argamassa, na operação de alisamento, a argamassa, que está irregular após a projeção, é comprimida e espalhada pela régua, sendo retirada dos pontos onde está em excesso, e imediatamente reaplicada nos pontos onde está escassa. Para isso, é necessário que a régua H esteja numa inclinação entre 30 e 45 graus em relação ao plano do revestimento (Figura 46).

Caso haja excesso de argamassa e ela fique depositada na régua, deve-se reaplicá-la no próprio painel de revestimento, nos pontos onde estiver faltando, imediatamente após ser retirada. Somente ao final do alisamento, a argamassa excedente deve ser definitivamente removida do plano do revestimento.

Figura 46 - Detalhe de inclinação da régua na etapa de alisamento da argamassa fresca

A etapa de alisamento deve ser realizada somente enquanto a argamassa ainda estiver em condições de plasticidade adequada para esta operação. No momento em que a argamassa não estiver mais em condições de ser espalhada, ela vai perder a plasticidade e apresentar fissuração com a passagem da régua, pois não estará nem plástica o suficiente para ser espalhada e nem rígida o suficiente para receber o sarrafeamento. Caso a argamassa não tenha retenção de água adequada à capacidade de absorção do substrato, a perda de água se dará de forma rápida, dificultando a realização do alisamento.

A realização da etapa de alisamento promove uma superfície com grande regularidade, minimizando a necessidade de realização do sarrafeamento. Por outro lado, o alisamento é uma etapa que, tal como descrito, deve ser realizada de forma rápida e depende da habilidade e presteza da mão de obra, sendo, portanto, suscetível a falhas de execução, que podem ser corrigidas posteriormente, através da remoção do excesso de argamassa.

Essa remoção do excesso pode se dar através de duas técnicas de acabamento superficial, identificadas na bibliografia e nas visitas em campo: o sarrafeamento tradicional ou a raspagem, descritas a seguir.

2.6.5. Acabamento superficial

2.6.5.1. Sarrafeamento tradicional

Na técnica tradicional de execução dos revestimentos de argamassa, após a etapa de aplicação e aperto da argamassa sobre o substrato, deixa-se a argamassa endurecer naturalmente, caracterizando o tempo de sarrafeamento e desempenho (CRESCÊNCIO et al., 2000), que é o período de tempo necessário para que a argamassa perca parte da água de amassamento e chegue a uma umidade adequada para iniciar as operações de sarrafeamento da camada de argamassa (BAÍA; SABBATINI, 2000).

O sarrafeamento é caracterizado pelo corte do excesso de argamassa aplicada, com uma régua de alumínio com perfil retangular, apoiada nas mestras previamente executadas, descrevendo um movimento de deslizamento lateral e ascendente, definindo, dessa forma, o plano do revestimento (Figura 47) (ABNT NBR 7200, 1998).

Figura 47 - Sarrafeamento tradicional
(VENTURINI, 2011)

Em seguida, preenchem-se as depressões restantes no revestimento, mediante novos lançamentos de argamassa nos pontos necessários, repetindo-se a operação de sarrafeamento até se conseguir uma superfície plana e homogênea (ABNT NBR 7200, 1998).

No caso dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua, a necessidade do sarrafeamento (corte da argamassa) é minimizada, em função da realização do alisamento, que já proporciona uma superfície de grande regularidade superficial, podendo ser substituído pela etapa de raspagem, descrita a seguir.

2.6.5.2. Raspagem

A aplicação de uma quantidade de argamassa adequada, associada à etapa de alisamento, que proporciona uma grande planicidade da camada de argamassa, permite eliminar o corte do excesso de argamassa por sarrafeamento. Isso é possível com o emprego de um processo padronizado de produção, garantido, por sua vez, por um treinamento eficaz da equipe de produção dos revestimentos.

No entanto, mesmo com o alisamento, uma leve irregularidade da superfície da argamassa deve ser removida, para se alcançar a planicidade adequada para a realização do desempenho, o que pode ser obtido com a raspagem.

Embora a etapa de raspagem tenha sido identificada na revisão bibliográfica somente em procedimentos de execução do revestimento decorativo monocamada (CRESCÊNCIO; BARROS, 2002), ela foi identificada nos canteiros de obra visitados como uma técnica alternativa para a substituição da etapa do sarrafeamento tradicional.

A raspagem, no entanto, deve ser realizada com a camada de argamassa mais seca em relação a quando é sarrafeada, de forma que, ao passar uma régua H sobre a camada, o excesso de material seja removido em camadas finas, sem o efeito de corte (que caracteriza o sarrafeamento) (Figura 48).

Figura 48 - Raspagem

A condição de umidade na qual a raspagem é realizada tem consequências que podem prejudicar o comportamento dos revestimentos, tais como:

- Não possibilita que a pasta da argamassa migre para a superfície, como ocorre quando do desempeno, o que pode resultar em superfície mais friável.
- Exige a aspersão de água no momento do desempeno, podendo prejudicar a resistência superficial.
- Pode prejudicar a compactação da argamassa, proporcionada pelo desempeno, e prejudicar, conseqüentemente, a estanqueidade do revestimento.

Após a raspagem, deve-se dar início à etapa de desempeno, descrita a seguir.

2.6.5.3. Desempeno

O desempeno é a atividade seguinte ao sarrafeamento ou raspagem. Para que seja realizado, é necessário que o revestimento tenha perdido parte da água de amassamento para o substrato, por absorção capilar, e para o ambiente, por evaporação e, tal como para a realização do sarrafeamento ou raspagem, esse momento deve ser identificado por meio da verificação da umidade remanescente no revestimento, realizada com a ponta dos dedos.

Uma vez que a argamassa esteja em condições adequadas, deve-se executar o desempeno da superfície, por meio da passagem da desempenadeira, com movimentação circular, imprimindo-se certa pressão e aspergindo água com uma broxa de madeira, caso necessário (ABNT NBR 7200, 1998; BAÍA; SABBATINI, 2000), de forma a obter uma superfície mais lisa e uniforme, cobrindo eventuais irregularidades que possam ter sido deixadas na etapa de sarrafeamento ou raspagem. O desempeno pode ser realizado manual (Figura 49 e 50) ou mecanicamente.

Figura 49 - Desempeno com desempenadeira de PVC

Figura 50 - Desempeno com desempenadeira de PVC

Dependendo da desempenadeira utilizada (de madeira, de PVC rugosa, de PVC lisa, de aço ou com espuma) e dependendo da técnica utilizada na realização dos movimentos, é possível obter três tipos de acabamento desempenado: desempenado grosso (revestimento com acabamento com espessura superior a 5 mm); desempenado fino (revestimento com acabamento em pintura texturizada ou texturas acrílicas) e desempenado camurçado (revestimento com acabamento em pinturas lisas) (ABNT NBR 7200, 1998).

O Quadro 6 apresenta as alternativas de técnicas identificadas na revisão bibliográfica e no levantamento em campo, utilizadas na execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua.

Estudo de campo	Condição de umidade do substrato	Teor de umidade da argamassa	Número de demãos	Intervalo entre demãos	Técnica de aplicação da argamassa	Técnica de acabamento da superfície
Canteiro 1	Não controlada	Não controlado	Uma ou duas demãos	Não controlado	Projeção mecânica + Alisamento	Raspagem + Desempeno
Canteiro 2	Não controlada	Não controlado	Duas ou mais demãos	Úmido sobre úmido	Projeção mecânica + Aperto	Sarrafeamento + Desempeno
Canteiro 3	Não controlada	Não controlado	Duas ou mais demãos	Úmido sobre seco	Projeção mecânica + Alisamento	Sarrafeamento + Desempeno
Canteiro 4	Não controlada	Não controlado	Duas ou mais demãos	Úmido sobre seco	Projeção mecânica + Aperto	Sarrafeamento + Desempeno

Quadro 6 - Principais características identificadas na produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica, identificadas em campo

É possível verificar, através do Quadro 6, que há uma grande quantidade de variáveis envolvidas na execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua e que, além disso, muitas dessas características da produção não são controladas, sendo definidas pela experiência da mão de obra, no momento da execução dos revestimentos.

Já o Quadro 7 apresenta as principais características e variáveis identificadas para a produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua.

Principais características	Variáveis identificadas	
Preparo da base	Com chapisco	Sem chapisco
Condição de umidade do substrato	Seco	Umedecido
Teor de umidade da argamassa	Não controlado; definido pela experiência do pedreiro	
Número de demãos	Uma demão	Duas ou mais demãos
Intervalo entre demãos	Úmido sobre úmido	Úmido sobre seco
Técnica de aplicação da argamassa	Projeção mecânica + Aperto	Projeção mecânica + Alisamento
Técnica de acabamento da camada	Sarrafeamento + Desempeno	Raspagem + Desempeno

Quadro 7 - Principais características e variáveis identificadas para produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua

É interessante notar que, mesmo havendo variações na técnica empregada nas etapas de execução dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua, tal como explicou (PARAVISI, 2008), a sequência de produção desses revestimentos, desde a preparação da base até o acabamento final, não sofre grandes alterações em relação ao sistema tradicional de revestimento de argamassa com aplicação manual.

3. O COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS INFLUENCIADO PELA TÉCNICA DE EXECUÇÃO

A seguir, serão apresentadas algumas importantes propriedades dos revestimentos e os fatores selecionados neste trabalho, relacionados à técnica de execução de revestimentos de argamassa que podem influenciar essas propriedades.

3.1. COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Dentre as principais propriedades que caracterizam o comportamento dos revestimentos de argamassa, foram selecionadas, para avaliação neste trabalho, a adesão inicial, a fissuração e a aderência, por se tratarem daquelas que mais interferem na capacidade do revestimento de cumprir suas funções e apresentar o desempenho adequado ao longo da vida útil. Essas propriedades, bem como a sua importância no comportamento dos revestimentos de argamassa, estão apresentadas a seguir.

3.1.1. Adesão inicial

A adesão inicial é uma propriedade momentânea, definida logo após o lançamento da argamassa ao substrato, e é caracterizada pelo enrijecimento da argamassa, com a diminuição da plasticidade e o aumento da consistência da mesma (SANTOS, 2003).

Ela se dá devido às forças de dispersão entre a argamassa fresca e o substrato, estando, dessa forma, diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante (CARASEK, 1996) e com as propriedades do substrato, tais como a porosidade e a rugosidade superficial, e resultando na entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências do substrato, seguida do endurecimento progressivo da pasta, num fenômeno conhecido como ancoragem mecânica da argamassa na base (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Conforme explicam Baía e Sabbatini (2000) e Santos (2003), os fatores que influenciam a adesão inicial estão relacionados com:

- As propriedades da base: porosidade, rugosidade e condições de limpeza, que influenciam na superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base.
- As características reológicas das argamassas: que devem apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequada à sucção da base e às condições de exposição.
- A técnica de execução dos revestimentos (mais precisamente a energia de lançamento ou projeção e a compressão realizada após a sua aplicação, que promovem maior contato da argamassa com a base).
- A espessura do revestimento que, juntamente com o teor de água e o teor de ar incorporado, determinam a tensão limite de escoamento do sistema (tensão máxima que um material é capaz de suportar, quando submetido a um carregamento, a partir do qual o fluxo ou movimento do material se iniciam).

Sua importância no comportamento dos revestimentos se dá, pois, a adesão inicial, influencia não somente a facilidade ou a dificuldade de se executar um revestimento (uma argamassa com baixa adesão inicial no substrato apresenta falhas de deslocamento ou fissuração excessiva, quando submetida às operações de alisamento, sarrafeamento, raspagem ou desempenho), mas também a ancoragem mecânica e, conseqüentemente, a aderência, a fissuração e a durabilidade dos revestimentos de argamassa.

3.1.2. Fissuração

O grau de fissuração de um revestimento está diretamente relacionado à sua capacidade de absorver as deformações impostas pelo substrato, em função de: movimentações térmicas e higroscópicas ou de movimentações oriundas de deformações do substrato de pequena amplitude, e é diretamente influenciado pelas características e pelo proporcionamento dos materiais constituintes da argamassa; pela espessura e pelo intervalo de aplicação das camadas e pelo respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Nas primeiras idades, porém, a capacidade de absorver deformações do revestimento está diretamente relacionada à sua capacidade de resistir ao movimento de retração, desencadeado pela movimentação da nata e da água de amassamento da argamassa em função: da sucção do substrato, da evaporação para o ambiente externo (função das condições de vento, temperatura e umidade relativa) (SABBATINI, 1990) e das reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes e, conseqüentemente, da diminuição da água livre, presente na argamassa após a sua aplicação sobre o substrato (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Dessa forma, conforme explicaram Baía e Sabbatini (2000) e Sabbatini (1990), o grau de fissuração nas primeiras idades depende:

- das propriedades da argamassa utilizada (características e proporção dos materiais constituintes): quanto menor for o módulo de deformação (função do menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- das propriedades do substrato (capacidade de absorção): em função do efeito de sucção, inicia-se um processo de movimentação da nata e da água de amassamento para a base;
- das condições ambientais: em função da perda de umidade para o meio ambiente (condições de vento, temperatura e umidade relativa do ar);
- da técnica de execução: em função do grau de compactação nos momentos de sarrafeamento e desempenho, em função da umidade remanescente no revestimento no momento da execução das etapas;
- da espessura das camadas: pois espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade; entretanto, deve-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência;
- do intervalo de tempo entre a aplicação das camadas ou das demãos de argamassa.

