

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Análise de fatores que exercem influência na argamassa e no  
processo de projeção em revestimento de paredes**

Gabriela Cechin

Orientadora: Angela Borges Masuero  
Co-orientadora: Carina Mariane Stolz

Porto Alegre  
2017

Gabriela Cechin

**ANÁLISE DE FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NA  
ARGAMASSA E NO PROCESSO DE PROJEÇÃO EM  
REVESTIMENTO DE PAREDES**

Dissertação de mestrado acadêmico apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico.  
Orientação: Prof.a. Dr. Angela Borges Masuero.

Porto Alegre  
2017

**GABRIELA CECHIN**

**ANÁLISE DE FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NA  
ARGAMASSA E NO PROCESSO DE PROJEÇÃO EM  
REVESTIMENTO DE PAREDES**

Porto Alegre, 21 de julho de 2017

Prof.a. Angela Borges Masuero  
Dra. pela UFRGS  
Orientadora

Prof.a. Carina Mariane Stolz  
Dra. pela UFRGS  
Co-Orientadora

Prof. Dr. Nilo Cesar Consoli  
Coordenador do PPGECC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Acir Mércio Loredo-Souza (UFRGS)**  
Ph.D. pela University of Western Ontario - Canadá

**Prof. Aguida Gomes de Abreu (UNISINOS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil

**Prof. Marlova Piva Kulakowski (UNISINOS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brasil

Dedico este trabalho a minha família, professores e amigos, os novos e de longa data, que foram imprescindíveis durante este período.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a minha família, meu porto seguro, que me forneceu todo o suporte, parceria e apoio em todos os momentos e principalmente durante a realização deste trabalho. Em especial aos sorrisos, carinho e amor recíproco da minha sobrinha e afilhada Rafaela, que por diversas vezes, apesar da pouca idade, entendeu os momentos de ausência.

Agradeço muito à minha orientadora, Prof. Angela Masuero, pela dedicação de seu tempo e transmissão de conhecimento. Da mesma forma, agradeço a minha co-orientadora e amiga, “co-co”, Prof. Carina Stolz, por tantas contribuições positivas, agilidade nas correções e palavras de incentivo. Vocês são profissionais e pessoas excelentes que admiro muito e são inspiração para a construção e consolidação de minha carreira.

Agradeço aos amigos e colegas do NORIE/UFRGS, por tantos momentos de descontração, discussões pertinentes e parceria. Em especial, agradeço a Pri, Sílvia e Márlon. Obrigada pelo apoio, conselho e amizade de vocês! Agradeço também os amigos de longa data, Rafa Dal Santo, Deinha (geminha), Melissa, Julinha, Dani, Deise e Fer, e colegas das demais áreas, Fê, Tati, Ale, Thaís, Carol Valente e Ingrid. Vocês são demais!

Agradeço muito estes 2 anos de mestrado, em que também pude me conhecer, aprender a valorizar os momentos de descontração (os quais PRECISAM EXISTIR!), me apaixonar por diversas modalidades do esporte e a amar um novo estilo de vida. Obrigada Lu Cabral, por ter mudado a minha história e a me ajudar a ser muito mais feliz!

Ao CNPQ e a Capes pelo auxílio através da bolsa de pesquisa e também as demais empresas que forneceram o material e possibilitaram as visitas técnicas em obra.

Ao PPGEC, pela oportunidade de ser selecionada e aprimorar meus conhecimentos!

Aos funcionários, em especial a querida Lucília, sempre disposta a auxiliar, e professores do NORIE, que contribuíram com muito conhecimento e experiência.

Aos colaboradores do LAMTAC/NORIE/UFRGS, amigos do meu coração, Gilmar e Airton, minha eterna gratidão e amizade! Também aos bolsistas de IC, em especial o Rech, Alessandro e Ricardo. Obrigada pelo amparo, dedicação e auxílio em todas as etapas!

## RESUMO

CECHIN, G. **Análise de fatores que exercem influência na argamassa e no processo de projeção em revestimento de paredes.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A argamassa de revestimento é um material largamente utilizado na construção civil. Após a década de 90, as construtoras necessitaram introduzir inovação no processo construtivo, como um diferencial de mercado, a fim de aumentar a produtividade e qualidade, juntamente à redução do custo final. Em consequência disso, ao longo do tempo, houve a evolução do subsistema de revestimento, apresentando como maior mudança a substituição da aplicação manual por projeção mecânica. Acredita-se que, devido ao fato desta tecnologia propiciar a redução da interferência da mão de obra e possibilitar o fluxo contínuo durante a execução, permite atingir maior produtividade, qualidade e redução de perdas excessivas. Porém, verifica-se elevada incerteza e variabilidade na produção e aplicação da argamassa em canteiros de obras com a inexistência de controle das variáveis envolvidas ao processo, juntamente à carência de normativas e recomendações para projeção mecânica. Além disso, a falta de controle tecnológico e carência de conhecimento técnico, com elevado grau de empirismo nas etapas do processo resultam, muitas vezes, no desencadeamento de manifestações patológicas e perda de desempenho do revestimento. Sendo assim, buscando-se um melhor entendimento das variáveis existentes no sistema e a influência de sistemas distintos para projeção de argamassas, o principal objetivo desta pesquisa consiste em verificar a influência de variáveis com baixo ou inexistente controle no processo de produção da argamassa em relação às propriedades, no estado fresco e endurecido. Para que seja possível atingir esse objetivo a pesquisa foi dividida em duas etapas: a etapa 1, em campo e em laboratório, e a etapa 2, em laboratório. Na etapa 1, em campo, buscou-se o conhecimento e caracterização das edificações, bem como peculiaridades e práticas executivas adotadas em canteiros de obras. Os resultados desta etapa mostraram a variabilidade na produção e aplicação do revestimento, principalmente relacionado à quantidade de água adicionada e sentido de aplicação. Em relação à etapa 1, em laboratório, foram coletadas e transportadas as argamassas produzidas e utilizadas em canteiros de obra desta etapa, em campo. Foram realizados ensaios de caracterização, no estado fresco e endurecido, a fim de observar a influência da mistura (sistema) e do aumento da vazão. Através deste estudo, verifica-se que distintos sistemas apresentam diferença estatística significativa em algumas propriedades no estado fresco, tais como índice de consistência aos 50 minutos e retenção de água, e endurecido, através do coeficiente de capilaridade e resistência à tração na flexão, da argamassa. Além disso, pode-se afirmar que com o incremento da quantidade de água, apenas o teor de ar incorporado decresce, sendo as demais propriedades diretamente proporcionais ao aumento da vazão. Quanto à etapa 2, em laboratório, foram avaliados três fatores controláveis (vazão, sentido de aplicação e altura do substrato) em relação à resistência de aderência à tração e permeabilidade. Pode-se afirmar que a totalidade dos fatores controláveis estudados, bem como a interação entre a totalidade das variáveis (com nível de confiabilidade de 93%) influenciam na resistência de aderência à tração. Entretanto, em relação à permeabilidade, apenas o efeito isolado da vazão e a interação entre os fatores controláveis exercem influência estatisticamente significativa.

**Palavras-chave:** projeção mecânica, argamassa de revestimento, propriedades físico-mecânicas, propriedades reológicas, sistemas de projeção, aderência, permeabilidade.

## ABSTRACT

CECHIN, G. **An analysis of the factors that affect mortars and shotcrete processes in the rendering of walls**. 2017. Dissertation (MSc Engineering) – School of Engineering, Civil Engineering Graduate Program, UFRGS, Porto Alegre.

Rendering mortars are widely used in civil construction. In the 1990s, construction companies were pressed to introduce innovations in their processes to gain market advantages, increase quality and productivity and reduce costs. As a result, rendering systems underwent major improvements, the most important of which being the adoption of mechanical shotcrete systems to replace manual processes. As mechanical systems reduce operator interference and offer better flow control during application, they are believed to deliver higher productivity and quality while reducing losses. However, the reality of construction sites still shows that the process is subject to the great variability and uncertainty associated with the lack of standards and guidelines for shotcrete application. In addition, this lack of technological control and the limited technical expertise are compounded by the adoption of empirical approaches, which often result in pathological manifestations and impaired rendering performance. To provide a better understanding of existing variables and the influence of different shotcrete systems, this study investigated the influence of mortar production variables that are subject to no or limited control on the properties of fresh and hardened mortar. The study was designed as a two-phase program, in which phase 1 was carried out both in situ and in the lab and phase 2 in the lab only. In the in situ section of phase 1, information was collected on the features of constructions and on the specific characteristics and application techniques used in construction sites. The results of this stage show huge differences in shotcrete production and application practices, particularly regarding the amount of water added and the direction/orientation of application. In the lab section of phase 1, the mortars collected in the construction sites were taken to the lab for the characterization of fresh and hardened mortar in order to determine the influence of mixing processes (system) and flow rates. The study shows that different systems result in statistically significant differences in some properties of fresh mortars, such as the consistency at 50 minutes and water retention. In the hardened mortar, differences were observed in capillarity coefficients and flexural strength. In addition, it was observed that higher water amounts cause only the entrained air content to decrease, while all other properties increase as the flow rate increases. In stage 2 in the lab three controllable factors were studied (flow, direction/orientation of application, and depth of substrate vis-à-vis bond strength and permeability). It is possible to say that all controllable/control variables studied as well as the interaction between them (with a confidence level of 93%) affect bond strength. However, in the case of permeability only the isolated effect of flow and the interaction between the controllable/control factors have a statistically significant influence.

Keywords: shotcrete, rendering mortar, physical and mechanical properties, rheological properties, shotcrete systems, bond, permeability.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>18</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>19</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA .....	23
1.2 OBJETIVOS .....	26
1.3 LIMITAÇÕES .....	27
1.4 DELIMITAÇÕES .....	27
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA .....	28
<b>2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO .....</b>	<b>29</b>
2.1 DEFINIÇÃO E FUNÇÕES.....	29
2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO.....	30
2.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	32
2.3.1 Estado fresco.....	32
2.3.2 Estado endurecido.....	35
<b>3 SISTEMA DE PROJEÇÃO .....</b>	<b>38</b>
3.1 HISTÓRICO.....	38
3.2 DEFINIÇÃO E NORMATIVAS .....	40
3.3 SISTEMA DE REVESTIMENTO COM PROJEÇÃO MECÂNICA.....	42

3.3.1	Produção da argamassa .....	43
3.3.2	Produção do revestimento .....	48
<b>4</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>AMBIENTE DA PESQUISA .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2</b>	<b>ESCOLHA INICIAL DAS VARIÁVEIS .....</b>	<b>56</b>
<b>4.3</b>	<b>ESTUDOS PRELIMINARES .....</b>	<b>56</b>
4.3.1	Visita técnica em obras .....	57
4.3.2	Experiência pregressa (disciplina de Patologia das Edificações).....	58
4.3.3	Teste de vazão de entrada de água.....	59
<b>4.4</b>	<b>PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>62</b>
4.4.1	Etapa 1 - Em campo.....	62
4.4.1.1	Caracterização das obras .....	63
4.4.1.2	Caracterização da produção e observação das práticas executivas.....	63
4.4.1.3	Coleta e transporte de argamassas frescas .....	63
4.4.2	Etapa 1 – Em laboratório.....	65
4.4.2.1	Escolha das variáveis utilizadas.....	66
4.4.2.2	Ensaio de caracterização da argamassa .....	68
4.4.3	Etapa 2 – Em laboratório.....	70
4.4.3.1	Execução de parede-teste .....	71
4.4.3.2	Condições fixas .....	72
4.4.3.3	Ensaio realizado para avaliação do comportamento do revestimento.....	76
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Etapa 1 – Em campo .....</b>	<b>81</b>
5.1.1	Caracterização das empresas e obras.....	81
5.1.2	Caracterização da produção e observação das práticas executivas.....	82
5.1.2.1	Obra 1 (O1) .....	82
5.1.2.2	Obra 2 (O2) .....	88
5.1.2.3	Obra 3 (O3) .....	92
<b>5.2</b>	<b>ETAPA 1 – EM LABORATÓRIO .....</b>	<b>98</b>
5.2.1	Influência de diferentes sistemas de projeção .....	98
5.2.1.1	Estado fresco.....	98
5.2.1.2	Estado endurecido.....	107
5.2.2	Influência da vazão de entrada de água .....	114

5.2.2.1	Estado fresco.....	114
5.2.2.1	Estado endurecido.....	123
5.2.3	Resumo dos ensaios de caracterização das argamassas.....	130
5.2.4	Classificação conforme caracterização e propriedades.....	133
<b>5.3</b>	<b>ETAPA 2 – EM LABORATÓRIO .....</b>	<b>136</b>
5.3.1	Resistência de aderência à tração .....	136
5.3.1.1	Influência da vazão.....	138
5.3.1.2	Influência do sentido de aplicação .....	140
5.3.1.3	Influência da altura de aplicação no substrato .....	141
5.3.1.4	Influência da interação entre vazão, sentido de aplicação e altura de aplicação no substrato	144
5.3.2	Permeabilidade pelo método do cachimbo .....	149
5.3.2.1	Influência da vazão.....	150
5.3.2.2	Influência da interação entre vazão, sentido de aplicação e altura do substrato .....	151
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>155</b>
<b>6.1</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>156</b>
6.1.1	Etapa 1 – Em laboratório.....	156
6.1.2	Etapa 2 – Em laboratório.....	157
<b>6.2</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>158</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: critérios para espessuras admissíveis para revestimento de argamassa conforme NBR 13749 (ABNT, 2013).....	31
Tabela 2: requisitos de características e propriedades das argamassas de assentamento e revestimento conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).....	37
Tabela 3: distâncias e tempos médios de deslocamento sem trânsito entre as obras estudadas e LAMTAC/NORIE/UFRGS.....	64
Tabela 4: ensaios, normas e resultados da caracterização do bloco de concreto.....	73
Tabela 5: ensaios, normas e resultados da caracterização da argamassa de assentamento.....	73
Tabela 6: Caracterização das argamassas no estado fresco utilizadas no revestimento da parede confeccionada em laboratório.....	74
Tabela 7: Caracterização das argamassas no estado endurecido utilizadas no revestimento da parede confeccionada em laboratório.....	74
Tabela 8: limites de resistência de aderência à tração, conforme NBR 13749 (ABNT, 2013), para emboço e camada única.....	78
Tabela 9: índices de consistência e densidades de massa de argamassas produzidas por diferentes equipamentos.....	99
Tabela 10: teor de ar incorporado e quantidade de água perdida das argamassas produzidas por diferentes equipamentos.....	99
Tabela 11: análise de variância do índice de consistência da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	100
Tabela 12: análise múltipla de médias do índice de consistência da A1.....	101
Tabela 13: análise de variância da densidade de massa no estado fresco da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	104
Tabela 14: análise de variância do teor de ar incorporado da A1O1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	105
Tabela 15: análise de variância da perda de água (15 minutos) da A1O1 ensacada.....	106
Tabela 16: módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas por diferentes equipamentos, aos 28 dias.....	108
Tabela 17: resistência à tração na flexão, resistência à compressão e densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas produzidas por diferentes equipamentos, aos 28 dias.....	108
Tabela 18: análise de variância da resistência à tração na flexão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	109