Dependendo da intensidade dessas movimentações e da capacidade do revestimento de resistir a esses movimentos, podem aparecer fissuras que, dependendo da sua espessura e profundidade (BAÍA; SABBATINI, 2000), prejudicam a estanqueidade à água e a aderência dos revestimentos no entorno da região fissurada e comprometem não somente a durabilidade e o acabamento final previsto para o revestimento, mas também a durabilidade do elemento de vedação, especialmente no caso dos revestimentos de fachada, dado o grau de exposição

dos revestimentos externos com acabamento em pintura (BAÍA; SABBATINI, 2000; SABBATINI, 1990).

3.1.3. Aderência

Conceitua-se aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base (SABBATINI, 1990). Trata-se de um fenômeno essencialmente mecânico, que ocorre devido à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação (CARASEK, 1996; CEOTTO; BANDUK, NAKAMURA, 2005; SABBATINI, 1990).

Conforme explicam Baía e Sabbatini (2000) e Carasek (1996), a aderência depende de três fatores principais:

- As propriedades dos substratos, caracterizados pela porosidade e pela capacidade de sucção da água (que, por sua vez, dependem do diâmetro, da natureza e da distribuição dos tamanhos dos poros, influenciando na velocidade de sucção e absorção total) e pela textura superficial (rugosidade).
- As propriedades das argamassas, caracterizadas pela trabalhabilidade (consistência e plasticidade), pela retenção de água, pelo teor de ar incorporado e pela resistência à compressão; influenciadas pelas características dos materiais empregados, pela proporção dos materiais e pela utilização de aditivos e adições que alteram suas propriedades.
- Os fatores extrínsecos, caracterizados pelas técnicas de aplicação; pela influência da mão de obra, pelas condições de cura e efeito das intempéries e pelas movimentações diferenciais da base às quais o revestimento é submetido ao longo do tempo.

Dentre as manifestações patológicas que mais frequentemente e mais gravemente afetam o desempenho dos revestimentos de argamassa, a perda de aderência tem um grande impacto negativo no desempenho e na durabilidade das edificações. Conforme explicam Gaspar, Colen e Brito (2007), quando a perda de aderência é detectada (de forma não pontual) indica que o sistema de revestimento atingiu o limite do seu tempo de serviço, dado que ele deixa de cumprir a sua função de

proteção da vedação, afeta a segurança e a saúde dos usuários, em decorrência da queda de partes da argamassa, e leva à degradação da qualidade visual da fachada como um todo e do meio onde esta se insere.

3.2. FATORES RELACIONADOS ÀS TÉCNICAS E ÀS CONDIÇÕES VARIÁVEIS IDENTIFICADAS EM CANTEIRO QUE INTERFEREM NO COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS

A facilidade ou a dificuldade com que se realizam as atividades de execução dos revestimentos com projeção mecânica contínua dependem de fatores relacionados a algumas condições que variam no canteiro de obra, tais como: o teor de água da argamassa, a condição de umidade do substrato, o número de demãos e o intervalo de tempo entre demãos de argamassa e a técnica de acabamento do revestimento.

Além de influenciar na facilidade de execução, segundo SANTOS (2003), estes são os principais fatores que influenciam no comportamento dos revestimentos, além da própria técnica de aplicação que, no caso em estudo, não é variável.

A seguir, apresenta-se como cada um desses fatores influencia no comportamento dos revestimentos, mais especificamente, na sua adesão inicial, no seu grau de fissuração e na sua aderência ao substrato.

Carasek (1997) destaca que as variáveis que interferem no comportamento dos revestimentos não deveriam ser avaliadas isoladamente, pois existe, além do efeito individual de cada uma, um efeito sinérgico entre elas. Por exemplo, para um determinado tipo de substrato, a resistência de aderência pode depender, em maior ou menor grau, do tipo de argamassa aplicada sobre ele e do seu teor de umidade, tornando a compreensão dos fenômenos envolvidos no comportamento dos revestimentos uma atividade complexa. Dessa forma, a análise dos resultados obtidos foi realizada considerando-se tanto o efeito das variáveis isoladamente, como o efeito de interação entre elas.

3.2.1. Teor de umidade da argamassa

Pelo levantamento de campo, identificou-se que, durante a execução dos revestimentos de argamassa com projeção mecânica, é possível regular a quantidade de água adicionada às argamassas, por meio de registros presentes nos próprios equipamentos de mistura e projeção. O ajuste do teor de água das argamassas é usualmente realizado pela mão de obra, em função da trabalhabilidade requerida para a execução dos serviços e das condições ambientais no momento da execução.

Apesar de o sistema de mistura e projeção possibilitar o ajuste do teor de água (ajuste esse necessário em função das diferentes argamassas que podem ser utilizadas com esses equipamentos, requerendo diferentes quantidades de água adicionadas às misturas), trata-se de uma variável de fundamental importância para a execução dos revestimentos de fachada com projeção mecânica contínua, pois, tal como ressaltado por Austin, Robins e Goodier (2002), influencia tanto os fatores relacionados à produção (capacidade de bombeamento e projeção), como os fatores relacionados às propriedades do revestimento (adesão inicial, resistência mecânica e durabilidade).

A capacidade de uma argamassa ser bombeável e projetável pode ser definida como a mobilidade e a estabilidade da argamassa sob pressão, no interior de uma mangueira. A mobilidade é a habilidade de a argamassa fresca fluir e a estabilidade é a sua capacidade de se manter homogênea (sem segregar) durante o transporte e a projeção (AUSTIN; ROBINS; GOODIER, 2002).

Paravisi (2008) explica que a capacidade de bombeamento de uma argamassa é definida, principalmente, pela quantidade de água adicionada aos materiais secos, pois a água é fundamental para que exista uma camada lubrificante entre o material e a parede da mangueira, como também entre as partículas sólidas, e que, portanto, a carência de água contribui para a obtenção de argamassas tão consistentes que não são projetáveis. Com o aumento do teor de água, há uma diminuição da viscosidade da mistura e, portanto, as argamassas se tornam mais fluidas, facilitando seu bombeamento e projeção (PARAVISI, 2008; SANTOS; BAUER, 2003).

Além disso, o teor de água influencia na extensão de aderência, promovendo um contato mais extenso com a base, através de um melhor espalhamento (SABBATINI, 1990), podendo prejudicar a aderência dos revestimentos, se utilizado em excesso.

A influência do teor de água na resistência de aderência dos revestimentos já foi identificada por diversos trabalhos. Costa et al. (2010), por exemplo, identificaram que, com o aumento no teor de água das argamassas estudadas, houve ganhos na resistência de aderência da ordem de 29%, não obstante o aumento da relação água/cimento. Os pesquisadores concluíram que o acréscimo de água, até certos limites, melhorou a reologia da argamassa, o que facilitou seu espalhamento sobre a base e, conseqüentemente, resultou em maior extensão de aderência da argamassa ao substrato, potencializando, com isso, a resistência de aderência.

Apesar disso, o teor de água das argamassas para projeção deve ser estudado cuidadosamente, pois a utilização de água em excesso pode causar excessiva reflexão e o escorrimento ou deslocamento da argamassa após a projeção, por diminuir a tensão limite de escoamento do material (CRESCÊNCIO et al., 2000; SANTOS, 2003).

Devido à influência do teor de água na produção e no comportamento dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua, essa é uma das variáveis estudadas na avaliação experimental.

3.2.2. Condição de umidade do substrato

Pelo levantamento realizado em campo, identificou-se que, nos canteiros de obra visitados, não havia controle das condições de umidade do substrato para aplicação da argamassa de revestimento. Também, não foram identificados critérios para realização do umedecimento prévio da superfície, dependendo da experiência da mão de obra definir, com base em sua avaliação das condições de aplicação, pela realização ou não do procedimento em questão.

Dado que as condições de absorção do componente de alvenaria interferem nas propriedades do revestimento de argamassa (adesão inicial, grau de fissuração nas primeiras idades e aderência) (BAÍÁ; SABBATINI, 2000; SABBATINI, 1990),

algumas formas de preparo do substrato são recomendadas antes da aplicação do revestimento. Dentre elas, o umedecimento prévio do substrato, recomendado pela ABNT NBR 7200 (1998), é utilizado como uma forma de regular a sucção por capilaridade de substratos com elevada sucção capilar e alta absorção de água (CARASEK, 1996).

Carasek (1996) e Sabbatini (1990) explicam que bases com essas características, associadas a argamassas de baixa retenção de água, dificultam a formação de um meio contínuo da pasta endurecida, determinando uma menor ancoragem mecânica do revestimento, enquanto bases com menor sucção permitem a transferência da pasta aglomerante para a base ao longo de um período mais extenso, possibilitando a formação de um meio contínuo de pasta endurecida e promovendo a aderência dos revestimentos.

Carasek (1997) e Prudêncio et al. (1999) acrescentam que a capacidade de sucção dos substratos é governada pelo equilíbrio entre o fluxo de água em direção ao substrato, gerado pela absorção capilar, e o fluxo de água em direção ao meio ambiente, produzido pela evaporação (CARASEK, 1996).

Por esse fluxo ser regulado tanto pelas propriedades das argamassas, quanto do substrato, o efeito dessa variável na resistência de aderência pode ser maior ou menor, dependendo dos materiais utilizados. Alguns trabalhos registram redução na resistência de aderência, conforme ocorre o aumento do umedecimento do substrato (CARASEK, 1996; CARASEK, 1997), enquanto outros identificam que essa variável pode ser mais ou menos influente na resistência de aderência, dependendo das características da argamassa avaliada (PRUDÊNCIO et al., 1999).

Austin; Robins e Goodier (2002) alertam que essa prática, apesar de benéfica em algumas situações, requer cuidados, pois o excesso de umidade na superfície do substrato pode provocar aumento na relação água/cimento da pasta na região de interface e, conseqüentemente, a diminuição da resistência de aderência.

Uma vez que os substratos estão expostos às intempéries, tais como a incidência de chuvas, e dado que as condições de umidade do substrato influenciam, de alguma maneira, nas propriedades dos revestimentos, esta também é uma variável investigada neste trabalho.

3.2.3. Intervalo de tempo entre demãos

Sobretudo pela elevada altura dos edifícios no Brasil (tem sido comum a construção de edifícios com 25 a 35 ou até mais pavimentos) e pelas características da alvenaria de vedação, o substrato acaba, com frequência, apresentando importantes variações geométricas. Isso tem levado à execução de revestimentos com espessuras acima das recomendadas pela ABNT NBR 13749 (1996) e, por consequência, à necessidade de aplicação da argamassa em duas ou mais demãos (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Identificou-se, no levantamento de informações de campo, que, em todos os canteiros de obras visitados, os revestimentos de fachada, apresentavam regiões onde as espessuras das taliscas ultrapassavam 5,0 cm.

Conforme explicam Baía e Sabbatini (2000), demãos de argamassa aplicadas com espessuras excessivas estão mais sujeitas à retração na secagem e, por consequência, a fissuras, motivo pelo qual a ABNT NBR 13749 (1996) recomenda que, nessas situações, sejam tomados cuidados especiais para a aplicação da argamassa, de forma a garantir a aderência dos revestimentos. Baía e Sabbatini (2000) indicam que, para revestimentos com espessuras variando de 3 a 5 cm, a argamassa seja aplicada em mais de uma demão, de forma que cada uma delas não seja superior a aproximadamente 2,5 cm.

Quando se aplica o revestimento em mais de uma demão, é necessário definir o intervalo de tempo adequado entre elas, mas não há consenso sobre esse tempo. Enquanto a ABNT NBR 7200 (1998) estabelece um período de 24 horas entre demãos, Baía e Sabbatini (2000) indicam que se devem esperar 16 horas.

Nos canteiros de obras visitados, identificou-se que a aplicação das demãos de argamassa estava ocorrendo de duas formas:

- Aplicação da segunda demão sobre a primeira ainda úmida, após esta perder somente parte da água para o substrato, uma técnica conhecida como “úmido sobre úmido”.
- Aplicação da segunda demão após a secagem completa da primeira, na técnica conhecida como “úmido sobre seco” (aproximadamente 24 horas entre demãos).

A influência do intervalo de tempo entre demãos no comportamento dos revestimentos produzidos por projeção contínua ainda precisa ser investigada, sendo esta uma importante variável a ser considerada na avaliação experimental.

3.2.4. Técnica de aplicação da argamassa

Para que se garanta a aderência do revestimento especificada em projeto, é necessário que a argamassa seja lançada com uma energia tal que permita sua ancoragem ao substrato, eliminando, ao máximo, os defeitos na interface argamassa-substrato (ar preso entre as camadas). Busca-se, com esse procedimento, garantir a maior extensão de aderência possível entre a camada de argamassa e o substrato (FERNANDES et al.; 2007).

Resultados de alguns estudos (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; FERNANDES et al., 2009) apontam que, com a utilização de equipamentos para aplicação mecânica das argamassas, é possível obter valores de resistência de aderência em torno de 50% superiores aos obtidos com a aplicação manual.

Os fatores responsáveis pelo aumento da aderência seriam a energia de impacto proporcionada pela pressão gerada durante a projeção, os menores tamanhos das partículas projetadas e as características reológicas das argamassas que permitem melhor espalhamento e potencializam a adesão inicial e a eliminação dos vazios, elementos fundamentais para o desenvolvimento da aderência do revestimento ao seu substrato (ANTUNES, JOHN, 2007; CARDOSO, 2009; FERNANDES et al., 2007; FERNANDES et al., 2009).

Sendo a aderência do revestimento uma de suas propriedades mais importantes e sabendo-se que ela depende da energia com que a argamassa foi aplicada, a padronização da energia pela projeção mecânica tende a gerar produtos mais homogêneos (FERNANDES et al.; 2007).

Alguns estudos confirmam que, com a utilização da projeção mecânica contínua, é possível, além de aumentar a aderência dos revestimentos, diminuir a variabilidade dos resultados obtidos (ANTUNES; JOHN, 2007; FERNANDES et al.; 2007) sobretudo devido à diminuição da interferência do fator humano (DUALIBE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005; GONÇALVES; BAUER, 2005) que dificilmente mantém

constante a energia de aplicação da argamassa, diferente do que ocorre com os equipamentos de projeção que, se devidamente calibrados, projetam a argamassa sempre com a mesma energia de lançamento.

Apesar disso, no caso da execução de revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, a técnica de aplicação da argamassa e o manuseio da pistola interferem na qualidade final do revestimento (MAIDL, 1995), pois, conforme explica Santos (2003), quanto menor for a distância do bico ejetor à parede, mais preciso será o jato e maior será a energia de impacto aplicada na projeção da argamassa, influenciando, conseqüentemente, na aderência dos revestimentos. Assim, a distância entre o bico projetor de argamassa e o substrato é uma das variáveis analisadas na etapa de avaliação experimental.

3.2.5. Compressão da argamassa contra o substrato

Uma das alterações identificadas na técnica de execução dos revestimentos com projeção mecânica contínua da argamassa é a substituição da tradicional etapa de “aperto”, realizada com o dorso da colher de pedreiro, quando a argamassa é aplicada manualmente, pelo “alisamento”, realizado com régua H, com a qual se comprime a camada de argamassa recém-projetada contra o substrato (CRESCÊNCIO et al., 2000; SANTOS, 2003).

A substituição do aperto pelo alisamento tem como objetivo possibilitar a regularização da superfície da argamassa recém-projetada, ao mesmo tempo em que promove a compressão da argamassa, permitindo que ela envolva todas as reentrâncias e fissuras do substrato (SANTOS, 2003) e aumentando, dessa forma, a extensão de aderência e a aderência desses revestimentos.

Além disso, a realização do alisamento com a régua H, em detrimento da realização do aperto com a colher de pedreiro, permite que essa etapa seja realizada com velocidade compatível à da aplicação mecânica da argamassa sobre o substrato, muito superior àquela alcançada através do lançamento manual.

Mas, caso o alisamento não seja realizado da forma correta, ao se passar a régua metálica comprimindo a camada de argamassa, pode-se submeter o revestimento a esforços tais que a camada ainda não tem capacidade de suportar, levando à

ruptura da interface entre o material e o substrato (SANTOS, 2003). Assim, embora a realização do alisamento atenda às necessidades de produção dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua, a sua influência sobre o comportamento dos revestimentos é desconhecida, sendo, dessa forma, uma das variáveis a ser aplicadas na avaliação experimental.

3.2.6. Técnica de acabamento superficial

As etapas de acabamento da superfície, realizadas após a projeção da argamassa no substrato, mesmo nos sistemas que utilizam a projeção mecânica contínua, ainda são realizadas de forma manual e dependem das habilidades da mão de obra para sua execução, exercendo, segundo Gonçalves e Bauer (2005), influência na resistência de aderência e na variabilidade dos resultados obtidos, devido ao empirismo na execução dessas tarefas. Essas variações foram identificadas por esses autores, tanto ao se analisar a mudança de pedreiro, quanto ao se observarem distintas áreas executadas pelo mesmo profissional (GONÇALVES; BAUER, 2005).

Desde o momento da projeção da argamassa até o final da execução do revestimento, a argamassa é submetida a uma série de esforços intrínsecos às atividades de execução das etapas, tal como o alisamento, o sarrafeamento ou a raspagem e o desempenho que, se não realizadas no momento correto e com a técnica adequada, podem levar a uma ruptura (ou diminuição) da ancoragem da pasta nos capilares do substrato ou a diminuí-la.

Por outro lado, Sabbatini (1990) explica que a correta técnica de execução pode levar ao aumento da aderência dos revestimentos, em função das operações de compactação e prensagem, que tendem a ampliar a extensão de contato.

Além da aderência, outras propriedades mecânicas do revestimento também podem ser influenciadas pelas técnicas de acabamento, pois, dependendo de como são realizadas, podem levar à maior densidade da camada, bem como à maior resistência superficial e, conseqüentemente, à maior resistência às ações de desgaste por abrasão e de impactos. A resistência superficial, por exemplo, pode ser melhorada quando o acabamento final é feito com desempenadeira de aço,

possivelmente por gerar uma película superficial de baixa porosidade. (SABBATINI, 1990).

Por último, a técnica de execução dos revestimentos também pode influenciar o grau de fissuração, uma vez que o sarrafeamento, o alisamento e o desempeno ocorrem quando a camada tem ainda certo teor de água internamente. Em função do teor de umidade remanescente no revestimento, quando da realização dessas etapas, o revestimento poderá ter maior ou menor tendência à fissuração (SABBATINI, 1990) na medida em que perde água para o substrato, para o meio ambiente e para as reações de hidratação do cimento.

3.2.6.1. Sarrafeamento ou raspagem

Na técnica tradicional de execução dos revestimentos, o sarrafeamento deve ser realizado após a perda de parte da água de amassamento da argamassa para o substrato. A espera e a verificação da condição da argamassa para a realização das etapas subsequentes ao alisamento são importantes para a correta execução dessas etapas, pois, conforme explicam Baía e Sabbatini (2000), caso essas operações sejam feitas com a argamassa muito úmida, podem ser formadas fissuras e até mesmo ocorrer o descolamento da argamassa em regiões da superfície já revestida.

A condição de umidade para a realização dessa etapa, identificada nos canteiros de obra visitados, é um teor de umidade mais baixo em relação à condição identificada no sarrafeamento tradicional, de tal forma que, ao raspar a argamassa com a régua, as saliências superficiais da camada sejam removidas em forma de material granular. E esse teor de água remanescente na argamassa tende a diminuir, conforme se aumenta o tempo para a realização do acabamento.

Dada a importância de se respeitar o tempo adequado para a realização das etapas de acabamento do revestimento, a técnica de acabamento superficial, utilizada na execução do revestimento, e o tempo para sua realização são variáveis a serem avaliadas na avaliação experimental.

3.2.6.2. Desempeno

A etapa de desempenho possibilita a compactação da camada de argamassa e, por consequência, reduz o volume de vazios, minimizando o aparecimento de fissuras de retração no revestimento e promovendo o acabamento final de baixa rugosidade, homogêneo e uniforme (SABBATINI, 1990). Tal como o sarrafeamento, o desempenho deve ocorrer no momento correto, ou seja, a argamassa deve perder parte da água de amassamento, para que se inicie essa operação (BAÍA; SABBATINI, 2000).

Para a realização da raspagem, é necessário que a argamassa esteja numa condição de menor umidade, consequentemente, exigindo a aspersão de maior quantidade de água para a realização do desempenho, em relação àquela necessária quando se realiza o sarrafeamento tradicional.

Por fim, a realização do alisamento, em detrimento do aperto; da raspagem, em detrimento do sarrafeamento tradicional e a maior quantidade de água aspergida para a realização do desempenho, como consequência da condição de umidade da argamassa para a realização da raspagem, ainda não foram avaliados sistemicamente quanto a sua influência no comportamento dos revestimentos, sendo variáveis importantes a serem avaliadas na avaliação experimental.

4. PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

4.1. AMBIENTE DE PESQUISA

Esta pesquisa foi realizada no âmbito de um projeto realizado por uma empresa construtora que atua no segmento privado habitacional, cujo objetivo era desenvolver um sistema construtivo capaz de atender às demandas do segmento de habitação popular. Tal sistema deveria permitir alcançar produtividade elevada, confiabilidade de produção, atendimento de prazo, custo e desempenho previamente estabelecidos por um processo de produção padronizado.

O revestimento de argamassa, aplicado com projeção mecânica contínua, objeto do presente trabalho, foi um dos subsistemas desenvolvidos nesse projeto. Portanto, os recursos financeiros necessários para o desenvolvimento desta pesquisa têm origem nos investimentos realizados por essa empresa.

Ao investir no desenvolvimento desse sistema em particular, a construtora buscava possibilitar que a execução do revestimento atendesse às exigências de espessura mínima, resistência de aderência e aspecto superficial, estabelecidas pela ABNT NBR 13749 (1996), e aos prazos e custos de construção próprios do segmento de habitação de baixo custo.

Para tal, a empresa buscou alterar a técnica e o processo de produção dos revestimentos, de modo a obter maior produtividade, sendo, para isso, necessário avaliar a influência das alterações na técnica sobre o comportamento desses revestimentos.

As atividades relacionadas à etapa de avaliação experimental se deram em laboratório experimental da própria empresa e em uma obra que se definiu como protótipo, localizada na cidade de Campinas, estado de São Paulo. A autora, participante da equipe de desenvolvimento da empresa, coordenou as atividades relativas ao desenvolvimento do sistema de revestimento de fachada de argamassa.

4.2. DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

O programa de avaliação experimental, objeto desta dissertação, foi elaborado com o objetivo de verificar, em laboratório e em campo, a influência de determinadas condições variáveis identificadas nos canteiros de obras ou na revisão bibliográfica, no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, particularmente, sua adesão inicial, fissuração nas primeiras idades e resistência de aderência à tração.

As principais características do programa experimental realizado são apresentadas na sequência.

4.3. VARIÁVEIS ESTUDADAS

A partir da revisão bibliográfica e do levantamento de dados em cinco canteiros de obras que estavam utilizando o sistema de projeção mecânica contínua para produção dos revestimentos, dentre eles, três em Curitiba - Paraná, um em Sorocaba e um em Campinas - São Paulo, caracterizou-se a execução de revestimento com projeção mecânica contínua, identificando-se suas principais etapas e variações na técnica de execução, e, a partir desse levantamento, foram definidas as variáveis aplicadas ao estudo.

As principais variáveis analisadas, relativas às técnicas de execução, foram:

- Distância de projeção da argamassa: 15 cm ou 50 cm.
- Técnica de aplicação da argamassa: lançamento manual, aplicação com desempenadeira ou projeção mecânica.
- Tempo para acabamento superficial da camada de revestimento: 10 minutos, 20 minutos, 40 minutos, 60 minutos ou 2 horas.
- Técnica de acabamento superficial da camada de revestimento: raspagem ou sarrafeamento tradicional.

Foram analisadas, também, as condições variáveis em canteiro de obras, que independem da técnica de execução empregada:

- Condição de umidade do substrato: seco ou umedecido 24 horas antes.

- Número de demãos de argamassa aplicada: uma demão ou duas demãos.
- Espessura das demãos: 2 cm (uma única demão); 0,3 cm + 1,7 cm (duas demãos) ou 1 cm + 1 cm (duas demãos).
- Intervalo de tempo entre demãos aplicadas: “úmido sobre úmido” (30, 60 ou 90 minutos) ou “úmido sobre seco” (24 horas).
- Teor de umidade da argamassa: 22%, 25% ou 28%.

Essas variáveis estão sintetizadas no Quadro 8.

Principais fatores avaliados	Variáveis definidas para o estudo
Condição de umidade do substrato	Seco Umedecido 24 horas antes
Teor de umidade da argamassa	22% 25% 28%
Número de demãos aplicadas	Uma Duas
Tempo de aplicação entre demãos	Úmido sobre úmido (30 minutos entre demãos) Úmido sobre úmido (60 minutos entre demãos) Úmido sobre úmido (90 minutos entre demãos) Úmido sobre seco (24 horas entre demãos)
Espessura das demãos aplicadas	Uma demão única de 2 cm de espessura Uma demão de aproximadamente 0,3 cm e uma demão de aproximadamente 1,7 cm de espessura Duas demãos de 1 cm de espessura
Técnica de aplicação da argamassa	Lançamento manual Aplicação com desempenadeira Projeção mecânica
Aplicação da argamassa e acabamento do revestimento	Raspagem + desempeno Regularização com régua H (10 min) + desempeno Regularização com régua H (20 min) + desempeno Regularização com régua H (40 min) + desempeno Regularização com régua H (60 min) + desempeno Sarrafeamento tradicional + desempeno

Quadro 8 - Variáveis definidas para avaliação experimental

Para a avaliação da influência das variáveis, foram executados vinte e sete painéis de revestimento de argamassa, aplicando-se às variáveis selecionadas.

4.4. CONDIÇÕES FIXAS

No planejamento dos experimentos, fez-se necessário adotar algumas condições fixas para a confecção e o ensaio dos painéis, de forma a possibilitar a posterior

análise e comparação dos resultados, tais como: a argamassa utilizada; a forma de preparo da argamassa; as características do substrato de aplicação; a forma de cura dos revestimentos e a espessura total da camada de revestimento. Essas condições fixas estão detalhadas a seguir.

4.4.1. Substratos

O substrato definido para a aplicação dos painéis-teste de revestimento foi composto de alvenarias de blocos de concreto, executadas em laboratório (Figura 51) e em campo (Figura 52).