Tabela 19: análise de variância da resistência à compressão da A1 ensacada .....	110
Tabela 20: análise de variância do módulo de elasticidade da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	111
Tabela 21: análise de variância do coeficiente de capilaridade ao longo do tempo da A1 ensacada .....	112
Tabela 22: análise de variância da densidade de massa aparente da A1 ensacada.....	113
Tabela 23: índice de consistência e densidade de massa das argamassas produzidas com vazões distintas .....	115
Tabela 24: teor de ar incorporado e quantidade de água perdida das argamassas produzidas com vazões distintas.....	115
Tabela 25: análise de variância do índice de consistência da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	116
Tabela 26: análise múltipla de médias do índice de consistência da A1. ....	117
Tabela 27: análise de variância densidade de massa no estado fresco da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	120
Tabela 28: análise de variância do teor de ar incorporado no estado fresco da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	121
Tabela 29: análise de variância da retenção de água da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	122
Tabela 30: módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas com diferentes vazões .....	123
Tabela 31: resistência mecânica e densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas produzidas por diferentes equipamentos .....	124
Tabela 32: análise de variância da resistência à compressão da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	125
Tabela 33: análise de variância resistência à tração na flexão da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	126
Tabela 34: análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	126
Tabela 35: análise de variância do coeficiente de capilaridade da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	128
Tabela 36: análise de variância da densidade aparente da A2 ensacada.....	129
Tabela 37: classificação da A1 e A2 conforme NBR 13281 (ABNT, 2005).....	135
Tabela 38: resistência de aderência à tração média aos 28 dias. ....	137
Tabela 39: análise de variância (ANOVA) dos efeitos das variáveis controláveis em relação à resistência de aderência à tração.....	138

Tabela 40: análise múltipla de médias do efeito isolado da vazão sobre a resistência de aderência à tração .....	139
Tabela 41: análise múltipla de médias do efeito isolado da altura do substrato sobre a resistência de aderência à tração.....	142
Tabela 42: análise múltipla de médias da interação dos fatores controláveis sobre a resistência de aderência à tração.....	146
Tabela 43: permeabilidade média pelo método do cachimbo.....	149
Tabela 44: análise de variância (ANOVA) dos efeitos das variáveis controláveis em relação à permeabilidade .....	149
Tabela 45: análise múltipla de médias do efeito isolado da vazão sobre a permeabilidade	151
Tabela 46: análise múltipla de médias da interação dos fatores controláveis sobre a permeabilidade .....	154

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado fresco (continua) .....	33
Quadro 1: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado fresco (conclusão).....	34
Quadro 2: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado endurecido (continua) .....	35
Quadro 2: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado endurecido (conclusão).....	36
Quadro 3: possibilidade de composições dos sistemas em relação à mistura e bombeamento de argamassa.....	48
Quadro 4: denominação das amostras, vazão de água de cada equipamento, data de coleta e de ensaio aos 28 dias .....	65
Quadro 5: caracterização das empresas e obras estudadas.....	82
Quadro 6: composição das camadas de revestimento da obra 3 (O3).....	93
Quadro 7: identificação da obra, nomenclatura, sistema, armazenamento e vazão de água dos equipamentos.....	97
Quadro 8: resumo da influência do sistema de projeção nas propriedades da argamassa . .....	131
Quadro 9: resumo da influência da vazão nas propriedades da argamassa .....	132

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) taliscas para definição da espessura do revestimento e (b) sarrafeamento do revestimento com distância das taliscas não superior ao comprimento da régua.....	31
Figura 2: sistema com central misturadora portátil com material ensacado .....	44
Figura 3: sistema com misturadora portátil com abastecimento por bombeamento via seca	45
Figura 4: sistema com misturadora fixa com abastecimento via úmida.....	45
Figura 5: fluxograma das etapas da pesquisa.....	55
Figura 6: esquema inicial do cruzamento das variáveis .....	56
Figura 7: estudos preliminares do programa experimental.....	57
Figura 8: rotômetros que indicam a regulação da vazão de entrada de água, em L/h .....	57
Figura 9: aspecto visual das paredes teste pós-projeção.....	58
Figura 10: detalhe da precisão de leitura do rotômetro do equipamento utilizado em laboratório mostrando os ajustes de vazão (1: 350 L/h; 2: 400 L/h; 3: 450 L/h; 4: 500 L/h; 5: 550 L/h; 6: 600 L/h) .....	60
Figura 11: aspecto visual com vazões diferentes de entrada de água. (a) 400 L/h, (b) 600 L/h, (c) 450 L/h, (d) 500 L/h e (e) 550 L/h.....	61
Figura 12: perda excessiva de argamassa ocorrida no teste de vazão .....	61
Figura 13: coleta de argamassa fresca diretamente do bico projetor do equipamento para ensaios de caracterização em laboratório .....	64
Figura 14: aspecto visual de diferentes argamassas coletadas, após o transporte. (a) A2E3Q750 e (b) A2E3Q400 .....	66
Figura 15: matriz experimental adotada na “Etapa 1 – Em laboratório”, desta pesquisa .....	67
Figura 16: resumo dos ensaios de caracterização das argamassas coletadas .....	68
Figura 17: matriz experimental adotada na “Etapa 2 – Em laboratório”, desta pesquisa .....	71
Figura 18: desenho representativo das paredes executadas em laboratório.....	72
Figura 19: <i>squeeze-flow</i> das argamassas produzidas em laboratório com vazões distintas e velocidade de carregamento de ensaio de 0,1 mm/s .....	75
Figura 20: <i>squeeze-flow</i> das argamassas produzidas em laboratório com vazões distintas e velocidade de carregamento de ensaio de 3 mm/s .....	75
Figura 21: equipamento de projeção utilizado na projeção de argamassa. (a) bomba de projeção helicoidal com misturador associado e (b) corte esquemático do funcionamento .....	76
Figura 22: aparência visual de parte dos painéis teste. (a) após a realização do ensaio de aderência à tração e (b) posicionamento dos cachimbos para ensaio.....	76

Figura 23: formas de ruptura dos corpos-de-prova no ensaio de resistência de aderência à tração através da NBR 13528 (ABNT, 2010).....	78
Figura 24: movimentação horizontal de argamassa ou do equipamento de projeção através de retroescavadeira .....	83
Figura 25: medições de espessura na obra (1). (a) 2,0 cm de espessura no revestimento concluído e (b) 1,5 cm no posicionamento de taliscas .....	83
Figura 26: sistema que compreende o equipamento de projeção denominado de A1E1Q450. (a) local para inserção de argamassa; (b) sistema de transporte a seco de argamassa; (c) mangotes e mangueiras que interligam o transporte até o equipamento. (d) equipamento (misturador e bomba) A1E1Q450 .....	84
Figura 27: equipamento de projeção denominado de A1E2Q450 com bomba helicoidal e misturador associado .....	85
Figura 28: etapas da execução do revestimento interno com projeção. (a) execução de chapisco; (b) posicionamento de taliscas; (c) projeção de argamassa; (d) “alisamento”; (e) preenchimento de falhas (manual); (f) preenchimento de falhas (projetado); (g) raspagem e (h) desempenho .....	85
Figura 29: falhas no preenchimento da argamassa de assentamento .....	86
Figura 30: distintos sentidos de aplicação da projeção em obra. (a) cima para baixo (no sentido horizontal); (b) baixo para cima (no sentido vertical); (c) e (d) quadro executado em argamassa e o preenchimento executado das bordas para o centro.....	87
Figura 31: argamassa proveniente das perdas relativas à projeção, etapa de “alisamento” e raspagem do revestimento .....	88
Figura 32: sistema via seca de projeção de argamassa utilizado na obra 2 (O2). (a) abastecimento por caminhão graneleiro e (b) armazenamento da argamassa seca em silos.....	89
Figura 33: medições de espessura na obra 2 (O2). (a) 1,5 cm na talisca com a barra de ferro e (b) 1,7 cm na talisca cerâmica.....	89
Figura 34: equipamento de projeção utilizado na obra 2 (O2). (a) equipamento com bomba helicoidal e misturador associado e (b) rotâmetro regulado com vazão de 550 L/h.....	90
Figura 35: plataforma cremalheira para a projeção .....	90
Figura 36: taliscas executadas com utilização de barra de aço.....	91
Figura 37: execução da projeção. (a) sentido de projeção debaixo para cima (no sentido horizontal) e (b) preenchimento de pontos falhos debaixo para cima (no sentido horizontal) .....	91
Figura 38: descarregamento do material através de caminhão <i>munck</i> .....	92

Figura 39: medições de espessura na obra 3 (O3). (a) talisca com marcação de espessura com 6 cm e (b) talisca com marcação de espessura superior a 5 cm.....	93
Figura 40: fissuras no revestimento. (a) na primeira camada intermediária entre substrato e camada final e (b) camada final de revestimento .....	94
Figura 41: equipamento de projeção existente na obra 3 denominado como A2E3Q400, A2E3Q450 e A2E3Q750. ....	95
Figura 42: execução do revestimento. (a) projeção em concreto debaixo para cima; (b) projeção de baixo para cima sem a formação de cordões e (c) projeção de baixo para cima com a formação de cordões .....	96
Figura 43: ensaio de resistência de aderência à tração, em combinações de substrato x chapisco x argamassa, para validação do sistema.....	96
Figura 44: influência do tipo de equipamento no índice de consistência da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	100
Figura 45: ensaio de <i>squeeze-flow</i> para A1 (coletada em obra e produzida em laboratório). (a) velocidade de 3mm/s aos 50 minutos; (b) velocidade de 3 mm/s aos 100 minutos; (c) velocidade de 0,1 mm/s aos 50 minutos e (d) velocidade de 0,1 mm/s aos 100 minutos. ....	102
Figura 46: influência do equipamento na densidade de massa no estado fresco da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	104
Figura 47: influência do equipamento no teor de ar incorporado da A1O1 ensacada (coleta e fabricante).....	105
Figura 48: influência do equipamento na perda de água (15 minutos) da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	106
Figura 49: influência do equipamento na resistência à tração na flexão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	109
Figura 50: influência do equipamento na resistência à compressão da A1 ensacada .....	110
Figura 51: absorção de água por capilaridade ao longo do tempo da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	112
Figura 52: influência do equipamento no coeficiente de capilaridade da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	113
Figura 53: influência do equipamento na densidade aparente da A1 ensacada.....	114
Figura 54: influência da vazão no índice de consistência da A2 ensacada (coleta e fabricante).....	116
Figura 55: ensaio de <i>squeeze-flow</i> para A2. (a) velocidade de 3 mm/s aos 50 minutos; (b) velocidade de 3 mm/s aos 100 minutos; (c) velocidade de 0,1 mm/s aos 55 minutos e (d) velocidade de 0,1 mm/s aos 105 minutos .....	118

Figura 56: influência da vazão na densidade de massa da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	120
Figura 57: influência da vazão no teor de ar incorporado da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	121
Figura 58: influência da vazão na quantidade de água perdida da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório) .....	122
Figura 59: influência da vazão na resistência à compressão da A2 ensacada.....	125
Figura 60: influência da vazão no módulo de elasticidade dinâmico, da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório).....	127
Figura 61: absorção de água por capilaridade ao longo do tempo da A2 ensacada .....	128
Figura 62: influência da vazão no coeficiente de capilaridade da A2 ensacada .....	129
Figura 63: influência da vazão na densidade aparente da A2 ensacada (coleta e fabricante) .....	130
Figura 64: legenda utilizada para representação nos quadros de resumo das caracterizações .....	131
Figura 65: vista frontal das paredes revestidas com os respectivos resultados de resistência de aderência à tração media aos 28 dias.....	137
Figura 66: influência da vazão de entrada de água na resistência de aderência à tração..	139
Figura 67: influência do sentido de aplicação na resistência de aderência à tração.....	141
Figura 68: influência da altura do substrato na resistência de aderência à tração.....	142
Figura 69: execução da projeção em parede teste com bico de projeção perpendicular. (a) na parte superior e (b) na parte inferior .....	144
Figura 70: influência das variáveis controláveis em relação à variável de resposta (resistência de aderência à tração) .....	145
Figura 71: influência da vazão na permeabilidade do revestimento .....	150
Figura 72: interação das variáveis controláveis em relação à variável de resposta (permeabilidade) .....	152

## LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

ACI: *American Concrete Institute*

ANOVA: Análise de variância

ASA: *American Shotcrete Association*

ASTM: *American Society for Testing and Materials*

CSTC: *Centre Scientifique et Technique de la Construction*

EMO: *European Mortar Industry Organization*

EPUSP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

LAMTAC/NORIE/UFRGS: Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído

NATM: *New Australian Method*

NBR: Norma Brasileira Regulamentada

NM: Asociación Mercosur de Normalización

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

PPGEC: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

RILEM: *Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Construction*

RS: Rio Grande do Sul

SBTA: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas

SNIC: Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A: resistência potencial de aderência à tração

a/c: relação água/cimento

cm: centímetro

C: coeficiente de capilaridade

Cp: corpo de prova

D: densidade de massa no estado fresco

dm: decímetro

E: equipamento

fbk: resistência característica à compressão axial

g: grama

GPa: giga Pascal

h: horas

kg: quilo

L: litros

L/h: litros por hora

m: metro

min: minuto

M: densidade de massa aparente no estado endurecido

MPa: mega Pascal

P: resistência à compressão

Q: vazão

R: resistência à tração na flexão

Ra: resistência de aderência à tração

U: retenção de água

## 1 INTRODUÇÃO

A importância do aprofundamento dos estudos sobre argamassas justifica-se por estas serem um dos produtos de maior utilização na construção civil. Pode-se encontrá-las em revestimentos, assentamentos de alvenarias e como produto básico para outros fins na construção civil (YOSHIDA e BARROS, 1995). No Brasil, a quase totalidade dos edifícios habitacionais emprega revestimentos de argamassa em fachadas, tanto como base para a pintura, como para outros tipos de acabamento (BRITZ, 2007).

A finalidade da camada de revestimento de argamassa é de contribuir com a estanqueidade à água e regularizar a base (estrutura e vedação) para o recebimento da camada final (BAÍA e SABBATINI, 2004). Além destas funções, a camada que envelopa a edificação, objetiva colaborar com o conforto térmico e acústico do ambiente construído (CARNEIRO, 1993). A partir do cumprimento destes propósitos, atinge-se o desempenho esperado. Entretanto, no processo produtivo existe uma série de variáveis e ações que, em grande parte das ocasiões, não recebem os cuidados essenciais e podem influenciar no comportamento dos sistemas de revestimento.

As atividades do processo de produção do revestimento de argamassa iniciam-se nas atividades de orçamento, solicitação, compra, recebimento, armazenamento de materiais, e se estendem à produção, que envolve o transporte de materiais, mistura e aplicação, bem como o lançamento e a regularização. Esse processo, como qualquer outro da construção civil, necessita de procedimentos padronizados a fim de garantir qualidade, produtividade, conforto visual, segurança, economia e demais características importantes para satisfação dos clientes (MASSETTO *et al.*, 1998).

Os revestimentos de argamassa são responsáveis por parcela significativa dos custos de uma edificação. Através de levantamento, em 2011, junto a uma construtora brasileira, identificou-se que os revestimentos de fachada representam de 2,7 a 4,3% do custo total da edificação, em empreendimentos habitacionais multipavimentados de médio a alto padrão, com alta demanda de material e prazos extensos para a execução (ZANELATTO, 2012). Ainda quanto ao custo, ressalta-se que as fachadas apresentam a maior frequência de manifestações patológicas,

quando comparadas com outros subsistemas da edificação, sendo que a execução é responsável pela maioria dos transtornos. Neste contexto, erros de projeto geram custos de reparação duas vezes e meia mais onerosos do que a reparação de qualquer outro tipo de problema (ALVES, 2008).

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas aos revestimentos de argamassa está associada à necessidade de solucionar e prevenir o aparecimento de manifestações patológicas que cada vez mais tornam-se comuns nos edifícios. Entre estas manifestações, podem ser citadas: fissuras, insuficiência de aderência, retração, mancha de umidade, entre outras (MOURA, 2007). Os danos comumente observados estão relacionados com: a qualidade dos materiais, dosagem ou uso inadequado, deficiência na concepção ou ausência de projetos de revestimento, qualidade na execução, falta ou deficiência de fiscalização e inexistência de manutenção preventiva. As anomalias podem envolver levar à depreciação do imóvel ao comprometimento da estanqueidade da edificação ou até mesmo à ocorrência de graves incidentes (RECENA, 2012).

Um agravante para este cenário é o fato de que o controle e gestão da produção do revestimento são, muitas vezes, delegados a mestres de obras ou operários, somando-se ao fato de que as proporções de água adicionadas na mistura são imprecisas e diversas obras apresentam manifestações patológicas ainda na fase de construção. Em se tratando de revestimento externo, tem sido comum que essa etapa represente um gargalo da produção, refletindo-se no prazo de execução da edificação (SCHRAMM e FORMOSO, 2007).

A etapa de revestimento apresenta dependência da mão de obra a fim de obter qualidade e produtividade, geralmente, com ocorrência de alta variabilidade nos resultados de ensaios de avaliação e altos índices de perdas. Em relação às perdas de argamassa de revestimento com aplicação manual, Costa (2005) registrou índices que variavam de 66% a 99%, contemplando as perdas no transporte, na aplicação, no manuseio, sarrafeamento e espessura excessiva do revestimento. De acordo com algumas pesquisas realizadas na indústria da construção (SOIBELMAN, 1993; AGOPYAN *et al.*, 1998), os índices identificados em canteiros de obras, em geral, são bem maiores do que os usados para a composição dos custos das edificações pelas empresas construtoras. Ainda hoje, verifica-se similaridade nesta ocorrência, sendo esta etapa considerada um gargalo.

Em relação à qualidade do produto final, autores como Cincotto, Silva e Cascudo (1995) e Gonçalves e Bauer (2005), encontraram elevada variação em resultados experimentais, quando avaliaram o desempenho de revestimentos aplicados manualmente. Isso ocorre,

possivelmente, pelo caráter artesanal do processo, com alta dependência da habilidade e conhecimento da mão de obra.

Desde o final dos anos de 1980, a produção do revestimento em argamassa se encontra em constante alteração, com medidas de racionalização construtiva. Neste contexto, foram introduzidas as argamassas industrializadas para execução e técnica de produção da massa, também conhecida como emboço paulista (ZANELATTO, 2012). A expansão da construção civil na última década evidenciou a escassez de mão de obra qualificada e, por fim, a falta desta até mesmo sem qualificação, ocasionando um aumento do custo da produção. Diante dessa falta de profissionais tornou-se clara a necessidade das empresas em aumentar a produtividade e a qualidade dos serviços executados, a fim de reduzir prazos, minimizar perdas, obter lucros e se manter competitivas no mercado (NAKAMURA, 2013).

Com o objetivo de superar os problemas citados, tornou-se consenso entre a comunidade da construção a necessidade de se racionalizar os processos. Dentre os principais subsistemas que trazem racionalização estão a utilização de paredes de concreto, alvenarias modulares com bloco de concreto e argamassa projetada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2013). No final dos anos de 1990 e início do novo milênio, verificou-se a tendência de substituição do lançamento manual pelo lançamento através de projeção mecânica (ZANELATTO, 2012).

No sistema de aplicação mecanizado, utilizam-se em geral argamassas industrializadas, constituídas basicamente de cimento, agregado(s) e aditivos, adicionando-se a quantidade de água necessária à mistura e ao adequado bombeamento da mesma. Esses sistemas são, muitas vezes, recebidos em empreendimentos com elevada expectativa de inovação, entretanto os canteiros, em grande parte dos casos, não estão preparados adequadamente para recebimento de novos processos (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

A técnica de projeção mecânica, além de contribuir para a racionalização do processo de produção, com aumento da produtividade e diminuição das elevadas perdas de material, possibilita diminuir a variabilidade das características mecânicas do revestimento produzido (FERNANDES *et al.*, 2007), principalmente devido à diminuição da interferência do fator humano, que dificilmente mantém constante a energia de aplicação da argamassa (DUAILIBE, CAVANI e OLIVEIRA, 2005; GONÇALVES e BAUER, 2005). Os equipamentos utilizados para projeção, se devidamente calibrados e manejados, projetam a argamassa com energia de lançamento constante, potencializando a adesão inicial, principalmente pela eliminação de vazios, o que é fundamental para desenvolvimento de aderência do revestimento ao seu

substrato (FERNANDES *et al.*, 2007). Resultados de estudos (ANTUNES e JOHN, 2007; DUAILIBE, CAVANI e OLIVEIRA, 2005 e 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, além de diminuir a variabilidade dos resultados obtidos, sobretudo devido à baixa influência da mão de obra, com a homogeneidade na execução.

A projeção mecanizada se mostra uma tendência internacional (FERNANDES *et al.*, 2007) e mesmo havendo potencial para difusão no Brasil, a utilização de projeção de argamassa com bombas não tem sido comum, estando concentrada em algumas cidades do país, tais como Salvador, Curitiba e Brasília (CICHINELLI, 2010; SILVA, 2006a). Esta resistência à implantação de novas tecnologias pode estar relacionada com o fato de o subsistema fachada envolver diversos agentes da cadeia produtiva: construtoras, projetistas, indústrias de material, empresas de execução de serviço de obra, fabricantes e empresas de aluguel de máquinas/equipamentos e trabalhadores do setor (ASANO, 2016). Entretanto, de um modo geral, não há interação entre eles e, de acordo com Ceotto, Banduk e Nakamura (2005), o nível de desconhecimento relacionado ao comportamento do produto final e insensibilidade sobre a necessidade de desenvolvimento e utilização de projetos específicos para fachada ainda é grande.

Com base nestas afirmações, verifica-se que a implantação de um método construtivo para a produção do revestimento, através de novas tecnologias, não é uma atividade simples, visto que existem diversas peculiaridades que tornam o sistema complexo através de maiores níveis de industrialização. As variáveis que envolvem o processo devem ser identificadas para verificar a influência nas propriedades e comportamento do revestimento e, desta forma, possibilitar a consolidação da tecnologia.

A partir destas constatações, busca-se, através do presente trabalho um entendimento da influência de algumas variáveis inerentes ao processo e/ou pouco ou não controladas em canteiros de obras, frente às propriedades da argamassa, no estado fresco e endurecido, e ao comportamento, mais especificadamente à permeabilidade e resistência de aderência à tração, do revestimento executado com projeção mecânica.

## 1.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA

A escolha do tema que rege este trabalho baseou-se em estudo bibliográfico, no qual foram identificadas algumas lacunas no conhecimento a respeito das variáveis que geralmente não

são controladas em canteiros de obras ou variam em diferentes obras ou equipes de produção envolvidas na cadeia produtiva, as quais podem afetar o comportamento do revestimento.

Primeiramente, serão citados os principais trabalhos brasileiros relacionados à argamassa de projeção, de modo mais generalista:

- a) Crescêncio *et al.* (2000), desenvolveu o trabalho intitulado “Execução de revestimentos com argamassa projetada” em que analisa as tecnologias de execução na cidade de São Paulo. Neste trabalho, são citados projetores com recipiente acoplado (“canequinha”) e bombas de argamassa (helicoidal ou pistão, com e sem o misturador integrado). Nas conclusões, os autores citam a resistência por parte dos envolvidos no processo para implantação da tecnologia, principalmente devido à falta de visão sistêmica e planejamento com deficiências e falhas na racionalização dos subsistemas;
- b) Santos (2003) publicou o trabalho intitulado como “Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimentos utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal”, com ênfase em critérios e parâmetros relacionados às características reológicas que lhes permite serem bombeáveis. Uma parte do trabalho em questão adotou como variáveis, o teor de água, diferentes fabricantes de argamassa e tempo de mistura de argamassas. O resultado desta publicação cita que o teor de água exerce grande influência na estrutura interna da pasta aglomerante, pois quanto maior o teor de água, menor a estruturação interna, sendo que o teor de água determina o teor de ar incorporado e é decisivo na quantidade de camada lubrificante necessária ao adequado bombeamento;
- c) Duailibe, Cavani e Oliveira (2005) publicaram um trabalho relacionado à influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. Nesta publicação, foram comparados resultados entre argamassa aplicada manualmente e através de projeção mecânica por spray a ar comprimido, com o uso da “canequinha”. Os autores concluíram que a argamassa projetada mecanicamente confere resultados de resistência de aderência à tração em média 55% maiores, se comparados com os resultados obtidos para a argamassa lançada manualmente, bem como a permeabilidade que atinge melhoria de até 85%, se comparada com a manual;
- d) Fernandes (2007) estudou a estimativa da energia de lançamento das argamassas projetadas por spray a ar comprimido. A autora concluiu que a influência do comportamento reológico das argamassas e características físicas interferiu no

comportamento da projeção. Além disso, afirma que, diferentemente das hipóteses dos pesquisadores em geral, a energia de lançamento empregada por equipamentos a ar comprimido é muito variável, sendo menor do que a energia empregada pelo pedreiro na aplicação manual;

- e) Zanelatto (2012) publicou a dissertação de mestrado intitulada como “Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua”, na qual avaliou o comportamento (aderência, adesão inicial e fissuração) em relação a algumas variáveis empregadas na execução de revestimentos, aplicadas com projeção mecânica contínua. Os resultados obtidos permitiram concluir que houve um acréscimo significativo da resistência de aderência à tração com a projeção mecânica contínua da argamassa, em comparação com a manual. Além disso, o teor de água das argamassas, a condição de umidade do substrato, o tempo entre demãos e as técnicas de acabamento da superfície podem influenciar significativamente nos resultados;
- f) Asano (2016) publicou a dissertação intitulada como “Tecnologia construtiva de revestimento externo de argamassa com projeção contínua”. O objetivo principal do trabalho era desenvolver uma tecnologia para revestimento externo de projeção contínua, com foco para viabilidade técnica-econômica, avaliação de desempenho, estudo de logística e qualidade em canteiros de obra. O trabalho mostrou a mecanização do processo de revestimento na empresa TECNISA, em São Paulo/SP.

Além de outras referências pesquisadas, um estudo deste tema, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) foi iniciado com o trabalho de Costa (2005), cujo título é “Processo de produção de revestimentos de argamassa: problemas e oportunidades de melhoria” em que apresenta como sugestões de trabalhos futuros a serem desenvolvidos “a avaliação do desempenho mecânico e durabilidade do revestimento pronto”. Posteriormente, Paravisi (2008) comparou sistemas de produção de revestimento, manual e mecânico, no trabalho de “Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação manual e mecânica de argamassa”. A pesquisa da autora está inserida no âmbito da gestão do processo no canteiro de obras, sendo da mesma forma recomendado “avaliar e comparar diferentes sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica”. Através de um Trabalho de Conclusão de curso (TCC), Fernandes (2012) publicou a pesquisa intitulada como “Desempenho Mecânico de revestimento interno de parede produzido com argamassa projetada aplicado sobre blocos cerâmicos lisos”, a qual verifica, além de outros objetivos, a

influência da altura de aplicação ao substrato na análise de resistência à tração em revestimentos de argamassa projetada.