Figura 51 - Substrato definido em laboratório

Figura 52 - Substrato definido em campo

Os blocos de concreto utilizados foram caracterizados quanto à resistência à compressão, absorção total de água e índice de absorção inicial (IRA), realizado na face do bloco a ser revestida. Os resultados obtidos e respectivos métodos de ensaio utilizados estão apresentados no Quadro 9.

Característica avaliada	Método de ensaio	Idade	Resultados médios
Resistência à compressão	ABNT NBR 12118 (2011);	+ de 28 dias	4,5 MPa
Absorção de água total	ABNT NBR 12118 (2011)		6,14%
Índice de absorção inicial na face de revestimento	ASTM C 67-12 (2012)		75 g/cm ²

Quadro 9 - Caracterização do bloco de concreto

O bloco de concreto foi selecionado como substrato pelas suas condições superficiais propícias à ancoragem da argamassa sem necessidade de aplicação de

chapisco (BAUER; PAES, 2004; CANDIA; FRANCO, 1998, CARASEK, 1996; SCARTEZINI et al., 2002). Assim, eliminou-se uma atividade de produção do revestimento também passível de variações.

4.4.2. Equipamento

A mistura e a projeção da argamassa de revestimento foram realizadas com o equipamento *MAI@4JOB BUSINESS* (Figura 53), com bomba de projeção helicoidal *Mai Rotor D7-2,5 + Mai Stator D7-2,5* (Figura 54) com vazão de saída de argamassa fresca nominal de 32 litros/minuto.

Neste equipamento, a argamassa, previamente misturada à água, é imediatamente depositada sobre a entrada da bomba helicoidal, para ser, então, bombeada, transportada pela mangueira até a pistola e projetada sobre o substrato, através da injeção do ar comprimido dentro da pistola.

Figura 53 - Equipamento de mistura e projeção de argamassa

Figura 54 - Bomba helicoidal (estator)

4.4.3. Características dos painéis de revestimento executados

O emboço paulista ou massa única é o revestimento mais utilizado em edifícios para o acabamento em pintura (BRITEZ, 2007).

A ABNT NBR 13529 (1995) define o revestimento de argamassa de camada única como um revestimento de um único tipo de argamassa aplicado sobre a base de revestimento em uma ou mais demãos, e caracteriza a demão como cada uma das vezes que se aplica a mesma argamassa em uma única camada.

Assim, embora o emboço paulista seja aplicado em uma única camada de mesmo material, conforme a ABNT NBR 7200 (1998), ele pode ser aplicado em mais de uma demão, dependendo da espessura do revestimento a ser executado.

No programa experimental, adotou-se a aplicação de uma única camada de revestimento (aplicada em uma ou mais demãos), executada com a mesma argamassa.

A espessura da camada de revestimento foi fixada em 2 cm, para todos os painéis executados, de forma que fossem atendidas as exigências de espessura mínima de revestimento especificadas pela ABNT NBR 13749 (1996) e para que a sobresspessura não interferisse nos resultados dos ensaios.

Para garantir a espessura pré-determinada, foram confeccionadas taliscas de madeira, fixadas nas juntas de assentamento da alvenaria de concreto com pregos metálicos (Figuras 55 e 56).

Figura 55 - Talisca de madeira fixada na junta de assentamento da alvenaria

Figura 56 - Fixação da talisca de madeira na junta de assentamento da alvenaria

Os painéis foram executados em ambiente de laboratório, designados pelo número sequencial do painel seguido da letra L, e, em campo, designados pelo número sequencial do painel seguido da letra C.

4.4.4. Materiais

Para a execução dos painéis, foi selecionada uma argamassa industrializada, que, segundo o fabricante parceiro do estudo, seria adequada para aplicação com projeção mecânica contínua, sobre substrato de alvenaria de bloco de concreto e sem aplicação prévia de chapisco.

Foram realizadas avaliações preliminares, com o objetivo de verificar se, além de apresentar propriedades reológicas adequadas para utilização com os equipamentos de mistura e projeção disponíveis, a argamassa seria adequada para aplicação sobre o substrato definido.

Fernandes et al. (2007), ao avaliar as argamassas para aplicação com os sistemas de projeção a ar comprimido, identificou que elas devem apresentar comportamento adequado, tanto durante a projeção, como durante o contato inicial com o substrato (adesão inicial). Mas, para a utilização com os sistemas de projeção contínua, a essas propriedades devem se somar algumas propriedades reológicas que possibilitem as etapas de bombeamento e o transporte da argamassa pela mangueira e pela pistola de projeção sem problemas. Essas propriedades devem possibilitar uma argamassa que:

- Não provoque entupimento do rotor estator e mangueira.
- Não escorra pelo orifício da pistola antes da aplicação do ar comprimido.
- Não segregue, quando em repouso, antes ou durante o bombeamento e a projeção.

Ou seja, a argamassa deve ser projetada com facilidade e sem o entupimento da pistola, formando um jato contínuo e constante e com adesão inicial à base (sem reflexão excessiva ao atingir a base, sem deslizamento ou deslocamento imediatamente após a projeção).

Durante as etapas de execução do revestimento, a argamassa deve:

- Permanecer plástica durante o tempo adequado, para permitir o seu alisamento com a régua H, sem apresentar fissuras, ondulação ou descolamento.
- Apresentar retenção de água adequada, de forma que não perca água rapidamente para a base ou para o ambiente, permitindo a hidratação adequada do cimento.

- Não apresentar retração na secagem excessiva em função da evaporação da água de amassamento, para evitar o surgimento de fissuras e, consequentemente, o aumento da estanqueidade do revestimento.
- Apresentar um tempo de sarrafeamento e desempenho adequados, de forma que atenda às exigências de produtividade.

O ajuste da quantidade de água para esta avaliação foi feito com base na porcentagem de água indicada pelo fabricante na embalagem do produto (22%) e os painéis foram executados segundo a técnica identificada nos canteiros de obra: mistura, bombeamento, projeção sobre substrato, alisamento com régua H, raspagem e desempenho.

A argamassa apresentou adequado comportamento durante a mistura, o bombeamento e a projeção. Não apresentou entupimento do rotor-estator, mangueira ou pistola, nem segregação ou reflexão excessiva ao ser projetada ou ao entrar em contato com o substrato. No entanto, após o alisamento da argamassa sobre o substrato, identificou-se adesão inicial insuficiente, sendo os principais problemas identificados: deslocamento (Figura 57), escorregamento da argamassa (Figura 58), fissuração excessiva (Figura 59) e presença de bolhas e ondulações nos revestimentos (Figura 60).

Figura 57 - Deslocamento

Figura 58 - Deslizamento da argamassa sobre o substrato

Figura 59 - Presença de ondulação

Figura 60 - Fissuração excessiva

Uma nova formulação da argamassa foi solicitada ao fabricante e uma segunda etapa de testes preliminares foi realizada, seguindo os mesmos procedimentos da primeira etapa.

Essa nova argamassa apresentou adequado comportamento em todas as etapas de produção do revestimento, sendo considerada adequada para aplicação com os sistemas de projeção mecânica contínua, sobre os substratos definidos para avaliação experimental.

Após a definição da argamassa, ela foi devidamente caracterizada, empregando-se ensaios de retenção de água, teor de ar incorporado, módulo de deformação estático e resistência à tração na flexão. Essa caracterização teve como objetivo permitir a análise e a comparação dos resultados obtidos neste trabalho com outros trabalhos que foram ou possam ser eventualmente desenvolvidos acerca do tema.

Para essa caracterização, a argamassa foi preparada conforme o teor de água de 22%, indicado pelo fabricante, com o equipamento de mistura e projeção de argamassa, bombeada e projetada dentro de um recipiente (simulando as condições de aplicação sobre o substrato), a partir do qual foi coletada para a realização dos ensaios.

As normas utilizadas para a realização dos ensaios e os principais resultados obtidos estão apresentados no Quadro 10.

Característica avaliada	Método de ensaio	Idade	Resultados
Retenção de água	ABNT NBR 13277 (2005)	Argamassa fresca	76 %
Teor de ar incorporado	ABNT NBR 13278 (2005)	Argamassa fresca	10 %
Módulo de deformação	ABNT NBR 8522 (1984) ABNT NBR 13276 (2005)	28 dias	1,36 GPa
Resistência à tração	ABNT NBR 13279 (2005)	28 dias	1,3 MPa
Resistência à compressão	ABNT NBR 13279 (2005)	28 dias	5,2 MPa

Quadro 10 - Caracterização da argamassa: métodos de ensaio e resultados

4.5. MÉTODO DE AVALIAÇÃO

4.5.1. Adesão inicial

A adesão inicial foi avaliada visualmente, após a projeção da argamassa sobre o substrato e durante as operações de execução do revestimento, identificando-se, na camada de revestimento, a ocorrência de:

- Ondulação na camada de argamassa.
- Escorregamento da argamassa sobre o substrato (ondulação).
- Fissuração da camada de argamassa logo após aplicação.
- Deslocamento após aplicação.

4.5.2. Fissuração

A fissuração foi avaliada visualmente, com o observador posicionado a um metro do revestimento, num cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sob iluminação, natural em dia sem nebulosidade, identificando-se a presença de fissuras excessivas nas condições de revestimento seco e umedecido (ABNT NBR 15575-4, 2012).

4.5.3. Aderência

A aderência do revestimento ao substrato foi avaliada pelo ensaio de resistência de aderência à tração, aos 28 dias de idade, e conforme diretrizes estabelecidas pela ABNT NBR 13528 (2010). Os equipamentos utilizados estão apresentados no Quadro 11.

Equipamento de tração	Pastilhas (seção)	Disco de corte
Hidráulico - DYNA-PROCEQ	Seção circular - 50 mm de Diâmetro	Serra copo diamantada

Quadro 11 - Ensaio de resistência de aderência à tração

As Figuras 61 a 63 ilustram a execução dos ensaios de resistência de aderência.

Figura 61 - Corte do revestimento até o substrato com auxílio do gabarito de madeira

Figura 62 - Colagem das pastilhas metálicas

Figura 63 - Extração do corpo de prova

Para identificar como as variáveis estudadas influenciam nos resultados de resistência de aderência, foram gerados gráficos de barra, nos quais estão apresentados:

- A resistência potencial: estes valores correspondem ao maior valor obtido em cada exemplar (painel), independente do tipo de ruptura apresentado, tendo em vista que nenhum procedimento de execução de ensaio tende a majorar os valores reais obtidos (CARASEK, 1996).
- A média geral dos valores obtidos no resultado.
- A média dos valores obtidos, excluindo-se os valores que representam os 33% mais baixos, de forma similar às prescrições de aceitação da aderência, conforme ABNT NBR 13749 (1996).

- A média, considerando-se os pontos que apresentam somente ruptura na interface de argamassa com o substrato: pois, somente no caso de pontos com essa forma de ruptura, é possível afirmar que a resistência de aderência é igual ao valor obtido no ensaio (CARASEK, 1996).
- As porcentagens obtidas, para cada tipo de ruptura do corpo de prova, de forma que possam indicar falhas de execução ou facilitar a análise dos resultados obtidos (caso de ruptura preponderante em um dos planos do revestimento ou interface).

Além dos gráficos de barra, foram gerados gráficos *Box plot*, uma importante ferramenta para a análise dos resultados de cada combinação de variáveis. Por eles, é possível identificar as medianas dos resultados (linhas horizontais) bem como a sua variabilidade (linhas verticais) e os quartis inferiores e superiores (faixa onde se concentram 50% dos resultados, 25% acima e 25% abaixo da mediana) e, dessa forma, avaliar a simetria e a dispersão dos resultados. Possibilita, ainda, fazer uma comparação visual entre os conjuntos de resultados apresentados para cada combinação de variáveis.

Ao final, os resultados foram submetidos a uma Análise de Variância (ANOVA), para identificar a influência das variáveis sobre a resistência de aderência a um nível de significância determinado. A ANOVA foi aplicada utilizando-se o software MINITab, com adoção do nível de significância de 5%.

O modelo da ANOVA adota a hipótese de que as médias dos resultados obtidos são iguais ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$) e, para testar a hipótese, calcula-se o valor P, que indica efeito significativo (no caso rejeição de H_0), isto é, as médias da variável estudada não são iguais, ou efeito não significativo (no caso de aceitação de H_0), isto é, as médias da variável estudada são iguais. Se resultar menor do que o nível de significância escolhido, indica que a hipótese H_0 é rejeitada, ou seja, a variável estudada produz um efeito estatisticamente significativo sobre a média dos resultados obtidos ($H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu$) (COSTA NETO, 2002).

Se a variabilidade dentro do grupo for muito grande, por exemplo, devido à variabilidade inerente ao método de ensaio, tal como identificado por Gonçalves (2004) e Scartezini e Carasek (2003), o teste pode apontar efeito não significativo. Isso indica que o teste de hipótese deve ser utilizado com cautela, para confirmar se diferenças aparentemente pequenas são estatisticamente significativas ou não.

5. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

5.1. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO

5.1.1. Execução dos painéis

No Quadro 12, estão apresentadas as variáveis atribuídas aos painéis 1L a 15L, executados em laboratório.

Painel	Número de demãos		Espessura das demãos			Distância projeção		Tempo entre demãos aplicadas				Tempo para realização do acabamento superficial				
	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	1	2	2	0,3+1,7	1+1	15 cm	50 cm	30 min.	60 min.	90 min.	24 horas	10 min	20 min	40 min	60 min	120 min
1L		X			X	X					X					X
2L		X		X		X					X					X
3L		X			X		X				X					X
4L		X		X			X				X					X
5L	X		X			X					X					X
6L	X		X				X				X					X
7L	X		X			X					X					X
8L	X		X				X				X					X
9L		X			X	X		X								X
10L		X			X	X			X							X
11L		X			X	X				X						X
12L		X			X	X		X				X				
13L		X			X	X		X					X			
14L		X			X	X		X						X		
15L		X			X	X		X							X	

Quadro 12 - Variáveis atribuídas aos painéis 1L ao 15L (laboratório)

Em todos os painéis executados em laboratório (1L a 15L), após a projeção da argamassa (Figura 64), alisou-se sua superfície com a régua H (Figura 65) e, em seguida, procedeu-se às etapas de acabamento superficial (Figura 66) e desempenho manual do revestimento (Figura 67). Para a execução desses painéis, a argamassa foi preparada com teor de água de 22%.

Figura 64 - Projeção

Figura 65 - Alisamento

Figura 66 - Raspagem

Figura 67 - Desempeno

Nos painéis 1L a 8L, a argamassa foi aplicada em uma demão (Figura 68) ou duas demãos (Figura 69) e com a pistola distante do substrato 15 cm (formando cordões) (Figura 69) ou 50 cm (formando uma camada de aspecto uniforme) (Figura 70). No caso da aplicação em duas demãos, a primeira foi aplicada com aproximadamente 0,3 cm, enquanto a segunda foi aplicada com aproximadamente 1,7 cm (totalizando os 2 cm totais da camada de revestimento).

Figura 68 - Argamassa aplicada em uma demão

Figura 69 - Argamassa aplicada em duas demãos, distância da pistola ao substrato - 15 cm

Figura 70 - Distância da pistola ao substrato - 50 cm

Nos painéis 9L a 11L, a argamassa foi aplicada em duas demãos (de aproximadamente 1 cm de espessura cada), com intervalo de tempo entre demãos variando 30, 60 ou 90 minutos, na técnica conhecida como “úmido sobre úmido” (Figuras 71 e 72).

Figura 71 - Aplicação da primeira demão de argamassa

Figura 72 - Aplicação da segunda demão de argamassa (após 30 minutos)

Nos painéis 12L a 15L, após a projeção da primeira (Figura 73) e última demãos (Figura 74), a argamassa foi alisada com a régua H (Figura 75). Variou-se o tempo para a realização das etapas de acabamento superficial (sarrafeamento), nos intervalos de tempo de 10 minutos, 20 minutos, 40 minutos, 60 minutos ou 2 horas. Realizou-se, em seguida, o desempenho manual.

Figura 73 - Projeção da primeira demão de argamassa

Figura 74 - Projeção da segunda demão de argamassa

Figura 75 - Alisamento do painel de revestimento após a projeção

Os painéis foram executados no verão, com temperatura variando entre 18 e 28 °C e com umidade relativa do ar variando entre 70 e 86%. Todos os painéis de revestimento permaneceram expostos às condições ambientais do laboratório (sem incidência de radiação direta ou chuva), por 28 dias.

5.1.2. Resultados

Os resultados obtidos na fase de avaliação experimental em laboratório, para cada painel executado, relativos à avaliação visual e à resistência de aderência à tração, bem como as formas de ruptura predominantes nos corpos de prova ensaiados, estão apresentados no Quadro 13, nos Gráficos 1 e 2, na Figura 76 (a e b) e no Quadro 14, apresentados a seguir.

No Quadro 13, para cada painel ensaiado, foram apresentadas as falhas de adesão inicial e fissuração, identificadas por meio de avaliação visual.

Painel	Número de demãos		Espessura das demãos			Distância de projeção		Tempo entre demãos aplicadas				Tempo para realização do acabamento superficial					Efeitos			
	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Descolamento	Escorregamento	Ondulação	Fissuração
	uma	duas	2 cm	0,3 + 1,7 cm	1 + 1 cm	15 cm	50 cm	30 min.	60 min.	90 min.	24 horas	10 min	20 min	40 min	60 min	120 min				
1L		X			X	X					X					X				
2L		X		X		X					X					X				•
3L		X			X		X				X					X				
4L		X		X			X				X					X				•
5L	X		X			X					X					X	•	•	•	
6L	X		X				X				X					X	•	•	•	
7L	X		X			X					X					X	•	•	•	
8L	X		X				X				X					X	•	•	•	
9L		X			X	X		X								X				
10L		X			X	X			X							X				
11L		X			X	X				X						X				
12L		X			X	X		X				X								
13L		X			X	X		X					X							
14L		X			X	X		X						X						
15L		X			X	X		X							X					

Quadro 13 - Resultados da avaliação visual

Os painéis 1L a 8L apresentaram problemas relacionados à adesão inicial ou à fissuração excessiva; por isso, não foram ensaiados quanto à resistência de aderência.

No Gráfico 1, estão apresentados os resultados do ensaio de resistência de aderência realizados nos painéis 9L a 15L (nos quais não foram identificadas falhas de adesão inicial ou fissuração excessiva). Nesse gráfico, é possível visualizar a aderência potencial, a média geral (calculada com base em todos os valores obtidos no ensaio), a média, descartando-se 33% dos menores valores e a média dos valores somente com ruptura na interface entre revestimento de argamassa e substrato.

Gráfico 1 - Resistência de aderência à tração

Gráfico 2 - Porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova

No Gráfico 2, apresentam-se os dados relativos à porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova para cada painel: interface entre argamassa e substrato, superficial e na camada de revestimento (corpo da argamassa).

Além de identificar as variáveis (ou combinações de variáveis) que produzem efeito na resistência de aderência, é importante identificar como essas variáveis influenciam os resultados de resistência de aderência.

Para análise dos resultados de cada combinação de variáveis, foram gerados gráficos *Box plot* (apresentados na Figura 76, a e b), que permitem identificar as medianas dos resultados (linhas horizontais), bem como a sua variabilidade (linhas verticais) e os quartis inferiores e superiores.

Figura 76 - Resistência de aderência em função de: (a) tempo entre demãos em min (b) intervalo para acabamento superficial em min

Legenda: (a) tempo entre demãos em min (1) - 30; (2) - 60; (3) - 90 e (b) intervalo para acabamento superficial min (1) - 10; (2) - 20; (3) - 40; (4) - 60 e (5) - 120

A partir dos resultados obtidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA), que tem como premissas: os dados devem ter distribuição normal, ser independentes

(medidas não correlacionadas) e com variância homogênea (a variância não deve apresentar tendência de aumento ou diminuição proporcionalmente ao aumento da média dos resultados).

As premissas foram verificadas por meio do software Minitab, para as variáveis: tempo entre demãos e tempo para realização do acabamento superficial, e atendidas pelos resultados obtidos, comprovando a adequação para a aplicação do método.

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada aos resultados obtidos a partir da aplicação das variáveis apresentadas no Quadro 12, nos painéis 9L a 15L, utilizando-se o software MINITab, com adoção do nível de significância de 5%.

O modelo da ANOVA adota a hipótese H_0 de que as médias dos resultados obtidos são iguais ($H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu$) e, para testar a hipótese, calcula-se o valor P. Valores P menores do que o nível de significância adotado (5% ou 0,05) indicam a rejeição de H_0 , isto é, as médias da variável estudada não são iguais, e valores P maiores ou iguais ao nível de significância adotado, indicam aceitação de H_0 , isto é, as médias da variável estudada são iguais (COSTA NETO, 2002).

A partir da aplicação da ANOVA, foi obtido o valor P e, conseqüentemente, a aceitação ou a rejeição da hipótese H_0 , apresentados no Quadro 14.

Painéis	Variáveis e combinações objeto de análise	Resultado (Valor P)
9L a 11L	Intervalo de tempo entre demãos	($P=0,371 > 0,05$) Aceita H_0
12L a 15L	Tempo para realização do acabamento superficial	($P=0,061 > 0,05$) Aceita H_0

Quadro 14 - Resultados da ANOVA da avaliação experimental em laboratório

5.2. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL EM CAMPO

5.2.1. Execução dos painéis

No Quadro 15, são apresentadas as variáveis atribuídas aos painéis 1C a 12C, executados em campo.

Painel	Teor de água de argamassa			Condição de umidade do substrato		Intervalo de tempo entre demãos		Técnica de aplicação da argamassa			Técnica de acabamento da superfície	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)
	22%	25%	28%	Seca	Úmida	0,5 h	24 h	Lançamento manual	Com desempenadeira	Projeção mecânica	Sarrafeamento tradicional	Raspagem
1C		X			X	X				X		X
2C	X				X	X				X		X
3C		X			X		X			X		X
4C	X				X		X			X		X
5C		X		X		X				X		X
6C	X			X		X				X		X
7C		X		X			X			X		X
8C	X			X			X			X		X
9C			X	X			X			X		X
10C	X			X			X	X			X	
11C			X	X			X		X		X	
12C			X	X			X			X	X	

Quadro 15 - Variáveis atribuídas aos painéis de 1C a 12C (campo)

Nos painéis 1C a 9C, a projeção da argamassa foi feita mecanicamente com o bico da pistola distante do substrato aproximadamente 15 cm, formando cordões horizontais (Figura 77). Em seguida, alisou-se a argamassa com a régua H (Figura 78) e, após a perda de água para a base, procedeu-se à raspagem, também realizada com a régua H (Figura 79), antes de se realizar o desempenho manual (Figura 80).

Nesses painéis, variou-se o teor de água da argamassa (22%, 25% ou 28%), a condição de umidade do substrato (seco ou umedecido 24 horas antes) e o intervalo de tempo entre demãos aplicadas (0,5 horas ou 24 horas).

Figura 77 - Projeção da argamassa

Figura 78 - Espalhamento da argamassa

Figura 79 - Raspagem

Figura 80 - Desempeno

Os painéis 10C a 12C foram executados com técnicas tradicionais de execução de sarrafeamento e desempeno. Neles, variou-se apenas a forma de aplicação da argamassa: lançamento manual (Figura 81), com desempenadeira (Figura 82) e projeção mecânica contínua (Figura 83).

Para a execução desses painéis, foram mantidas: a condição de umidade do substrato (seco), o intervalo de tempo entre demãos (24 horas) e a espessura das demãos (aproximadamente 1 cm cada).

Figura 81 - Lançamento manual

Figura 82 - Aplicação com desempenadeira

Figura 83 - Projeção mecânica

Na situação Lançamento Manual (painel 10C), as duas demãos foram aplicadas manualmente, sendo comprimidas com o dorso da colher de pedreiro. Na situação Com desempenadeira (painel 11C), a primeira demão foi aplicada mecanicamente, não sendo comprimida, e a segunda foi aplicada com desempenadeira e comprimida com a mesma, no momento da aplicação. Na terceira situação, Projeção Mecânica (painel 12C), as duas demãos foram aplicadas com projeção mecânica, sendo a segunda a única a ser comprimida após a projeção, com a colher de pedreiro.

Na avaliação experimental em campo, todos os painéis foram executados no verão, com variação de temperatura de 24 a 33°C, com umidade relativa do ar variando entre 32 a 70%. Todos os painéis de revestimento permaneceram expostos às condições ambientes por 25 dias e foram cobertos com lona plástica três dias antes do ensaio, para evitar a incidência de chuvas.

Após 28 dias da execução dos revestimentos, foram realizados ensaios de resistência de aderência, conforme especificações da ABNT NBR 13528 (2010).

5.2.2. Resultados

Os resultados obtidos na avaliação experimental em campo, para cada painel executado, relativos à avaliação visual e resistência de aderência à tração, bem como as formas de ruptura predominantes nos corpos de prova ensaiados, estão apresentados nos Gráfico 3 e 4, na Figura 84 (a, b e c) e no Quadro 15, apresentados a seguir.

Não foram identificados, nos painéis executados em campo (1C a 12C), problemas relacionados à adesão inicial (desplacamento, escorregamento, ondulação ou

fissuração excessiva), de forma que os ensaios de resistência de aderência à tração foram executados em todos os painéis.

No Gráfico 3, para cada painel ensaiado, estão apresentadas a aderência potencial, a média geral, a média, descartando-se 33% dos menores valores, e a média dos valores somente com ruptura na interface entre o revestimento de argamassa e o substrato.

Gráfico 3 - Resistência de aderência à tração

Gráfico 4 - Porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova

No Gráfico 4, apresentam-se os dados relativos à porcentagem de incidência das três formas de ruptura dos corpos de prova para cada painel: interface entre argamassa e substrato, superficial e na camada de revestimento (corpo da argamassa).

Para análise dos resultados de cada combinação de variáveis, foram gerados gráficos *Box plot* (apresentados na Figura 84, a, b e c), que permitem identificar as medianas dos resultados (linhas horizontais), bem como a sua variabilidade (linhas verticais) e os quartis inferiores e superiores (faixa onde se concentram 50% dos resultados, 25% acima e 25% abaixo da mediana).