Neste sentido, o trabalho em questão se enquadra na linha de pesquisa de Tecnologia de Materiais e Processos Construtivos, com a busca pelo conhecimento com maior profundidade, sobre o desempenho do revestimento de projeção, o qual se apresenta como uma tendência do mercado da construção. Existem diversas lacunas, verificadas em visitas técnicas “*in loco*” e referências bibliográficas quanto à variabilidade existente no processo em canteiros de obras, que demonstram a real necessidade de um estudo focado no processo e busca por soluções que atenuem as causas que resultam em desempenho inferior ao esperado.

Cabe salientar que as propriedades das argamassas convencionais (cimento, cal e areia) são relativamente conhecidas, pois essas argamassas são utilizadas há muito tempo e existe normalização brasileira referente ao assunto. Já para as argamassas específicas para projeção, atualmente não existe norma brasileira, com exceção da NBR 13070 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012) relativa à moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados, além do mais, existem poucos trabalhos sobre o tema e a maioria dos estudos está focado apenas em comparações entre a aplicação manual e projeção, e não apenas na projeção de argamassas.

Portanto, o trabalho em questão analisa primeiramente as propriedades, no estado fresco e endurecido, de diferentes argamassas produzidas e projetadas em edificações da cidade de Porto Alegre/RS e Região Metropolitana. Posteriormente, verifica a influência de variáveis pouco estudadas até o momento e com baixo controle, inerentes ou não ao processo, na produção da argamassa e execução do revestimento, as quais podem prejudicar o comportamento do revestimento executado.

## 1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo desta pesquisa consiste em verificar a influência de algumas variáveis intrínsecas ao processo de produção de argamassa projetada industrializada e execução do revestimento, bem como de variáveis com pouco ou sem controle, existentes em canteiros de obras.

Os objetivos secundários desta pesquisa consistem em:

- a) verificar a influência do sistema em diferentes sistemas mecanizados de projeção, central misturadora fixa com abastecimento via úmida e portátil com abastecimento

via seca, nas propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas para projeção industrializadas e ensacadas;

- b) verificar a influência da vazão de entrada de água (quantidade de água adicionada) utilizadas na produção de argamassas industrializadas para projeção, armazenadas ensacadas, em propriedades no estado fresco e endurecido;
- c) verificar a variabilidade entre classes e a adequação da utilização da classificação das argamassas de projeção, conforme preconiza a NBR 13281 (ABNT, 2005);
- d) avaliar o comportamento, em relação a permeabilidade e resistência de aderência à tração, do revestimento executado frente às variáveis: vazão de entrada de água, altura do substrato e sentido de aplicação.

### 1.3 LIMITAÇÕES

As limitações desta pesquisa são:

- a) as obras em que foram analisadas as práticas atuais de execução de revestimentos de argamassa projetada e coletadas amostras estão localizadas em Porto Alegre/RS e Região Metropolitana;
- b) os equipamentos de projeção em que foram coletadas as argamassas são os disponíveis no canteiro de obras;
- c) em obra, não foi realizada a caracterização do rotor, estator, compressor, idade e conservação dos equipamentos de projeção;
- d) em obra, não foi possível a verificação do teor de umidade da argamassa, devido ao fato de que as coletas foram realizadas no andamento da execução do revestimento;
- e) em laboratório, foi utilizado apenas um equipamento de projeção, devido ao fato de que existem diversas exigências necessárias para instalação e funcionamento de equipamentos.

### 1.4 DELIMITAÇÕES

As delimitações desta pesquisa são:

- a) em laboratório, o substrato do programa experimental foi construído com blocos de concreto, visto que propiciam melhor ancoragem sem a utilização de chapisco;

- b) em laboratório, foram consideradas constantes: a argamassa de assentamento para blocos, ângulo de projeção, espessura total da camada de revestimento e dimensão do painel da avaliação.

## 1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

Este documento está estruturado em seis capítulos. No primeiro, apresenta-se a introdução e justificativa onde é argumentada a importância do tema abordado nesta pesquisa e publicações anteriores sobre o assunto, bem como se discutem os objetivos, limitações e delimitações. No segundo capítulo é realizada uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto de sistema de revestimento de argamassa com a apresentação da definição, funções, propriedades do revestimento, práticas executivas tradicionais e o advento da tecnologia da projeção de argamassas. No terceiro, são apresentados o histórico, normativas existentes, as propriedades e características da argamassa específica para projeção e sistemas de projeção mecânica. Ainda neste capítulo, abordam-se assuntos relacionados a fatores variáveis em canteiros de obras que podem afetar o desempenho do revestimento.

O programa experimental está detalhado no quarto capítulo, onde estão especificados os estudos preliminares para definição de materiais e métodos para a continuidade desta pesquisa, variáveis a serem estudadas, matriz experimental, os materiais e os ensaios laboratoriais que foram utilizados a fim de satisfazer os objetivos deste trabalho.

No quinto capítulo, estão apresentados os resultados obtidos com os ensaios laboratoriais e realizadas análises a respeito destes. Além disso, para o tratamento de alguns dados utilizou-se o método de análise de variância (ANOVA), através do software STATISTICA 8.0, a fim de observar quais fatores controláveis exercem influência sobre as variáveis de resposta, podendo-se assim, chegar a conclusões sobre a significância ou não dos mesmos, com um nível de confiabilidade estatística de 95%. Por fim, no sexto capítulo foram feitas as considerações finais a respeito do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Este capítulo trata da argamassa para ser utilizada em revestimentos. Primeiramente, serão apresentadas, definições, funções, breves considerações sobre o processo de produção, com ênfase no “processo convencional” do revestimento, e a importância das propriedades, no estado fresco e endurecido, da argamassa.

### 2.1 DEFINIÇÃO E FUNÇÕES

A NBR 13529 (ABNT, 2013) define argamassa como sendo uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, com ou sem aditivo(s) ou adições. Segundo o dicionário europeu de argamassas, elaborado pelo *European Mortar Industry Organization* (EMO, 2001), é a mistura de um ou mais ligantes (orgânicos ou inorgânicos), agregados, finos, adições e/ou aditivos.

A NBR 13529 (ABNT, 2013) cita que os revestimentos de argamassas propiciam cobrimentos em uma superfície, com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, aptas a receber acabamento decorativo, ou constituir-se em acabamento final. Os sistemas de revestimento em argamassa, disponíveis no mercado brasileiro, podem variar sua composição, sendo constituídos de mais de uma camada, denominadas emboço e reboco, ou possuir apenas uma camada, denominada massa única (PARAVISI, 2008). Entre o substrato e a argamassa utiliza-se, geralmente, uma camada intermediária denominada chapisco a fim de regularizar o transporte de água da argamassa ao substrato, favorecendo a aderência e proporcionando aumento da rugosidade gerada por essa camada (RUDUIT, 2009). Entretanto, de acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), a camada em questão deve ser utilizada somente quando a base for parcial ou totalmente absorvente ou quando não apresentar rugosidade superficial suficiente. Em superfícies de concreto, a camada de preparação é imprescindível (CÂNDIA, 1998).

A NBR 13749 (ABNT, 2013) determina que os revestimentos de argamassa devam:

- a) ser compatíveis com o acabamento decorativo [...];
- b) ter resistência mecânica decrescente ou uniforme a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a durabilidade ou acabamento final;

- c) ser constituídos por uma ou mais camadas superpostas de argamassa contínuas e uniforme;
- d) ter propriedade hidrofugante [...];
- e) ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;
- f) resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

Estes sistemas são integrantes das vedações e fundamentais para a durabilidade dos edifícios, desempenham diversas funções, entre elas: absorver as deformações naturais a que as alvenarias estão sujeitas e revestir e proteger de maneira uniforme as alvenarias contra agentes agressivos externos (FERREIRA, 2010). Também promovem o isolamento termo-acústico e estanqueidade à água e aos gases (SILVA, 2011). Entretanto, segundo Moura (2007), não é função do revestimento corrigir imperfeições geométricas grosseiras da base decorrentes de falhas na execução da estrutura e das vedações. Todavia, este fato é uma prática comumente visualizada no ambiente da obra, o qual pode gerar espessuras maiores que as admissíveis, o que compromete o cumprimento das reais funções do revestimento (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998).

Por fim, a utilização de revestimento de argamassa é uma realidade nos canteiros de obras brasileiros e precisa haver uma produção racionalizada do material, de forma a evitar elevados custos (CRESCÊNCIO, 2003). A partir de um cenário atual constituído por mercado limitado, ampla concorrência e recursos escassos, somente perduram àquelas empresas que buscam racionalizar as atividades produtivas com menor dispêndio de trabalho visando custos mais favoráveis, através de alta taxa de produtividade e um máximo de segurança e qualidade no ambiente de trabalho (LINARD, HEINECK e NUNES, 2006).

## 2.2 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

Os sistemas de produção de revestimentos à base de argamassa podem ser divididos conforme o processo de produção da argamassa e conforme o processo de produção do revestimento. Quanto aos processos de produção disponíveis nacionalmente, pode-se citar: preparadas em obra, industrializadas em saco, industrializada em silo e preparadas em central. Em relação ao processo executivo são empregadas a aplicação mecânica ou manual (PARAVISI, 2008). A denominação de “processo convencional”, para este trabalho, refere-se ao processo de lançamento de argamassa realizado manualmente com colher de pedreiro.

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), que trata da execução de revestimento de argamassa, o preparo pode ser feito manual ou mecanicamente. A norma especifica sobre a necessidade de verificar o prumo e planeza, correção de irregularidades e limpeza da base. Após, deve ser efetuado o taliscamento, conforme Figura 1 (a), e/ou execução de mestras que consiste na colocação de pontos de apoio para definição da espessura do revestimento, com distância não superior ao comprimento da régua metálica utilizada na etapa de sarrafeamento, de acordo com a Figura 1 (b) (SANTOS, 2003).

Figura 1: (a) taliscas para definição da espessura do revestimento e (b) sarrafeamento do revestimento com distância das taliscas não superior ao comprimento da régua



(fonte: (a) CEOTTO, BANDUK e NAKAMURA, 2005 e (b) ZANELATTO, 2012)

O início do processo executivo envolve a aplicação de argamassa, de forma enérgica, sobre a base. Após, deve ser realizada uma compressão com a colher de pedreiro a fim de eliminar os vazios da camada, sendo posteriormente realizado o sarrafeamento e um tratamento posterior para acabamento da superfície do revestimento (BAÍA e SABBATINI, 2000).

A norma NBR 13749 (2013) estabelece critérios para espessuras admissíveis do revestimento de argamassa, mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: critérios para espessuras admissíveis para revestimento de argamassa conforme NBR 13749 (ABNT, 2013)

Identificação	Espessura (mm)
Revestimento interno	$5 \leq e \leq 20$
Revestimento externo	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno/externo	$e \leq 20$

(fonte: ABNT, 2013)

A qualidade do revestimento de argamassa a partir da aplicação manual recebe influência da habilidade do operário, sendo suscetível à falhas pela não uniformidade da energia de aplicação empregada e conseqüentemente pela falta de adesão completa à base (COSTA, 2005). Acrescenta-se a isto o fato de que a argamassa utilizada geralmente é a preparada em

obra, onde normalmente o controle na dosagem e armazenamento de materiais constituintes não é realizado de forma precisa. Desta forma, o desempenho do revestimento executado pode apresentar significativa variabilidade (SANTOS e RAMOS, 2005).

## 2.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

Conforme já citado, os revestimentos externos à base de argamassa devem atender a alguns critérios de desempenho, tais como: estanqueidade à água, conforto térmico e acústico no ambiente construído, segurança ao fogo do envoltório e estética da edificação (CARNEIRO e CINCOTTO, 1995). Para cumprir as funções, as argamassas de revestimento devem apresentar propriedades nos estados fresco e endurecido, as quais dependem das características dos materiais constituintes, da proporção entre os mesmos e do processo de mistura e execução do revestimento, assim como também podem interferir a natureza da base e condições do meio ambiente (COSTA, 2005). As principais exigências de desempenho que o revestimento de argamassa deve atender estão relacionadas, no estado fresco, às propriedades de: densidade de massa, teor de ar incorporado, trabalhabilidade, retenção de água, adesão inicial e consistência. Quanto às propriedades no estado endurecido a argamassa deve ser avaliada quanto à permeabilidade, retração, capacidade de absorver deformações, aderência e resistência mecânica (SELMO, 1989; CARNEIRO, 1993; CINCOTTO, CARNEIRO e CASCUDO, 1995; BAÍA e SABBATINI, 2000).

As propriedades mais relevantes para o embasamento teórico desta pesquisa serão detalhadas nos próximos itens.

### 2.3.1 Estado fresco

Os materiais à base de cimento no estado fresco são suspensões concentradas de partículas reativas de cimento e partículas inertes de agregado dispersas em água. Nestes materiais, o tempo de trabalho é determinado pela reação química entre o cimento e a água, formando-se inicialmente uma camada de produtos hidratados que se mantém durante um período de repouso. Após a este intervalo de tempo, inicia-se o endurecimento do material (YOUNG *et al.*, 1998; COUTINHO, 1997).

Embora os principais requisitos de desempenho dos revestimentos estejam relacionados com as propriedades finais no estado endurecido, o estudo do comportamento das argamassas no estado fresco é essencial, uma vez que é nesta condição que o material é aplicado. O conhecimento do comportamento das argamassas no estado fresco possibilita uma moldagem adequada além de permitir minimizar a ocorrência de manifestações patológicas após o

endurecimento dos revestimentos, como fissuração, deslocamento e eflorescências (CARDOSO *et al.*, 2009).

A seguir, será apresentada, no quadro 1, as propriedades essenciais no estado fresco e posteriormente, a definição e importância do estudo reológico da argamassa.

Quadro 1: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado fresco (continua)

Propriedade	Definição	Importância
Densidade de massa	A massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa (MACIEL, BARROS e SABBATINI, 1998).	Quanto mais leve a argamassa, mais trabalhável a longo prazo, menor o esforço na aplicação e maior a produtividade (CARASEK, 2007).
Teor de ar incorporado	Refere-se às bolhas de ar que são incorporadas à mistura, diferenciando-se daquelas que são decorrentes da produção da mesma (ou da evaporação de água) e que caracterizam o ar aprisionado (MOURA, 2007).	O aumento do teor de ar nas argamassas pode reduzir os pontos de contato das argamassas com o substrato e resultar em baixa resistência de aderência (CARASEK, 1996). Ocorre alteração na plasticidade, melhora na trabalhabilidade (ALVES, 2002; PAULO, 2006), o que permite uma redução na quantidade de água utilizada e permeabilidade (PAULO, 2006).
Trabalhabilidade	Determina a facilidade com que a argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada em uma condição homogênea (CARASEK, 2007). A trabalhabilidade possui conceito subjetivo que deve ser entendido como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa na posição final, cumprindo a finalidade de forma adequada sem comprometer o andamento da tarefa em termos de rendimento e custo (RECENA, 2012).	A argamassa dita, trabalhável, apresente uma viscosidade suficiente que permita o manuseio e aplicação pelo operador. Ao mesmo tempo, apresenta uma tensão limite de escoamento tal, que permita que após a aplicação esta permaneça em contato com o substrato sem deslocamentos ou escorregamentos (SOUSA, 2005). Quanto maior a trabalhabilidade, melhor a extensão de aderência no estado endurecido (TRISTÃO, 1995; CARASEK, 1996)

Quadro 1: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado fresco (conclusão)

Retenção de água	Capacidade da argamassa de liberar, para o meio ambiente ou substratos porosos, demoradamente a água empregada na preparação (RECENA, 2008). De acordo com Alves e do Ó (2005), trata-se da propriedade que determina a capacidade da argamassa de não alterar a trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provoquem a perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.	Auxilia no desenvolvimento da hidratação em fases mais avançadas, evitando possíveis problemas de fissuração ocasionados por retração, fatores estes com implicância direta no desempenho dos sistemas de revestimento (CARASEK, CASCUDO e SCARTEZINI, 2001).
Adesão inicial	Permite que a argamassa se mantenha fixa, momentaneamente, ao substrato logo após o lançamento, ainda no estado plástico, devido às forças de atrito e interfaciais (CARASEK, 1996). A adesão inicial, ou aderência da argamassa fresca à base, é a propriedade que determinará o comportamento futuro do conjunto base-revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência (CINCOTTO, CARNEIRO e CASCUDO, 1995).	Ocorre pela 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). É importante também para a ancoragem mecânica e, conseqüentemente, a aderência, a fissuração e a durabilidade dos revestimentos de argamassa (ZANELATTO, 2012).
Consistência	A consistência é uma das propriedades que influenciam diretamente na trabalhabilidade de argamassas (SANTOS, 2003). O índice de consistência de uma argamassa no estado fresco pode ser entendido como a capacidade da mesma de resistir a deformações quando submetida a ações de cargas externas (ARAÚJO, 2001).	Rago (1999) e Santos (2003) afirmam que a consistência é, na verdade, a fluidez da argamassa, função do teor de água, granulometria dos materiais e do teor de ar incorporado. O aumento do teor de ar incorporado diminui a consistência, em argamassas industrializadas, provavelmente por diminuir a estruturação interna do material (ALVES, 2002).

(fonte: elaborado pela autora)

A reologia pode ser definida como a ciência que estuda a deformação e o escoamento da matéria (TANNER e WALTERS, 1998). Paiva (2005) cita que é a ciência do fluxo e deformação dos materiais que estuda a relação entre a tensão, deformação e tempo. O estudo reológico serve como ferramenta para análise da viscosidade e tensão de escoamento das misturas. A aplicação proporciona classificar os materiais, analisar seus comportamentos frente a um campo de tensão, relacionar estes comportamentos com sua estrutura, bem como prever o desempenho dos materiais em outros estágios de tensão, deformação, tempo e temperatura (TANNER e WALTERS, 1998; CARDOSO, PILEGGI e JOHN, 2005). As propriedades no estado fresco que influenciam diretamente na reologia das argamassas são: coesão ou estruturação interna, tixotropia, plasticidade, consistência e trabalhabilidade (DO Ó, 2004), sendo que seu estudo é essencial já que com a ausência de propriedades satisfatórias no estado fresco é pouco provável que as propriedades no estado endurecido sejam alcançadas (BANFILL, 2003).

### 2.3.2 Estado endurecido

As propriedades dos revestimentos no estado endurecido também são muito importantes, pois contribuem com o desempenho mecânico (FILHO, 2013). No quadro 2, estão resumidas as definições das propriedades de permeabilidade, capacidade de absorver deformações, aderência e resistência mecânica, bem como a importância do estudo das mesmas.

Quadro 2: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado endurecido (continua)

Propriedade	Definição	Importância
Permeabilidade	A permeabilidade é o fenômeno da passagem de água tanto no estado líquido como no estado de vapor através da camada de argamassa endurecida. É influenciada pelos poros capilares de dimensões maiores que 50 nm, e pelas bolhas de ar incorporado, que podem chegar a até 3 mm (MÜLLER e BÜCHER, 1993).	O revestimento necessita apresentar estanqueidade a fim de impedir a percolação, porém permeável ao vapor para favorecer a secagem da umidade de infiltração ou vapor de água (SABBATINI e BAIA, 2000). Esta propriedade tem relevância em termos de salubridade e durabilidade (BECERE, 2007).

Quadro 2: definição e importância das principais propriedades da argamassa no estado endurecido (conclusão)

Capacidade de absorver deformações	Representa a relação entre um determinado nível de tensão aplicado em um corpo e a deformação nele existente por conta dessa tensão (BASTOS, 2003).	Pode-se associar indiretamente com a capacidade de aderência do revestimento, já que argamassas com altos módulos de deformação, ao sofrerem retração, reagem formando fissuras e descolamento do substrato (MOURA, 2007).
Aderência	De acordo com NBR 13528 (ABNT, 2010), aderência é definida como a propriedade do revestimento de resistir a tensões normais ou tangenciais atuantes na interface com o substrato. A resistência de aderência deve ser entendida como o resultado do comportamento de um sistema e depende das características da argamassa, como das características do substrato (RECENA, 2008).	Uma resistência de aderência eficaz permitirá que a argamassa absorva solicitações tais como variações térmicas (expansão e contração) e minimize a penetração de água na edificação além da permeabilidade da água nos elementos estruturais, os quais são suscetíveis a ela (CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA, 2003).
Resistência mecânica	A resistência mecânica é a propriedade dos revestimentos de suportar as ações mecânicas, sejam elas devidas à abrasão superficial, ao impacto e à contração termoigroscópica (BAÍA e SABBATINI, 2000). Carasek (2007) afirma que a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.	A resistência à compressão está mais associada à argamassa de assentamento pela forma à qual será solicitada no sistema de vedação, em contrapartida, no sistema de revestimento de argamassa, a solicitação maior é de resistência à tração ou ao cisalhamento, pois a argamassa deve suportar os esforços de tensão no sentido de evitar a fissuração (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004).

(fonte: elaborado pela autora)

Para que as argamassas de revestimento possam desempenhar suas funções, é necessário que apresentem, no estado fresco e endurecido, um conjunto de propriedades. Além disso, é desejável que estejam devidamente classificadas para serem adequadamente prescritas quanto aos tipos e condições de utilização (FILHO, 2013). Dentre as propriedades existentes, às principais são elencadas pela NBR 13281 (ABNT, 2005), que trata dos requisitos das argamassas para assentamento e revestimento de paredes e tetos. A classificação objetiva que o projetista de fachada não especifique a argamassa pelo traço, e sim através das classes da propriedade que a argamassa deva atender.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), as propriedades foram subdivididas em seis classes, exceto a de resistência potencial de aderência à tração que possui apenas três classes. As propriedades classificadas nesta norma são:

- a) P – resistência à compressão (MPa);
- b) M – densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{kg/m}^3$ );
- c) R – resistência à tração na flexão (MPa);
- d) C – coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2/\text{min}^{1/2}$ );
- e) D – densidade de massa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ );
- f) U – retenção de água (%);
- g) A – resistência potencial de aderência à tração (MPa).

Conforme a referida norma, as argamassas destinadas ao assentamento e ao revestimento devem ser classificadas conforme a Tabela 2.

Tabela 2: requisitos de características e propriedades das argamassas de assentamento e revestimento conforme NBR 13281 (ABNT, 2005)

Classes	P (MPa)	M ( $\text{kg/m}^3$ )	R (MPa)	C ( $\text{g/dm}^2.\text{min}^{1/2}$ )	D ( $\text{kg/m}^3$ )	U (%)	A (MPa)
1	$\leq 2,0$	$< 1200$	$< 1,5$	$< 1,5$	$\leq 1400$	$< 78$	$\leq 0,20$
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	$\geq 0,20$
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	$\geq 0,30$
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 94	-
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	-
6	$> 8,0$	$> 1800$	$> 3,5$	$> 10,0$	$> 2000$	95 a 100	-

(fonte: ABNT, 2005)

A norma NBR 13281 (ABNT, 2005), sobre a especificação de produtos, apenas apresenta a classificação das argamassas quanto a suas características e propriedades. Os requisitos enquadram a argamassa em uma determinada classe, sem definição de critérios específicos para avaliação e aprovação da argamassa para cada uso, por exemplo, revestimento externo, assentamento, entre outros (ASANO, 2016).

### 3 SISTEMA DE PROJEÇÃO

Após breve revisão geral sobre argamassas, neste capítulo, serão tratados aspectos específicos da projeção, tais como: histórico, definição, normativas existentes e sistema de revestimento com projeção mecânica, o qual será dividido em produção da argamassa e produção do revestimento. Por fim, neste capítulo, serão citados alguns fatores variáveis em canteiros de obras, os quais podem influenciar o desempenho do sistema.

#### 3.1 HISTÓRICO

O advento da projeção ocorreu, internacionalmente, através do concreto projetado. A primeira máquina foi introduzida no *Cement show*, em Nova Iorque, em dezembro de 1910 (YOGGI, 2000). O sistema de projeção foi desenvolvido por Carl E. Akeley em 1911, nos Estados Unidos (GLASSGOLD, 1996; TEICHERT, 2002). De acordo com Austin (1995), Akeley obteve a patente pelo equipamento e método de aplicação denominado de *cement gun* e, um ano mais tarde, de *gunite*. Na ocasião do desenvolvimento, o processo envolvia o lançamento de mistura seca e cimento com adição de água somente na pistola, conhecido na literatura como *dry process* ou processo via seca (AUSTIN, 1995).

Em 1915, a *Cement Gun Company* cresceu para se tornar uma grande organização, devido à necessidade em executar construção e reparação de edifícios, pontes, túneis de esgoto, entre outros. No início dos anos de 1920, o uso desse processo era generalizado e houve crescimento de vendas da máquina, sendo que em 1940, após a Segunda Guerra Mundial foram desenvolvidos novos tipos e alterações do equipamento (YOGGI, 2000).

Em 1950, cerca de 5000 máquinas foram entregues em mais de 120 países e no ano de 1970, ocorrem avanços na tecnologia em especial ao desenvolvimento do *wet process* ou processo via úmida (YOGGI, 2000). Em 1990, entre os equipamentos desenvolvidos, estavam as bombas helicoidais, as quais já realizavam a maior parte da projeção por via úmida. Estes equipamentos, também são conhecidos como *rotor-stator* (rotor estator), *worm-pump* (bombas helicoidais) ou *progressive cavity pump* (bombas de cavidade progressiva) (AUSTIN, 1995). Conforme afirmado por Cholet (1997), diferentemente das bombas do tipo pistão, essas

bombas são adequadas para o bombeamento da argamassa por serem capazes de promover um fluxo contínuo de materiais espessos sem deterioração.

No panorama brasileiro, a projeção mecânica iniciou o desenvolvimento na década de 1950, principalmente em estabilização de encostas e reparos em estruturas de concreto (BOSCOV, 1999). Existem controvérsias, conforme Crescêncio *et al.* (2000), que citam que as primeiras tentativas de introdução da projeção foram iniciadas em 1970. De acordo com Boscov (1999), em 1960 foi iniciada a utilização em trabalhos subterrâneos, com a utilização de concreto projetado na Hidrelétrica de Furnas. Em 1972 o *New Australian Method* (NATM) foi introduzido no Brasil na execução de dois túneis na Rodovia dos Imigrantes, que liga São Paulo a Santos. Além destes, muitos projetos grandes e importantes foram realizados no Brasil e exterior, tais como o Metrô de Lisboa (BOSCOV, 1999).

A tentativa de introdução dos sistemas de projeção para argamassa de revestimento no mercado nacional não foi bem sucedida, pois não houve enfoque em treinamento da mão de obra, bem como preparação da engenharia, os quais são indispensáveis para gerar transformações para utilização de processo com maior produtividade (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). Conforme afirmado pelos mesmos autores, ao final da década de 1990 e início de novo milênio, houve tentativa de reintrodução da tecnologia no mercado nacional, após a fase de recessão, sendo que, além dos sistemas de projeção de argamassa com bomba de projeção, surgiu, também, a possibilidade de utilização de pequenos projetores por spray a ar comprimido. Entretanto, esse sistema apresenta limitado potencial de aumento de produtividade na etapa de aplicação da argamassa e não proporciona mudanças significativas no sistema produtivo em relação ao sistema convencional de produção (FERNANDES e JOHN, 2007; PARAVISI, 2008).