Figura 84 - Resistência de aderência em função de: (a) umidade da argamassa x condição de umidade do substrato x tempo entre demãos; (b) forma de aplicação da argamassa (c) técnica de acabamento superficial

Legenda: (a) (I) tempo entre demãos: 1 – 0,5 horas e 2 – 24 horas; (II) condição de umidade do substrato: 1 – seco e 2 – úmido; (III) umidade da argamassa: 1 – 22% e 2 – 25%; (b) forma de aplicação da argamassa: 1 - manual, 2 – com desempenadeira e 3 – projeção mecânica; (c) Técnica de acabamento da superfície: 1 - raspagem e 2 - sarrafeamento tradicional

A partir dos resultados obtidos, foi realizada a análise de variância (ANOVA), que tem como premissas: os dados devem ter distribuição normal, ser independentes (medidas não correlacionadas) e com variância homogênea (a variância não deve apresentar tendência de aumento ou diminuição proporcionalmente ao aumento da média dos resultados).

As premissas foram verificadas através do software Minitab, para as variáveis: teor de umidade da argamassa, condição de umidade do substrato e tempo para realização do acabamento superficial, e atendidas pelos resultados obtidos, comprovando a adequação para aplicação do método.

As premissas foram verificadas e atendidas pelos resultados obtidos, comprovando a adequação para aplicação da ANOVA, que foi aplicada para identificar a influência de cada uma das variáveis, apresentadas no Quadro 15, a partir das quais foi obtido o valor P (apresentado no Quadro 16), indicando a aceitação de H_0 ($P \geq 0,05$) ou a sua rejeição ($P < 0,05$).

Painéis	Variáveis e combinações objeto de análise	Resultado (Valor P)
1C a 8C	Teor de umidade da argamassa	($P=0,011 < 0,05$) Rejeita H_0
	Condição de umidade do substrato	($P=0,223 > 0,05$) Aceita H_0
	Intervalo de tempo entre demãos	($P=0,068 > 0,05$) Aceita H_0
	Teor de umidade da argamassa x umidade do substrato	($P=0,012 > 0,05$) Rejeita H_0
	Teor de umidade da argamassa x tempo entre demãos	($P=0,074 > 0,05$) Aceita H_0
	Condição de umidade do substrato x tempo entre demãos	($P=0,035 < 0,05$) Rejeita H_0
	Teor de umidade da argamassa x condição de umidade do substrato x intervalo de tempo entre demãos	($P=0,020 < 0,05$) Rejeita H_0
10C a 12C	Forma de aplicação da argamassa: lançamento manual x com desempenadeira x projeção mecânica	($P=0,063 > 0,05$) Aceita H_0
10C e 12C	Forma de aplicação da argamassa: lançamento manual x projeção mecânica	($P=0,028 < 0,05$) Rejeita H_0
9C e 12C	Técnica de acabamento da camada: alisamento e raspagem x sarrafeamento tradicional	($P=0,005 < 0,05$) Rejeita H_0

Quadro 16 - Resultados da ANOVA da avaliação experimental em campo

5.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.3.1. Distância de projeção da argamassa

Foi possível verificar, durante a execução dos painéis em laboratório, que a aplicação da argamassa com o bico da pistola distante do substrato em 50 cm não proporcionou a formação dos filetes de argamassa, dificultando ao aplicador identificar a espessura da camada que estava aplicando. Dessa forma, foi possível eliminar essa variável do estudo de campo, permanecendo apenas uma distância de projeção (15 cm).

A distância de projeção de 15 cm, avaliada neste estudo, seguindo as recomendações de alguns autores (AUSTIN, 1995_b; CRESCÊNCIO et al., 2000), para formação de um jato mais preciso, possibilitou a formação dos filetes que, por sua vez, permitiram ao operador da pistola visualizar a quantidade de argamassa sendo aplicada sobre o substrato e, portanto, facilitaram a aplicação da quantidade adequada do material e a realização das etapas subsequentes, tais como o alisamento e o sarrafeamento, sendo, dessa forma, recomendada para a aplicação de revestimentos de argamassa com projeção mecânica contínua.

5.3.2. Número e espessura das demãos

Para as argamassas e substrato analisados neste trabalho, verifica-se, pelo Quadro 13, que todos os painéis executados com uma demão de argamassa (5L a 8L) apresentaram problemas relacionados à perda da adesão inicial, como escorregamento da camada (Figura 85), aparecimento de ondulação (Figura 86), e fissuração do revestimento (Figuras 87 e 88).

Figura 85 - Escorregamento da argamassa sobre o substrato

Figura 86 - Formação de bolhas de ar sob a camada de argamassa

Figura 87 - Fissuras no revestimento após espalhamento

Figura 88 - Fissuras no revestimento após o endurecimento da argamassa

Verifica-se, também, que, para os revestimentos aplicados em duas demãos, os problemas ocorreram somente nos painéis em que a segunda demão era mais espessa (aproximadamente 1,7 cm) (2L e 4L) (Quadro 13).

Situação similar é encontrada no trabalho de Santos (2003) que, ao avaliar painéis de revestimento sobre alvenarias de blocos de concreto, sem chapisco e com espessura de 2 cm, com argamassa aplicada por projeção mecânica contínua em duas demãos, na técnica úmido sobre úmido, também identificou problemas relacionados à adesão inicial, caracterizados pelo “escorregamento” da argamassa. Essa autora afirma que este comportamento se dá devido às propriedades reológicas da argamassa, à espessura da camada e às propriedades do substrato, tais como absorção inicial, porosidade e rugosidade.

Essa afirmativa é corroborada pelos resultados deste trabalho, particularmente quanto à influência da espessura da camada no comportamento do revestimento no estado fresco. Nos painéis 2L e 4L a 8L (Quadro 13), que apresentaram problemas de adesão inicial, a argamassa tinha 22% de umidade tal como a utilizada nos painéis 2C, 4C, 6C, 8C e 10C, que não apresentaram esses problemas.

Por sua vez, os painéis em que a espessura de 2,0 cm foi dividida em duas demãos de 1,0 cm não apresentaram manifestações de ausência de adesão inicial (laboratório ou campo). Ou seja, os resultados obtidos evidenciam que a espessura da camada é fundamental no comportamento do revestimento.

5.3.3. Intervalo de tempo entre demãos

Ao aumentar o intervalo entre demãos, na técnica úmido sobre úmido (Quadro 12), identificou-se a diminuição da média das resistências de aderência (9L → 10L: 9%; 9L → 11L: 31%; 10L → 11L: 24%) (Gráfico 1) e o aumento da variabilidade dos resultados obtidos (Figura 76, a).

Ao avaliar a influência desta variável em campo (Quadro 15), na técnica úmido sobre úmido (0,5 horas) (1C, 2C, 3C, 4C) ou úmido sobre seco (24 horas) (demais painéis), identifica-se que, em geral, houve um aumento das resistências de aderência (Gráfico 3) e diminuição da variabilidade dos resultados (Figura 84, a) para o maior intervalo entre demãos.

A influência do aumento do intervalo entre demãos foi mais evidente na condição de menor teor de umidade da argamassa (22%), com um aumento de 35% (2C → 4C), no caso do substrato umedecido, e uma diminuição de 36% (6C → 8C), no caso do substrato seco. Para o teor de umidade da argamassa mais alto (25%), o aumento do intervalo entre demãos resultou em um pequeno aumento na resistência de aderência, em ambas as situações (5C → 7C: 9%; 1C → 3C: 2%), indicando que o intervalo entre demãos interage fortemente com a condição de umidade do substrato e com o teor de umidade da argamassa (Gráfico 3 e Figura 84, a).

Aplicando-se a ANOVA nos resultados obtidos em laboratório (Quadro 14), identificou-se que não houve efeito estatisticamente significativo dessa variável isolada, ou seja, ainda que, aparentemente, o tempo entre demãos na técnica

“úmido sobre úmido” tenha efeito sobre a resistência de aderência, isso não é confirmado estatisticamente, segundo o nível de significância adotado. No entanto, foi possível identificar, na aplicação em campo (Quadro 16), que a interação dessa variável com a condição de umidade do substrato e com o teor de umidade da argamassa se mostrou estatisticamente significativa, confirmando a interação identificada a partir da leitura do Gráfico 3 e da Figura 84, a.

Conclui-se que o aumento do tempo entre demãos (“úmido sobre úmido” para a técnica “úmido sobre seco”) pode se mostrar benéfico em situações onde o substrato está úmido ou em que se trabalha com argamassas com alto teor de água, não sendo recomendável para situações onde o substrato está seco e em que se trabalha com argamassas com baixos teores de água.

5.3.4. Tempo para realização do acabamento superficial

Ao analisar o Gráfico 1 e a Figura 76, b, é possível verificar que, ao aumentar o tempo para a realização do acabamento superficial, houve o aumento das médias das resistências de aderência avaliadas (12L → 13L: 16%; 13L → 14L: 7%; 14L → 15L: 7% e 15L → 9L: 6%; 12L → 9L: 40%) e o aumento das medianas.

É notável, também, pelo Gráfico 2, que, ao aumentar o tempo para a realização do acabamento superficial, houve um aumento da ruptura no corpo do revestimento de argamassa, indicando que a compactação promovida pela passagem da régua sobre o substrato, no momento do acabamento da superfície, influencia o comportamento dos revestimento quanto às resistências mecânicas.

Apesar disso, a ANOVA (Quadro 14) indica que o efeito da variável não é estatisticamente significativo na resistência de aderência.

As resistências de aderência mais baixas em painéis nos quais o acabamento superficial foi realizado em intervalo precoce, possivelmente ocorreram, porque o revestimento foi submetido a esforços – principalmente de cisalhamento - quando a camada ainda não era capaz de suportá-los, levando à ruptura da interface entre o material e o substrato. Essa mesma situação foi identificada por Santos (2003).

Os resultados obtidos nesta pesquisa confirmam a importância identificada por Baía e Sabbatini (2000) de se respeitar o período de tempo necessário para que a

argamassa perca parte da água de amassamento para o substrato – ponto de sarrafeamento e, por consequência, tenha início o ganho de resistência mecânica da interface, antes de se iniciarem as operações de acabamento superficial da camada de argamassa.

5.3.5. Teor de umidade da argamassa

Verifica-se, pelo Gráfico 3 e 4 e pela Figura 84, a, que o aumento do teor de água da argamassa de 22% para 25% provocou aumento da média das resistências de aderência (8C → 7C: 39%; 2C → 1C: 56%; 4C → 3C: 19%) e da variabilidade, confirmando resultados identificados no trabalho de Costa et al. (2010), no qual se verificou que o aumento no teor de água das argamassas estudadas possibilitou ganhos na resistência de aderência da ordem de 29%, apesar do aumento da relação água/cimento.

Há um limite estreito na variação do teor de água da argamassa que leva a uma reologia adequada para aplicação com os sistemas de projeção mecânica contínua. Silva R. P. (2006), ao estudar as propriedades de argamassas com fibras, verificou que o aumento do teor de apenas 1% foi suficiente para a verificação de diferenças nas propriedades das argamassas. A autora (SILVA, R. P., 2006) explica que a água tem o potencial de afastar as partículas sólidas presentes e de lubrificá-las, reduzindo, assim, a força de atrito entre elas, facilitando as operações de execução dos revestimentos e aumentando, com isso, a resistência de aderência.

Os resultados da ANOVA (Quadro 16) confirmam o efeito estatisticamente significativo dessa variável isolada, reforçando que a reologia da argamassa deve ser adequada às condições do substrato e às condições de aplicação da argamassa.

5.3.6. Condição de umidade do substrato

A alteração da condição de umidade do substrato, passando de seco para umedecido 24 horas antes da execução do revestimento (Quadro 15), não mostrou uma tendência clara de diminuição ou aumento da média das resistências de

aderência (6C → 2C: - 42%; 8C→4C: +10%; 5C → 1C: + 1%; 7C → 3C: -5%) (Gráfico 3).

Segundo Scartezini et al. (2002), a alteração das características do substrato, com relação à absorção de água, resulta em uma mudança no comportamento dos revestimentos frente ao mecanismo de aderência e, de forma geral, quanto maior o coeficiente de absorção da base, maior a resistência de aderência.

A diminuição das resistências de aderências obtidas, ao alterar a condição de umidade do substrato de seco para umedecido 24 horas antes, possivelmente se deu pela diminuição da absorção da base, proporcionada pelo umedecimento prévio do substrato. Nesta pesquisa, o umedecimento do substrato 24 horas antes da aplicação do revestimento parece não ter influenciado na resistência de aderência do revestimento, exceto nos painéis 6C e 2C, que foram produzidos com a argamassa de teor de umidade mais baixo (22%).

Aplicando-se o método ANOVA (Quadro 16), para esta variável isolada, os resultados não se mostraram estatisticamente significativos para o nível de significância adotado, ou seja, a tendência de resistência de aderência seria a mesma para ambas as condições de umidade do substrato, o que permitiria maior flexibilidade à produção, que poderia ocorrer, por exemplo, posteriormente a períodos de grande estiagem ou mesmo de chuva.

Houve, também, uma redução da ruptura superficial em todas as situações avaliadas (6C → 2C: -38%; 8C→4C: -937%; 5C → 1C: -38%; 7C → 3C: -16%) (Gráfico 4) que pode estar relacionada à melhor condição para hidratação do cimento, uma vez que, possivelmente, a camada de argamassa tenha perdido menos água para o substrato previamente umedecido.

5.3.7. Forma de aplicação da argamassa

Pelo Gráfico 3 e Figura 84, b, verifica-se que a alteração da técnica de aplicação com lançamento manual, para aplicação com desempenadeira, e dessa para a projeção mecânica, apresentou resultados crescentes das médias de resistência e das medianas (10C → 11C: 24%; 11C → 12C: 21%; 10C → 12C: 50%). Aumento similar foi identificado, por outros trabalhos, nos quais se aponta o crescimento da

resistência de aderência de 55% (DUIABILE; CAVANI; OLIVEIRA, 2005) e 58% (FERNANDES et al., 2009), em relação aos valores obtidos com a aplicação manual.

O aumento das resistências, no entanto, foi acompanhado de um aumento da variabilidade dos resultados (11C → 10C → 12C) (Figura 84 b), tal como também identificado por Fernandes et al. (2009), ao estudarem os sistemas de projeção a ar comprimido.

Pela ANOVA (Quadro 16), é possível verificar que a interação entre a aplicação com lançamento manual e mecânica mostrou-se estatisticamente significativa, indicando que, quando possível, deve-se privilegiar a aplicação por projeção mecânica, pois propicia melhores condições de resistência de aderência.

O Gráfico 4 permite concluir, para os painéis 10C, 11C e 12C, que não ocorreu ruptura superficial do revestimento, indicando que a forma de aplicação da argamassa não influencia nessa propriedade. Por outro lado, no painel 11C (desempenadeira), verifica-se que há um aumento expressivo de ruptura no corpo do revestimento, indicando possível falha na técnica de aplicação com desempenadeira em duas demãos. Esse resultado indica a importância de se desenvolverem argamassas que considerem a técnica de aplicação como um todo.

5.3.8. Técnica de acabamento da camada

Variando-se apenas a técnica de acabamento superficial do revestimento, de espalhada e raspada (9C) para sarrafeada, segundo a técnica tradicional (12C), os resultados apresentaram aumento no valor médio de resistência de aderência (78%), maior mediana, redução significativa da porcentagem de ruptura superficial e maior variabilidade nos resultados (Gráfico 3 e 4 e Figura 84, c).

É possível observar, também, pelo Gráfico 3 e Figura 84, a e c, que os painéis 10C a 12C (executados na técnica de sarrafeamento tradicional) apresentam valores de resistência de aderência visivelmente superiores àqueles apresentados pelos painéis 1C a 9C (executados com a técnica de alisamento e raspagem). Pela ANOVA (Quadro 16), a técnica de acabamento mostrou-se estatisticamente significativa.

Sabbatini (1990) explica que a correta técnica de execução pode resultar no aumento da aderência dos revestimentos, em função das operações de compactação e prensagem que tendem a ampliar a extensão de contato.

Verifica-se, ainda, (Gráfico 4) que, enquanto nos painéis 1C a 9C, as porcentagens dos corpos de prova com ruptura superficial apresentam valores variando de 8% (4C) a 83% (8C), nos painéis 10C a 12C, nenhum corpo de prova rompeu superficialmente, indicando que a técnica da raspagem proporciona uma redução na resistência superficial dos revestimentos de argamassa.

Possivelmente essa situação tenha ocorrido porque nos painéis 1C a 9C, onde foi realizada a raspagem, foi necessário aspergir maior quantidade de água para realizar o desempenho do que nos painéis onde foi realizado o sarrafeamento tradicional (10C a 12C) que era realizado mais cedo. O maior teor de água superficial tende a reduzir a resistência mecânica e, portanto, elevar o número de rupturas nessa região.

5.3.9. Interação entre as variáveis

As combinações das variáveis teor de umidade da argamassa, condição de umidade do substrato e intervalo de tempo entre demãos - apresentam efeito estatístico nos resultados (Quadro 16), indicando a importância da interação entre as variáveis e seu efeito nas resistências de aderência, já identificados por Costa et al. (2010) e Fernandes et al. (2009).

Os painéis que apresentaram as maiores médias de resistência de aderência foram os executados com o sarrafeamento tradicional (painel 10C, 11C e 12C) (Gráfico 3 e Figura 84, c), indicando influência positiva dessa técnica no comportamento dos revestimentos.

Dentre os painéis 1C a 9C, os que apresentaram as maiores médias de resistência de aderência foram 6C, 7C e 9C, executados com a base seca; dois deles com teores de água mais altos (7C – 25% e 9C – 28%) e tempo entre demãos de 24 horas (Figura 84, a). O painel 6C foi executado com teor de água de 22%, mas com tempo entre demãos de 0,5 hora.

As menores médias de resistência de aderência foram obtidas com os painéis 8C, 4C e 2C, executados com baixos teores de umidade da argamassa (22%). Dentre eles, os painéis que apresentaram os resultados mais baixos (8C e 2C) estavam em situações extremas: base seca e tempo entre demãos de 24 horas (8C) ou base umedecida e tempo entre demãos de 0,5 hora.

As médias de resistência de aderência mais baixas foram obtidas com os painéis 2C, 4C e 8C executados com teor de umidade da argamassa de 22%. Dentre eles, dois com a base úmida, com intervalo entre demãos diferente (8C – 0,5 hora e 4C – 24 horas). O painel 2C foi executado com a base seca e com intervalo entre demãos de 24 horas.

Conclui-se que, nas condições avaliadas neste estudo, uma argamassa com teor de água que propicie bombeamento, projeção e adesão inicial adequados, mesmo que associada a substrato seco, pode resultar em resistência de aderência adequada, ao menos para pequenas espessuras de revestimento.

5.3.10. Influência das condições de exposição do painel

Neste estudo, ao comparar os resultados obtidos nos painéis 9L e 6C (Figura 89), nos quais foram aplicadas as mesmas variáveis, identificaram-se valores de resistência de aderência significativamente inferiores no painel exposto às condições ambientais externas (9L → 6C: -52%), indicando que o revestimento aplicado em condições ambientes pode apresentar resistência de aderência significativamente inferior em relação aos painéis executados em laboratório em que as condições climáticas estão sob controle.

Figura 89 - Resistência de aderência em função das condições de exposição do painel: 1 - laboratório, 2 - campo

Essa constatação permite afirmar que, ao se desenvolverem produtos para fachada, as avaliações não devem se limitar a condições climáticas de laboratório, usualmente controladas. Além disso, indica a necessidade de cuidados quando da aplicação de revestimentos de base cimentícia em condições ambiente, dentre os quais a cura do revestimento pode ser de grande importância, quanto mais agressivas forem essas condições (CÂNDIA; FRANCO, 1998).

6. CONCLUSÕES

6.1. QUANTO À INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS NO COMPORTAMENTO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Identificou-se, através da realização deste estudo, que os fatores de maior influência na adesão inicial e fissuração dos revestimentos ao substrato são o teor de água das argamassas (associado à reologia) e a espessura da camada, que, quanto maior, menor a adesão inicial.

Além disso, outras variáveis da técnica de execução, tais como o intervalo de tempo entre demãos, a condição de umidade do substrato e a técnica de acabamento da superfície do revestimento, podem interagir com aqueles dois fatores, levando ao comportamento distinto do revestimento, principalmente em relação à sua resistência de aderência.

Confirmou-se, também, com a realização deste estudo, que a energia de lançamento proporcionada pela projeção mecânica promove maiores resistências de aderência. Esse aumento, no entanto, foi acompanhado pelo aumento da variabilidade dos resultados, diferentemente do que se esperava.

As técnicas de acabamento da superfície (alisamento, sarrafeamento e desempeno) são outro fator de grande influência na aderência dos revestimentos, e exigem treinamento e experiência da mão de obra, pois dependem tanto de características da argamassa como do substrato, bem como das condições ambientais e da interação desses três fatores, de forma que não é possível determinar um tempo exato para sua realização.

O alisamento (compressão da argamassa logo após a sua projeção) deve ser realizado imediatamente após a projeção da argamassa, quando a mesma se encontra ainda fresca e fluida, de forma a facilitar a realização da etapa e minimizar a solicitação passada para a camada de revestimento.

Identificou-se que a técnica denominada de raspagem pode prejudicar o comportamento dos revestimentos quanto à resistência de aderência à tração, em relação à técnica de sarrafeamento tradicional, apresentando valores aproximadamente 80% menores.

Sua realização, antes do momento adequado, pode submeter o revestimento a esforços que ele não é capaz de suportar, levando à ruptura da interface entre o material e o substrato, de forma que, para sua realização, é necessário esperar a perda parcial da água da argamassa para o substrato.

Além disso, a realização do desempenho no momento adequado, além de promover maior compactação da argamassa, contribuindo com as resistências mecânicas do revestimento, reduz a necessidade de aspersão de água sobre a superfície do revestimento no momento do desempenho, evitando o enfraquecimento da superfície.

Essas variáveis da técnica de execução do revestimento podem assumir diferentes configurações no canteiro de obras. Assim, a seleção de técnicas adequadas ao processo de produção de revestimentos de argamassa que considerem as propriedades dos materiais utilizados, bem como as condições de produção proporcionadas pelos equipamentos mecânicos e as diversas variáveis presentes no processo, é um importante passo para se mitigar problemas comumente identificados nos revestimentos de edifícios, como fissuras e destacamentos.

Destaca-se, ainda, a interação de todas as variáveis com as condições ambientais. Quando se comparou os resultados da produção em laboratório com a de campo identificou-se uma queda no desempenho mecânico do revestimento.

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA APLICADOS COM PROJEÇÃO MECÂNICA CONTÍNUA

Feitas as devidas análises de resultados deste estudo, é possível propor as seguintes recomendações para a execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua:

A primeira delas refere-se à definição da argamassa, que deve considerar, além das propriedades exigidas para o bombeamento e projeção, as relacionadas à adesão inicial ao substrato, de forma a permitir a aplicação de espessuras maiores de argamassa, evitando diversas demãos, para que não se comprometa a produtividade dos serviços.

Essa avaliação, feita a partir da produção de painéis-teste com a espessura desejada de revestimento, servirá para identificar o potencial de fissuração e a resistência de aderência média do revestimento.

Sendo a aderência do revestimento uma de suas propriedades mais importantes e sabendo-se que depende das condições com que a argamassa é aplicada (FERNANDES et al., 2007), recomenda-se potencializar a extensão de aderência que pode ser conseguida com a projeção mecânica ou, quando da aplicação manual, com o aperto da argamassa contra o substrato.

Ao se utilizar a aplicação mecânica contínua, recomenda-se que, após o alisamento superficial com régua H, a camada de argamassa não seja solicitada até que adquira condições de sofrer as operações de acabamento superficial, evitando prejudicar a aderência dos revestimentos.

Além disso, a partir dos valores de resistência de aderência, significativamente superiores, e da porcentagem de ruptura superficial nula, obtidos quando se empregou a técnica do sarrafeamento tradicional, recomenda-se a sua utilização em detrimento da etapa denominada raspagem, no momento adequado (tempo de sarrafeamento), de forma a promover benefícios para as resistências mecânicas do revestimento como um todo.

Destaca-se que painéis executados em laboratório podem apresentar menores resistências de aderências em relação aos painéis executados em campo ou em uma fachada. Sendo assim, devem-se executar os painéis teste, nas condições de exposição às quais os revestimentos estarão submetidos na ocasião de sua execução.

6.3. QUANTO AO CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DESTA PESQUISA

A elaboração deste trabalho evidenciou a falta de informações acerca das técnicas empregadas na execução dos revestimentos aplicados com projeção mecânica contínua e a ausência de normalização nacional específica para a produção desses revestimentos, tendo, como consequência, o uso indiscriminado de diferentes técnicas de execução que, associadas às condições variáveis nos canteiros de obras, ainda não haviam sido avaliadas sistemicamente, podendo resultar em

problemas futuros. Essas técnicas foram identificadas na revisão bibliográfica e nos levantamento de dados em campo e apresentadas no Capítulo 2.

Através da revisão bibliográfica, realizada para caracterização do processo de produção, apresentada no Capítulo 2, identificou-se, também, que não havia trabalhos que abordassem as características desse processo de forma analítica. A seleção dos equipamentos a serem utilizados para a composição do sistema (englobando as etapas de entrega, armazenamento e transporte de material, mistura e projecção da argamassa e execução do revestimento) é, geralmente, realizada com base em informações passadas pelos fornecedores de equipamentos e prestadores de serviço, ou com base na experiência da mão de obra, dificultando a obtenção dos ganhos de eficiência que o sistema de produção pode proporcionar.

Em relação aos objetivos específicos propostos neste trabalho, considera-se que foi possível analisar as práticas atuais utilizadas na produção desses revestimentos, a partir das quais foram selecionadas as variáveis para aplicação na avaliação experimental (Capítulo 4), a partir da qual os resultados foram obtidos e apresentados no Capítulo 5.

A partir da análise dos resultados (Capítulo 5), identificaram-se como as variáveis podem influenciar o comportamento destes revestimentos, conforme apresentado no Capítulo 6.

Considera-se que o trabalho destaca a importância do estudo das técnicas utilizadas na produção dos revestimentos de argamassa e, devido à escassez de informações, identificada na bibliografia disponível no país sobre o tema, acredita-se que os conceitos expostos no decorrer do trabalho também contribuíram para ampliar o conhecimento técnico sobre o assunto.

A seleção de uma técnica adequada ao processo de produção desses revestimentos, considerando as propriedades específicas dos materiais utilizados, bem como a velocidade de produção proporcionada pelos equipamentos mecânicos, é um importante passo para a evolução do processo de produção de revestimentos de argamassa, aplicados com projecção mecânica contínua.