No início dos anos 2000, algumas empresas, localizadas principalmente em Salvador, Curitiba e Brasília (SILVA, 2006a), passaram a utilizar sistema de projeção mecânica, juntamente com o armazenamento de argamassa em silos a fim de modernizar as formas de produção (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). Entretanto, apesar de algum tempo transcorrido desde as primeiras tentativas de introdução dos equipamentos de projeção mecânica contínua de argamassas no mercado nacional, é possível afirmar que a dificuldade de consolidação ainda é predominante (ZANELATTO, 2012). Conforme afirmado por Crescêncio *et al.* (2000), as grandes dificuldades para implantação do sistema de argamassa projetada são devidas à falta de projeto de revestimento e planejamento da obra, principalmente no tocante à logística de canteiros de obra, bem como ao treinamento da mão de obra.

### 3.2 DEFINIÇÃO E NORMATIVAS

A revisão bibliográfica acerca da normalização nacional e internacional objetiva identificar a situação do Brasil frente ao desenvolvimento da tecnologia e também normativas internacionais.

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 pneumaticamente com grande velocidade sobre uma superfície (GLASSGOLD, 1996). Hanskat (2011), afirma que o ACI, criou uma comissão técnica encarregada de produzir normas, especificações, guias e relatórios que tratam de aspectos de projeção. Atualmente, existem diversas publicações, tais como:

- a) ACI 506R-16 - *Guide to Shotcrete*, atualizado em 2016. Este guia é um documento que acompanha ACI 506.2 - *Specification for shotcrete*, e fornece informações sobre materiais e propriedades de *dry-mix* e *wet-mix*. Incluem os requisitos de equipamento, responsabilidades da equipe de projeção e testes de aceitação de concreto projetado;
- b) ACI 506.2-13 – *Specification for shotcrete*, atualizada em 2014. Esta especificação contém os requisitos de construção para a aplicação de concreto projetado. São abordados os padrões mínimos de materiais, propriedades, teste e aplicação;
- c) ACI C-06 - *Application and use of shotcrete*. Neste documento é discutido o impacto ambiental e durabilidade da projeção, com avaliação e estudos em laboratório da argamassa projetada com fibra de aço;
- d) ACI 506.4R - *Guide for the evaluation of shotcrete*. O documento serve de guia para engenheiros, inspetores, empreiteiros e outros envolvidos na aceitação, rejeição ou avaliação de concreto projetado no local ou em mistura úmida.
- e) entre outras.

Quanto às normativas americanas, podem-se citar algumas existentes:

- a) ASTM C1140-11 - *Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels*. Essa normativa padroniza a produção de painéis-teste para averiguar estudos preliminares ou testes durante a realização de um projeto;

- b) ASTM C1385-10 - *Standard Practice for Sampling Materials for Shotcrete*. A norma apresenta procedimentos para amostragem significativa de materiais a serem projetados;
- c) ASTM 1436-13 - *Standard Specification for Materials for Shotcrete*. A normativa apresenta as especificações de materiais, porém não abrange mistura, aplicação ou cura;
- d) entre outras.

De acordo com Zanelatto (2012), as normas americanas mencionam a possibilidade de aplicação mecânica sobre o substrato, tais como a ASTM C 926, porém não trata de aspectos específicos da aplicação mecanizada. Além disso, a autora afirma que são concedidos ao prestador de serviço ou vendedor do sistema as orientações para as atividades, adicionalmente à organização e gerenciamento em canteiros de obra.

A norma europeia EN 14487-1 - *Sprayed concrete - Part 1: Definitions, specifications and conformity*, utiliza para a projeção o termo *sprayed concrete* e não existe diferenciação para concreto e argamassa com aplicação mecanizada. Além disso, apenas menciona, na EN 14487-2, a possibilidade de utilização para aplicação em revestimentos com base de alvenaria. Conforme publicação de Austin, Robins e Goodier (1999), o termo *sprayed concrete* pode ser definido como argamassa ou concreto transportado através de mangotes e projetado pneumáticamente a alta velocidade por um bocal.

Em relação às normativas nacionais, contrariamente as normativas já citadas, a NBR 14026 (ABNT, 2012), intitulada de “Concreto projetado: especificação” apresenta diferenciação entre concreto e argamassa com aplicação mecanizada. O concreto projetado é definido como sendo “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”. Em contrapartida, a argamassa projetada é descrita como “argamassa com dimensão máxima característica inferior a 9,5 mm, transportada através de uma tubulação e projetada sob pressão sobre uma superfície com compactação simultânea”. Porém, as diferenças entre o concreto e argamassa para projeção não são apenas relacionadas à granulometria do material, sendo a definição vaga.

A NBR 14279 (ABNT, 1999), intitulada como “Concreto projetado – Aplicação por via seca – Procedimento”, apresenta informações muito generalistas e não há abordagem relacionada à argamassa. Até o ano de 2012 não havia norma brasileira que abordasse especificamente o tema argamassa projetada, porém, foi criada a NBR 13070 (ABNT, 2012) que trata de moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados. Além disso, na NBR

7200 (ABNT, 1998) – Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento, é citado apenas que após o enrijecimento das mestras pode-se aplicar a argamassa com colher de pedreiro ou através de processo mecânico. Porém, em nenhuma normativa brasileira existente até o momento é mencionado o procedimento de mistura, equipamentos, técnicas construtivas e detalhes de execução para aplicação deste material.

### 3.3 SISTEMA DE REVESTIMENTO COM PROJEÇÃO MECÂNICA

O sistema de projeção de argamassas é denominado como 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 aplicação da argamassa no substrato. Esses sistemas são denominados de projeção por via seca e por via úmida (ZANELATTO, 2012).

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 sistema e do silo até os misturadores de argamassa (REGGATIERI e SILVA, 2003). Além disso, também é chamado de via seca, o material que é armazenado em sacos e a mistura ocorre apenas no interior do equipamento, com misturador acoplado, no próprio pavimento, em momento anterior ao bombeamento. Em contrapartida, Zanelatto (2012), afirma que no sistema de projeção via úmida, os materiais (cimento, agregados, água e aditivos) são pré-dosados, misturados à água e introduzidos em um equipamento (denominado bomba de projeção) a partir do qual o material é bombeado hidráulicamente para a pistola.

Paravisi (2008) afirma que em um sistema em que é utilizada a bomba de projeção são necessárias mudanças na etapa de produção de argamassa em relação ao convencional, já que é necessário utilizar uma argamassa que permita o bombeamento e a projeção. A consistência da argamassa é a propriedade no estado fresco que mais influencia no processo de bombeamento (SANTOS, 2003). A consistência das argamassas projetáveis deve ser tal que permita a passagem da argamassa pela bomba e mangote e proporcione aderência ao substrato. A quantidade de água utilizada também é muito importante: o excesso pode causar reflexão e tendência ao escorrimento e a restrição proporciona dificuldade de bombeamento, entupimento da mangueira ou bomba e dificuldades de desempenho (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). É necessário também adequar a energia de lançamento ao comportamento reológico da argamassa para que a mesma não sofra grande reflexão (FERNANDES e JOHN, 2007).

No sistema de projeção mecanizado com bomba de argamassa tipo eixo helicoidal, utilizam-se em geral argamassas industrializadas, constituídas basicamente de aglomerantes, agregado (s) e aditivos, sendo que em situação de obra, a quantidade de água é adicionada para a ocorrência de bombeabilidade (SANTOS, 2003). Conforme Zanelatto (2012), para que as argamassas apresentem consistência adequada para projeção contínua, muitas vezes será necessário recorrer ao uso de aditivos que permitem minimizar os efeitos das características dos agregados, nem sempre adequados para a produção das argamassas para utilização com a projeção mecânica. De acordo com a ASA (*American Shotcrete Association*), as propriedades do concreto (ou argamassa) projetado, tanto via úmida ou seca, podem ser melhoradas através dos seguintes aditivos: sílica (proporciona redução da permeabilidade e aumento da resistência à compressão, à flexão e ao ataque alcalino e produtos químicos), ar incorporado (proporciona melhorias na capacidade de bombeamento e aderência), fibras (propicia controle de fissuras e melhorias na resistência ao impacto) e aceleradores.

O sistema de produção de revestimento à base de argamassa pode ser dividido conforme o processo de produção de argamassa e conforme o processo de produção do revestimento (PARAVISI, 2008).

### 3.3.1 Produção da argamassa

Os processos de produção de argamassa disponíveis no mercado brasileiro utilizam argamassa preparada em obra e argamassa industrializada, as quais podem ser armazenadas em sacos, silos ou preparada em central. De acordo com Paravisi (2008), a aplicação no substrato pode ocorrer manual e mecanicamente, sendo que a projeção mecânica envolve bombas e pistolas de projeção de argamassas e admite a utilização de argamassa preparada em obra, industrializada em saco, industrializada em silos e preparada em central. Porém, segundo a autora, a combinação determina uma organização da produção com dificuldades e benefícios diferenciados, que pode variar ainda conforme as características das empresas e da mão de obra envolvidas.

Quanto ao recebimento do material em obra, os materiais entregues em sacos (cimento, cal e argamassa industrializada) são descarregados manualmente ou, se forem entregues em *pallets*, com o uso de carro porta-*pallets*, empilhadeira ou grua. A argamassa industrializada possui acondicionamento de duas formas distintas: em silos (abastecimento através de mangueiras ligando o caminhão graneleiro ao silo) ou ensacados.

A tecnologia de armazenamento em silo com bombeamento direto para o andar proporciona reabastecimento no ritmo adequado e elimina a necessidade de contar com colaboradores no transporte vertical do material, bem como utilizar equipamentos para esta finalidade. Quanto à

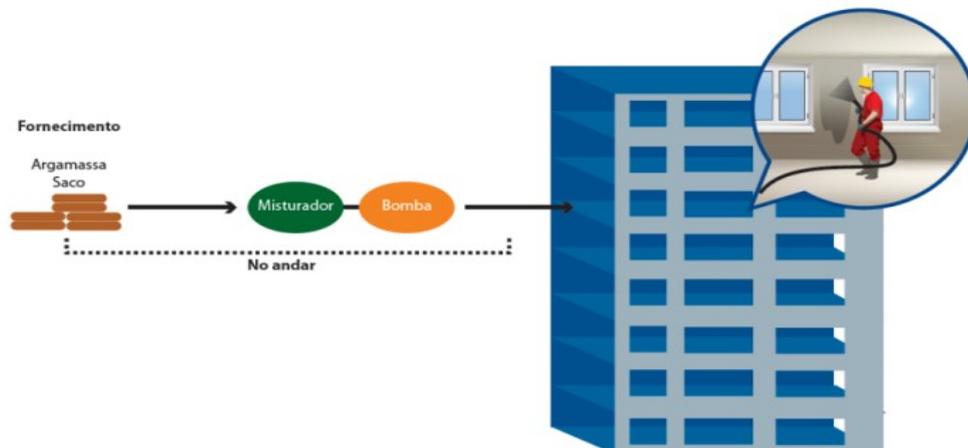
argamassa ensacada, a mesma deve ser transportada, através de elevador cremalheira, carrinho plataforma ou outro transporte até as misturadoras de argamassa em um dispositivo conhecido como “rasga-sacos” (ZANELATTO, 2012).

Para a confecção das argamassas é necessário que as especificações sejam definidas previamente, tais como as especificações dos materiais, traços e procedimentos de mistura, inclusive com indicação dos equipamentos mais adequados para o tipo de argamassa escolhido. É necessário um estudo preliminar dos benefícios pretendidos, os quais podem incluir a racionalização de recursos, por exemplo, através da menor utilização de mão de obra, cumprimento de prazos, viabilidade econômica ou escassez de espaços (COSTA, 2005).

Para a mistura e bombeamento da argamassa de projeção devem ser diferenciados os sistemas de produção:

- a) central misturadora portátil com material ensacado em que o material deve ser transportado até o pavimento em que se encontra o misturador e a bomba. Neste sistema, é necessário transporte vertical através de equipamentos de transporte. Na Figura 2, pode-se visualizar um esquema representativo desse sistema de produção;

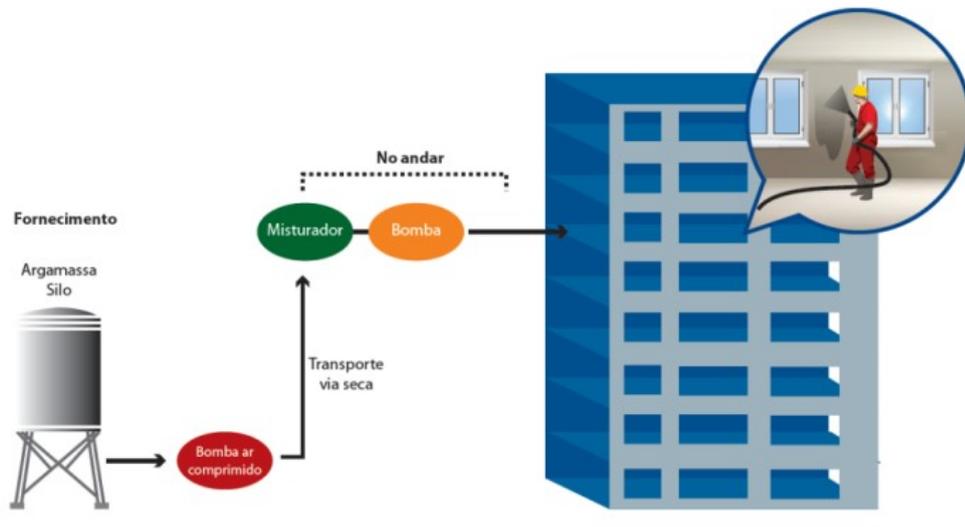
Figura 2: sistema com central misturadora portátil com material ensacado



(fonte: NAKAKURA e VIEIRA, 2015)

- b) central misturadora portátil com abastecimento por bombeamento via seca em que o esquema representativo deste sistema pode ser visualizado na Figura 3. O material seco, armazenado em silos, é bombeado através de ar comprimido até o pavimento em que se encontra o equipamento (misturador e bomba). Com esse sistema o entupimento do mangote é menos provável e não é utilizado equipamentos de transportes, tais como guinchos, elevadores e guias. Pode-se, em alguns casos, verificar que o armazenamento pode ser com material ensacado também.

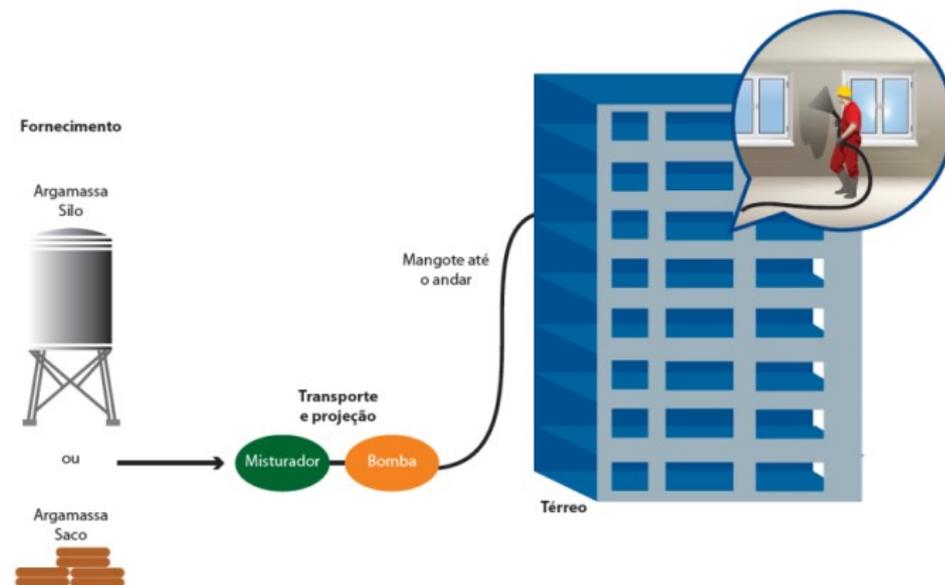
Figura 3: sistema com misturadora portátil com abastecimento por bombeamento via seca



(fonte: NAKAKURA e VIEIRA, 2015)

- c) central misturadora fixa com abastecimento via úmida em que o sistema misturador e bomba devem ficar fixos, fora da projeção da edificação, em local próximo ao silo ou depósito de armazenamento de sacos. Da mesma forma que o abastecimento via seca, não é necessária a utilização de equipamentos de transporte, entretanto a probabilidade de obstrução do mangote é mais elevada. Na Figura 4, pode-se verificar o *layout* e funcionamento deste sistema.

Figura 4: sistema com misturadora fixa com abastecimento via úmida



(fonte: NAKAKURA e VIEIRA, 2015)

A mistura da argamassa industrializada com a água para aplicação com bombas helicoidais é usualmente realizada por misturadores contínuos (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000) que podem ser

acoplados aos silos ou não (ZANELATTO, 2012). Estes misturadoras são indicados para argamassas prontas pré-misturadas a seco que necessitam apenas da adição de água para preparo. Além deste, podem existir os misturadores forçados de eixo horizontal que são indicados para argamassas consistentes e de agregados com massa específica e granulometria diversa, principalmente para argamassas preparadas em obra (SANTOS, 2003).

De acordo com Crescêncio *et al.* (2000), os equipamentos para bombeamento e projeção consistem em três tipos: projetores com recipiente acoplado, bombas de argamassa e bombas de argamassa com misturador acoplado. Os projetores com recipiente acoplado possuem pequenos recipientes onde se deve inserir a argamassa fresca que será projetada e posteriormente acionar o ar comprimido para a projeção, através dos furos (SANTOS, 2003). Os projetores com recipiente acoplado podem ser pistola ou caneca de projeção (PARAVISI, 2008), sendo que através da caneca de projeção, o operário deve mergulhar o recipiente na caixa de massa com argamassa no estado fresco e posicioná-lo paralelamente à parede com aplicação através de movimentos ascendentes com o equipamento, formando faixas verticais (FERNANDES, 2007). Dentre as vantagens de utilização desses projetores pode-se citar: melhoria na produtividade em relação ao método convencional, possibilidade de utilização de argamassa preparada em obra, energia de aplicação constante a fim de garantir uniformidade do revestimento. Quanto às desvantagens: não contribui para a racionalização da obra e é necessária mão de obra especializada (“mangoteiro”) (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

Em bombas de projeção, a argamassa fresca é inserida em câmeras existentes nos equipamentos em que será bombeada através de um mangote e projetada na pistola com auxílio de ar comprimido (SANTOS, 2003). Nesse caso, de acordo com Zanelatto (2012), as bombas de projeção devem ser preferencialmente posicionadas sob o bocal de saída das misturadoras, de forma que após a mistura com a água, seja depositada diretamente sobre a bomba, eliminando possíveis perdas e a etapa de transporte do material. As bombas existentes podem ser tipo helicoidal (com eixo helicoidal que ao girar expõem a argamassa para o interior de um tubo flexível ou mangote) ou tipo pistão. Atualmente, existem diversos fabricantes de bombas helicoidais e, para cada fabricante, diversos modelos com comprimento e diâmetros variáveis, compostos de duas partes: rotor, em aço e localizado na parte interna, e estator, localizado na parte externa. A geometria de ambos não é idêntica e os espaços vazios geram pressão negativa na saída da bomba (CHOLET, 1997), proporcionando a pressão necessária para o bombeamento da argamassa (ZANELATTO, 2012).

A diferença para a utilização da bomba do tipo helicoidal ou pistão é que a bomba helicoidal é recomendada para agregados com dimensão máxima característica de até 3,0 mm e a bomba

tipo pistão é usada quando a dimensão máxima é superior a 3,0 mm (SANTOS, 2003). As características das bombas de argamassa variam segundo a capacidade de bombeamento, distância máxima alcançada (horizontal e vertical) e dimensão máxima do agregado (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

Em relação às bombas de projeção com misturador integrado ao equipamento, podem receber a argamassa seca transportada por mangotes diretamente de silos ou pode-se introduzir os sacos de argamassa pré-misturada no seu receptor (através do rasga-sacos) (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). 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 do fluxo de área variável, o qual permite a regulação da vazão de entrada de água em litros por hora (ZANELATTO, 2012). De acordo com a autora, após a mistura da argamassa com água, ela é imediatamente depositada na entrada da bomba helicoidal, sem haver interferência da mão de obra, desde a produção da argamassa até a projeção sobre o substrato, trazendo como vantagens: a eliminação de etapa de transporte da argamassa fresca, diminuição de perdas e produção da argamassa somente a partir do acionamento da pistola de projeção. No caso de utilização de silos para armazenamento do material, é necessário que exista o acoplamento de filtros sobre o misturador (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). Este acessório é importante a fim de não existir levantamento de pó e evitar a perda dos finos da argamassa (ASANO, 2016) e diminuir a pressão na entrada de argamassa no misturador, uma vez que os filtros permitem a saída de ar, mas não a de argamassa (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

Em relação aos acessórios das bombas de projeção, pode-se citar o compressor de ar, mangote, bicos ejetores e pistola de projeção (ZANELATTO, 2012). Existem pistolas com 25 e 35 mm de diâmetro, retas ou angulares, curtas ou longas, sendo que as retas e curtas são utilizadas em paredes e as angulares e longas para tetos. Os bicos ejetores possuem várias opções de diâmetro, os quais dependem do tamanho máximo do agregado, com recomendação de três vezes maior que este. Vale ressaltar que bicos menores apresentam maiores velocidades de projeção e maior energia de aplicação, podendo gerar maior aderência (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). Em relação aos compressores, pode-se afirmar que existe a possibilidade de associação em série para que o transporte atinja maiores distâncias horizontais e verticais (ASANO, 2016).

Conforme já apresentado, existem diversas associações possíveis para armazenamento, transporte de material, mistura e bombeamento da argamassa. As alternativas de composições possíveis são apresentadas no quadro 3.

Quadro 3: possibilidade de composições dos sistemas em relação à mistura e bombeamento de argamassa

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

(fonte: ZANELATTO, 2012)

A escolha do equipamento exerce grande influência no adequado funcionamento do sistema de projeção. De acordo com Schallom III (2009), para a escolha do equipamento correto é importante observar os seguintes itens:

- a) verificar o tempo de experiência e conhecimento da equipe de vendas e fabricante ou revendedor do sistema de projeção;
- b) pesquisar os equipamentos mais adequados que proporcionem produtividade;
- c) avaliar o atendimento ao cliente, pós-venda, do fabricante ou revendedor;
- d) verificar a disponibilidade de peças de reposição e conhecimento dos vendedores a fim de, no local de instalação, testar as proporções da mistura selecionada;
- e) o fabricante deve oferecer treinamento prático de execução para as equipes;
- f) verificar os acessórios ofertados pelo vendedores (mangueiras, mangotes, bicos de projeção...).

### 3.3.2 Produção do revestimento

Quanto à produção do revestimento, nas etapas iniciais de preparação do substrato não existem diferenças entre a argamassa lançada manualmente e a aplicada com projeção mecânica, seguindo as recomendações da NBR 7200 (ABNT, 1998). De acordo com Paravisi (2008), a base de aplicação do revestimento, quando liberada à produção, pode passar por uma etapa de tratamento, limpeza e uniformização da superfície. A projeção não deve ser aplicada em substratos com temperaturas inferiores a 2°C ou em substratos expostos a ventos fortes ou chuvas fortes (EFNARC, 1999).

Nos casos de aplicação de chapisco projetado, o mesmo deve ser aplicado em camadas finas (recomendada espessura máxima de camada igual a 5mm) e a textura dessa camada deve ser

bem rugosa, sendo recomendada a existência de pequenas falhas, pelas quais seja possível visualizar alguns pontos da base. A produtividade do chapisco projetado é muito alta, o que às vezes, pode inviabilizar a sua utilização (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000). Segundo Paravisi (2008) e Crescêncio *et al.* (2000), a camada de chapisco pode ser aplicada manualmente, com rolos de espuma, ou através de projeção mecânica e, nesse caso, utilizando-se bombas de projeção contínua ou projetores a ar comprimido, com propriedades e características que permitam a bombeabilidade, da mesma forma que a argamassa específica para projeção.

Previamente à projeção, deve ser feita a marcação das referências para espessura a fim de garantir uniformidade e prumo. Essas referências, denominadas de taliscas, são obtidas através de locação dos arames de fachada (BAÍA e SABBATINI, 2000) e são executadas, usualmente, com pedaços de cerâmica ou azulejo e argamassa. O espaçamento das taliscas deverá ser, no máximo, o comprimento da régua de sarrafeamento (CEOTTO, BANDUK e NAKAMURA, 2005). Após, as taliscas são utilizadas para execução de mestras que servem de guia para a execução do revestimento, conforme NBR 7200 (ABNT, 1998).

A partir de observações realizadas em São Paulo/SP, Crescêncio *et al.* (2000) afirmam que a projeção de argamassa deve ser feita na forma de filetes contínuos, formando cordões, de cima para baixo com passes horizontais formando faixas menores de 2,0 m de largura. Quando ocorrer da espessura ser superior a 2 cm devem ser executadas em diversas camadas menores que 2 cm, pois a aplicação de uma única camada pode causar fissuração do revestimento. As camadas intermediárias não precisam ser sarrafeadas devido ao fato de que essas servirão de base, com rugosidade, para outras camadas (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000).

A argamassa reforçada com tela metálica é apoiada pela NBR 7200 (ABNT, 1998) a qual indica o uso de tela, com materiais distintos, na junção da base sempre que o revestimento for composto de materiais diferentes e submetida a esforços que gerem deformações diferenciais. A NBR 13755 (ABNT, 1997) indica o uso de tela metálica soldada, inserida na camada de argamassa de regularização ou emboço, e ancorada na estrutura-suporte, sempre que a espessura necessária, a partir do chapisco até o tardo da placa cerâmica, for superior a 25 mm.

Conforme Maidl (1995), durante a aplicação, é recomendado que o jato de argamassa fresca seja de forma mais perpendicular possível, formando um ângulo de 90° com o substrato. Após a projeção, é realizada a etapa de alisamento, a qual é realizada com régua metálica de perfil “H” ou trapezoidal, com o objetivo de proporcionar um maior contato entre a argamassa fresca e o substrato. De forma similar, no revestimento tradicional, realizado manualmente, esta etapa substituiria o “aperto” da argamassa com colher de pedreiro (SANTOS, 2003). Diferentemente do sarrafeamento tradicional, na qual ocorre corte de argamassa, a operação de alisamento

apenas comprime e espalha a argamassa no estafo fresco. Caso haja excesso de material depositado na régua, a mesma deve ser imediatamente reaplicado em outro ponto com argamassa faltante (ZANELATTO, 2012).

Após a aplicação de uma quantidade de argamassa adequada, associada à etapa de alisamento, é possível eliminar o corte do excesso de argamassa por sarrafeamento. Porém, para obter a planicidade adequada para a etapa do desempenho pode ser necessária uma etapa de raspagem, que deve ser realizada com a camada de argamassa mais seca em relação à quando é sarrafeada, ou seja, sem o efeito de corte (ZANELATTO, 2012). Por fim, deve ser realizado o desempenho, da mesma forma que o revestimento executado tradicionalmente com colher de pedreiro. Esta etapa, de acordo com Sabbatini (1990) permite a compactação da camada de argamassa e reduz o volume de vazios, com consequente acabamento final mais homogêneo e uniforme.

Entretanto, não existe um procedimento ou norma padrão para a execução específica da projeção. Geralmente, nas fichas técnicas das argamassas industrializadas ensacadas não existem recomendações para a aplicação, exceto, superficialmente, quanto à espessura, preparação da base, cura do revestimento e tempo de utilização.