Espera-se que o trabalho alerte tanto os fabricantes de material e equipamentos, como as empresas fornecedoras de serviço e as construtoras que utilizam esses sistemas, sobre a necessidade de uma especificação correta, não só para definição

do sistema de produção destss revestimentos, mas também para a técnica de execução adequada a ser utilizada e as condições de aplicação dos revestimentos, de forma a garantir o desempenho esperado para eles.

6.4. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Com o objetivo de ampliar o conhecimento acerca da produção e do comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua, são sugeridos os seguintes temas para pesquisas futuras:

- A influência das variáveis relacionadas às técnicas de execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua em outras propriedades dos revestimentos de argamassa, tais como estanqueidade, resistência ao cisalhamento e fissuração ao longo do tempo.
- A influência das variáveis relacionadas às técnicas de execução na produtividade obtida durante a execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua.
- A influência das variáveis relacionadas às técnicas de execução no consumo de material e perdas obtidas durante a execução dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua.
- A influência das condições ambientais no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua.
- O método de execução de revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua: a gestão necessária para a obtenção dos benefícios propiciados pela técnica de execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 506 R - 05**: Guide to shotcrete. Detroit, Michigan, Estados Unidos, 2005. 40 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 926-06**: Standard Specification for Application of Portland Cement Based Plaster. West Conshohocken, Pensilvânia, Estados Unidos, 2006. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimentos de paredes e tetos de argamassas de inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998. 3 p.

_____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 1984. 16 p.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011. 13 p.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

_____. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005. 4 p.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9 p.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996. 6 p.

_____. **NBR 14026**: Concreto projetado - Especificação. Rio de Janeiro, 1997. 5 p.

_____. **NBR 14279**: Concreto projetado - Aplicação por via seca - Procedimento. Rio de Janeiro, 1999. 3 p.

_____. **NBR 15575-4**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2012. 51 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **NF DTU 26.1 P1-1**: Travaux d'enduits de mortiers. Partie 1-1: Cahier des clauses techniques. Brussels, France, 2008. 46 p.

_____. **NF DTU 26.1 P1-2**: Travaux d'enduits de mortiers. Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux. Brussels, France, 2008. 25 p.

_____. **NF EN 14487-1**: Béton projete. Partie 1: Définitions, spécifications et conformité. Brussels, France, 2005. 40 p.

_____. **NF EN 14487-2**: Béton projete. Partie 2: exécution. Brussels, France, 2007. 40 p.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. **Determinação e controle da energia de impacto de argamassas lançadas manualmente**. São Paulo, Epusp, 2007. 14 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/455).

ANVI. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: < <http://www.anviequipamentos.com>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

AUSTIN, S. A. Introduction to sprayed concrete. In: AUSTIN, S. A.; ROBINS, P. J. **Sprayed Concrete**: Properties, design and application. Caithness, Inglaterra: Whittles Publishing, 1995_a. Capítulo 1, p. 1 - 6.

_____. Production and Installation. In: AUSTIN, S. A.; ROBINS, P. J. **Sprayed Concrete**: Properties, design and application. Caithness, Inglaterra: Whittles Publishing, 1995_b. Capítulo 4, p. 31 -51.

AUSTIN, S. A. et al. **Sprayed Concrete Technology**, E&FN Spon. Londres, Inglaterra, 1996. 300 p.

AUSTIN S A, ROBINS P J AND GOODIER C I, **Construction and Repair with Wet-Process Sprayed Concrete and Mortar**. Technical Report, N° 56, Concrete Society, Crowthorne, UK, 2002. 44 p.

_____. **The rheological performance of wet-process sprayed mortars**. In: Magazine of Concrete Research, Vol. 51, N° 5, 1999_a, p 341 - 352.

_____. **Workability, shear strength and build of wet-process sprayed mortars**. In: CONGRESS ON CREATING WITH CONCRETE, 1999_b, Scotland, Inglaterra. Proceedings..., Scotland, 1999_b. p. 141 - 152.

BAÍA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa. Coleção Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras**. São Paulo. O Nome da Rosa, 2000. 82 p.

BALKE. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: <<http://www.balke.com.br>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

BARROS, M. M. S. B. **Implantação de novas tecnologias em canteiros de obras: um desafio a ser vencido**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1, 1998, São Paulo: EPUSP/PCC/TGP, 1998. Anais. p. 110 - 118.

_____. **O processo de produção das alvenarias racionalizadas**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS. São Paulo. Epusp / PCC, 1998. Anais. 308 p.

BAUD, G. **Manual de Construção**. Tradução de Torrieri Guimarães. [S.l.]: Hemus, 1972. v 2.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005. 92 p.

BAUER, E.; PAES, I. L. **Avaliação da movimentação e fixação de água em argamassas mistas para substratos porosos, nos momentos iniciais (pós-aplicação)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, São Paulo. 12 p.

BRITEZ, A. A. **Diretrizes para especificação de pinturas externas texturizadas acrílicas em substratos de argamassa.** 2007. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

BRITISH STANDARD INSTITUTE. **BS 5262.** Code of practice for external renderings. London, England, 1991. 48 p.

BOCCHILE, C. **Mistura pelo ano.** Revista Técnica. ed. 59. 2002. 2 p.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** São Paulo, Epusp, 1998. 13 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/ PCC/223).

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos - Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação.** 1996. 285 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

_____. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador, BA.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** 2009. 138 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CEOTTO L. H; BANDUK R. C; NAKAMURA E. H. **Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005. Recomendações Técnicas Habitar, v. 1. 96 p.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES. **Encontro sobre Habitação Econômica e Industrialização da Construção.** Disponível em: <<http://www.cte.com.br>>. Acesso em: 12 fev. 2011.

CHOLET, H. **Progressing cavity pumps.** Institute français du petrole publications. Éditions technip. Paris, França, 1997. 112 p.

CICHINELLI, G. C. **Acabamento Projetado.** Revista Técnica. ed. 158. 2010a. 2 p.

_____. **Revestimento Rápido: Escassez de mão de obra abre espaço para projeção mecanizada de argamassas.** Revista Construção Mercado, ed. 105, 2010_b. 2 p.

_____. **Revestimento interno de argamassa.** Revista Equipe de Obra. ed. 23, 2009.

CINCOTTO, M. A. et al. **Argamassas de revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. 118 p. (Boletim 68 – Publicação IPT).

COMMITTEE FOR EUROPEAN STANDARDISATION. **EN 14487-1.** Sprayed concrete. Definitions, specifications and conformity. Brussels: European Committee for Standardization. 2005.

_____. **EN 14487-2.** *Sprayed concrete. Execution.* Brussels: European Committee for Standardization. 2006.

COOK, T. H. **Concrete pumping and spraying: a practical guide.** Thomas Telford House, Londres. 1990. 234 p.

COSTA, E. B. C. et al. **Avaliação do efeito da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa.** In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3, 2010, Lisboa, Portugal.

COSTA NETO, P. L. **Estatística,** São Paulo, Ed. Edgard Blucher. 2002. 266 p.

CRESCÊNCIO, R. M. et al. **Execução de revestimentos com argamassa projetada.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, 2000, Salvador, BA. Anais... Salvador, 2000. p. 1067-1074.

CRESCÊNCIO, R. M.; BARROS, M. M. S. B. **Execução de revestimentos decorativos monocamada.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9, 2002, Foz do Iguaçu, PR, p. 1805-1814.

DUAILIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. **Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis, SC.

FARAH, M. F. S. **Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional**. 1992. 297 p. Tese (Livre-docência) - Faculdade de Sociologia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

FERNANDES, H. C.. **Sistema de Projeção de argamassa com o uso da canequinha (projeção a ar comprimido)**. In: FÓRUM MINEIRO DE REVESTIMENTO EM ARGAMASSA, 2, 2010. Belo Horizonte, MG.

FERNANDES, H. C. et al. **Fatores que influenciam a energia de lançamento da argamassa na projeção por spray a ar comprimido**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7, 2007, Recife, PE.

_____. **Influência da forma de aplicação e da reologia da argamassa nas propriedades mecânicas dos revestimentos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba, PR.

FERNANDES, H. C.; JOHN. V. M. **Desenvolvimento de metodologia para estimativa da energia de lançamento das argamassas projetadas por spray a ar comprimido**. São Paulo, Epusp, 2007. 23 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/474).

FIGUEIREDO, A. D.; HELENE, P. R. L. **Concreto Projetado: O controle do processo de projeção**. São Paulo, Epusp, 1993. 43 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/92).

GASPAR, P.L.; COLEN, I. F. BRITO, J. **Técnicas de Diagnóstico e Classificação de Anomalias por Perda de Aderência em Rebocos**. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2, 2007, Lisboa, Portugal.

GLASSGOLD, I. L. **Shotcrete standards - an american perspective**. Sprayed Concrete Technology. E&FN Spon, Londres, Inglaterra, 1996.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa - estudo de caso**. 2004. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

GONÇALVES, S. R. C.; BAUER, E. **Estudo de caso da variação da resistência de aderência à tração em uma parede**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6, 2005, Florianópolis, SC.

LEJEUNNE, C. **A contribuição francesa**. *Téchne*, n. 22, p. 30- 34, 1996.

M-TEC. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: < <http://www.m-tec.com>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

MAI INTERNATIONAL. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: < <http://www.mai.at>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

MAIDL, B. R. **Equipment for the production of sprayed concrete**. Sprayed Concrete - Properties, design and application. McGraw-Hill, 1995.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa: Planejamento e Execução de Pesquisas. Amostragens e Técnicas de Pesquisa. Elaboração, Análise e Interpretação de Dados**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MORGAN, D. M. **Special Sprayed Concretes**. Sprayed Concrete Technology. E&FN. Londres, Inglaterra, 1996.

NETO, A. A. A. M.; DJANIKIAN, J. G. **Aspectos de desempenho da argamassa dosada em central**. São Paulo, Epusp. 1999. 25 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/235).

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. 2008. 179 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

PARAVISI, S. et al. **Avaliação da produção de revestimento de fachada de argamassa com projeção mecânica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA, 7, 2007, Recife, PE.

PARAVISI, S. et al. **Produção de revestimento de argamassa com bombas de projeção**. Revista Técnica. ed. 145, p. 62-66, 2009.

PFT. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: < <http://www.pft.com.br>>. Acesso em: 15 dez. 2011.

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 DE ARGAMASSAS, 3, 1999, Vitória, ES.

PUTZMEISTER. Apresenta equipamentos para mistura, bombeamento e projeção de concretos e argamassas. Disponível em: <http://www.putzmeister.com.br>. Acesso em: 15 dez. 2011.

REGATTIERI, C. E; SILVA, L. L. R. **Ganhos de potenciais na utilização da argamassa industrializada.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5, 2003, São Paulo, SP.

SABBATINI, F. H. **A atuação da escola politécnica no desenvolvimento e na implantação de novas tecnologias construtivas.** In: SEMINÁRIO GESTÃO E TECNOLOGIA NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1997, São Paulo. Anais. EPUSP, 1997. v. 1. p. 53-72.

_____. **Tecnologia de Execução de Revestimentos de Argamassa.** In: 13º. SIMPATCON – SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO. Campinas, 1990.

SABBATINI, F. H.; SELMO, S. M. S.; SILVA, M. M. A. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação e tetos.** Escola Politécnica da USP, PCC. São Paulo. 1988. (Relatório Técnico 1.F - Convênio EPUSP/ENCOL; CPqDCC-EPUSP).

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal.** 2003. 138 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 2003.

SANTOS, C. C. N; BAUER, E. **Influência das características granulométricas dos agregados na projetabilidade das argamassas industrializadas para revestimento.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004. São Paulo. SP.

SANTOS, C. C. N; BAUER, E. **Influência do tempo de mistura e do teor de água na projetabilidade das argamassas industrializadas para revestimento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5, 2003, São Paulo. SP.

SCARTEZINI, L. M. et al. **A influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa.** In: Revista Ambiente Construído, Porto Alegre. V. 2, n. 2, 2002. p. 85-92.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. **Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5, 2003, São Paulo. SP.

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

SILVA, M. S. **Projetando o Futuro.** Revista Técnica, ed. 110. 2006. p. 36-38.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno - estudo do comportamento reológico e mecânico.** 2006. 176 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SOUZA, U. E. L. **Método para a previsão da produtividade da mão de obra e do consumo unitário de materiais para os serviços de formas, armação, concretagem, alvenaria, revestimentos com argamassa, contrapiso, revestimentos com gesso e revestimentos cerâmicos.** 2001. 357 p. Tese (Livre docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

SOUZA, U.E.L et al. **Perdas de materiais nos canteiros de obras: A quebra do Mito.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS. São Paulo: PCC/EPUSP, 1999. 48 p.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; BARROS, M. M. S. B.; SIMÕES, J. R. L. **A escolha do revestimento de fachada de edifícios influenciada pela ocorrência de problemas patológicos.** In: VII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y X CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. Asunción, Paraguay. 2005. 8 p.

TEICHERT, P. **Carly Akeley - A tribute to the founder of shotcrete.** In: Shotcrete, 2002.

TAYLOR, G. **New Construction. Sprayed Concrete Technology.** E&FN Spon (ISBN 0-419-22270-7), London, 1996.

VENTURINI, J. **Revestimento de argamassa.** Revista Equipe de Obra. ed. 37. 2011. 2p.