As atividades da construção civil são marcadas por um elevado grau de incerteza e complexidade (BALLARD e HOWELL, 1997). Nesta indústria, as fontes que contribuem para o aumento da incerteza são diversas, tais como: baixo grau de conclusão do projeto devido a problemas técnicos ou de inconsistências nas soluções adotadas pelo mesmo, mudanças nas especificações de projeto durante a fase de construção, variabilidade decorrente da provisão de materiais e mão de obra pelos fornecedores, problemas com trabalhos em ambientes desprotegidos sujeitos a intempéries (MELLES e WAMELINK, 1993), entre outras. Além disso, as operações manuais, também são responsáveis por grande parte da variabilidade que ocorre nos sistemas produtivos (ANTUNES JUNIOR, 1998), e ainda são amplamente encontradas na construção civil, contribuindo para aumentar a incerteza na produção (ALVES, 2000).

Bonin, Cincotto e Carneiro (1997) retratam o fato de que apesar das técnicas de produção dos revestimentos serem consideradas dominadas, as observações em canteiros de obras mostram que existem técnicas de difícil compreensão. Os autores ressaltam que a confiança no empirismo dos executores do sistema de revestimento se mostra insustentável, visto que se convive com a crescente disponibilidade de novos materiais aliados à base empírica de conhecimento.

Neste item, serão mencionados alguns dos fatores relacionados a algumas condições variáveis existentes em canteiros de obras que utilizam argamassa de projeção e podem influenciar o

desempenho do revestimento, tais como: teor de água da argamassa, procedimento de mistura, altura de aplicação no substrato, distância e ângulo de projeção.

Em relação ao teor de água da argamassa, conforme já mencionado, a entrada de água é, geralmente controlada através do rotâmetro, o que permite que as argamassas sejam preparadas conforme a necessidade de utilização. Paravisi (2008) explica que a capacidade de bombeamento da 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. Isto é, a carência de água contribui para a obtenção de argamassas tão consistentes que não são projetáveis. Com o aumento no teor de água, existe uma diminuição da viscosidade da mistura e, portanto, as argamassas se tornam mais fluidas, facilitando o bombeamento e a projeção (PARAVISI, 2008; SANTOS e BAUER, 2003).

Costa *et al.* (2010) identificaram que o aumento no teor de água das argamassas estudadas proporcionou aumento de 29% na resistência de aderência, não obstante o aumento da relação água/cimento. O acréscimo de água, até certo limite, melhorou a reologia da argamassa e proporcionou maior extensão de aderência. Apesar disso, o teor de água das argamassas específicas para projeção deve ser criteriosamente estudado, visto que o excesso pode resultar em excessiva reflexão e deslocamento após projeção em decorrência da redução da tensão limite de escoamento do material (CRESCÊNCIO *et al.*, 2000; SANTOS, 2003). Em decorrência do decréscimo de tensão de escoamento, tem-se redução de consistência com a adição de água (SANTOS e BAUER, 2003). Considerando-se os valores de tensão de escoamento com mesma ordem de grandeza, Santos e Bauer (2003) constataram em pesquisa experimental que os teores de água foram bem distintos, provavelmente devido às diferenças de características granulométricas e forma dos grãos dos agregados constituintes das diferentes argamassas ensaiadas e da formulação das mesmas.

Ainda relacionado ao processo de preparo do material, a mistura, apesar da aparente simplicidade operacional é uma etapa fundamental do processamento. A mistura de um sistema particulado descontínuo com um fluido visa transformá-los em um sistema homogêneo e contínuo. Este processo exerce influência nas propriedades no estado fresco e também contribui para o desenvolvimento microestrutural do revestimento. Na produção de argamassa, os materiais empregados são submetidos a uma ampla faixa de eficiência de mistura, pois certamente cada equipamento fornece níveis de energia bastante distintos. Considerando-se os misturadores mecânicos amplamente utilizados, pode-se dizer que a energia de mistura é influenciada por características da composição como: concentração de sólidos e distribuição granulométrica. E também por variáveis do processo como: tipo de misturador, velocidade de

rotação, tempo de mistura, seqüência de adição dos materiais e forma de adição de água (CARDOSO *et al.*, 2007). Antunes, John e Pileggi (2005) relatam que as propriedades das argamassas para os revestimentos estão diretamente relacionadas à sua forma de mistura, ou seja, à seqüência de mistura e à ordem em que cada material é adicionado. O procedimento de mistura também irá impactar no desempenho no estado endurecido das argamassas, visto que através de um método de mistura adequado, o resultado é o melhor empacotamento e o aumento da resistência mecânica do material (PARK *et al.*, 2006).

A altura do substrato a ser revestido também pode ser considerada uma variável existente em obras, entretanto é intrínseca ao processo. Carasek *et al.* (2007) avaliaram a influência da altura através do ensaio de resistência superficial, ainda não normalizado no Brasil, e constaram o efeito significativo da ergonomia do executor do revestimento. Os autores observaram que as variações com relação à altura, são explicadas também, e principalmente, pela maior energia de aplicação da argamassa (ao chapar), bem como pela maior pressão ao sarrafejar e desempenar o revestimento, consequência da posição mais adequada para a realização do trabalho pelo pedreiro.

Gonçalves (2004) mostra em sua pesquisa a concentração de valores médios de aderência mais altos na altura média da parede, entre 1,0 e 1,5 m, região onde o oficial-pedreiro apresenta maior facilidade ergonômica para promover um lançamento adequado ao bom espalhamento da argamassa. Comparando-se a execução manual com a utilização de projeção mecânica, Silva, Mota e Barbosa (2013), através dos resultados obtidos evidenciaram que a mecanização reduz a influência da habilidade do operário no desempenho do revestimento, em comparação com o lançamento manual, o que pode ser verificado a partir dos maiores níveis de resistência de aderência à tração e dos menores valores de dispersão nas amostras ensaiadas. De acordo com os autores, a ergonomia apresentou influência nos resultados obtidos em ensaios de aderência, sendo observadas diferenças entre os valores obtidos com a aplicação na região central e nos extremos, em função tanto da maior facilidade de lançamento pelos operários quanto da própria angulação da argamassa no seu contato com a parede.

Fernandes (2012), em trabalho que avalia o desempenho de revestimentos com aplicação mecanizada, constatou maiores valores médios de resistência de aderência nos corpos de prova à uma altura de 0,7 metros quando comparados aos valores de extrações posicionadas a 1,4 metros e 2,1 metros. Acrescenta-se a isso, que no ensaio de permeabilidade, foram encontradas menores taxas de absorção nas alturas inferiores. Silva, Mota e Barbosa (2013) compararam resultados de resistência de aderência à tração em revestimento manual e

projetado, sendo constatado valores mais elevados na aplicação mecanizada, mais especificamente na altura inferior e média, bem como redução do coeficiente de variação.

Em relação ao bombeamento e execução do revestimento, a 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). As variáveis citadas, ângulo e distância de projeção estão ligadas à facilidade ergonômica do aplicador.

Crescêncio *et al.* (2000) constataram que quanto menor for o ângulo de projeção e distância da pistola à parede, mais preciso será o jato, permitindo a projeção em forma de filetes (cordões). Além disso, Santos (2003) evidencia que quanto menor a distância de projeção do bico ejetor em relação à parede, maior a energia de impacto.

Por fim, ressalta-se que a aderência ao substrato, é resultado da adequada combinação entre o comportamento reológico da mistura e a energia cinética com que a mesma é lançada contra uma base com características conhecidas, eliminando os vazios na interface com o substrato, conforme mostrado por Antunes (2005). De acordo com a autora, a energia de lançamento é dissipada na deformação plástica (espalhamento) da argamassa sobre a base, levando à eliminação dos defeitos de interface (ar preso entre camadas) e aumentando a extensão de aderência (CARASEK, 1996). Pode-se afirmar que a argamassa aplicada com projeção mecânica apresenta maior compactação e consequente maior densidade do que a argamassa aplicada manualmente (FERNANDES, 2007).

A partir do conhecimento adquirido na revisão da literatura, é possível inferir que são diversos os fatores que exercem influência nas propriedades da argamassa e comportamento do revestimento. Verificam-se estudos voltados ao comparativo, sob o ponto de vista tecnológico, entre revestimento manual e a projeção. Entretanto, existem poucos estudos relacionados ao estudo da argamassa industrializada e distintos sistemas de projeção, com ênfase no estudo de condições variáveis que podem influenciar no desempenho do revestimento. Soma-se a isso, a inexistência de normativas que orientam o preparo e a execução a fim de reduzir a variabilidade intrínseca de canteiros de obra. Desta forma, no próximo capítulo, será apresentado o programa experimental, buscando suprir a lacuna observada.

## 4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A revisão de literatura, apresentada nos capítulos 2 e 3, evidenciou a falta de padronização para os processos de produção da argamassa e execução do revestimento, aliados a incerteza e variabilidade presentes na indústria da construção civil. Além disso, pode-se perceber que assuntos relacionados a essa variabilidade nos processos em canteiros de obra, principalmente em relação a novas tecnologias, são pouco explorado no meio acadêmico. Em face disto, inicia-se este capítulo contextualizando o ambiente da pesquisa, juntamente ao fluxograma esquemático que resume as etapas. Posteriormente, é apresentada a escolha inicial das variáveis controladas, os estudos preliminares e por fim, o planejamento experimental desta dissertação.

### 4.1 AMBIENTE DA PESQUISA

A pesquisa experimental foi estruturada buscando contribuir de forma a avançar para o entendimento da influência de variáveis que deveriam ter maior controle em canteiro de obras, porém a fiscalização e inspeção são, em grande parte das vezes, inexistentes. Além disso, também foram estudadas variáveis que são intrínsecas ao processo, porém existe desconhecimento se as mesmas apresentam influência no desempenho.

Para melhor entendimento do planejamento experimental deste trabalho, foi elaborado um fluxograma das etapas desta pesquisa, apresentado na Figura 5. Inicialmente, foi procedido um estudo preliminar em que foram realizadas algumas verificações a fim de ratificar a escolha das variáveis pré-selecionadas e também aprimorar o planejamento inicial desta pesquisa. A partir desse conhecimento prévio, foi possível a observação de obstáculos e entraves que culminaram no planejamento experimental, o qual compreende as etapas 1 (em campo e laboratório) e etapa 2 (em laboratório).

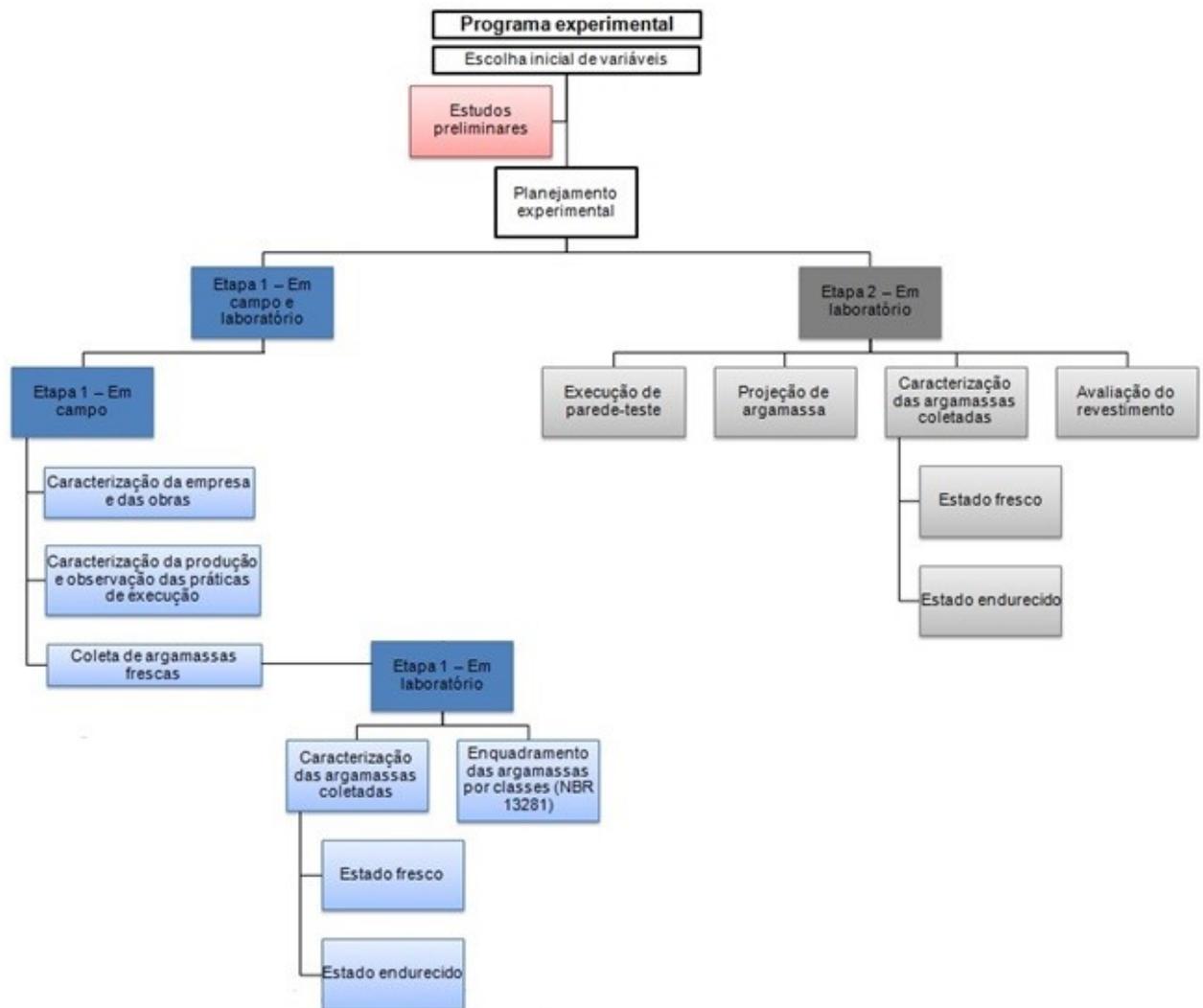
A fim de atingir os objetivos propostos, na etapa 1, em obra, foi realizada, preliminarmente, a observação, através de visitas técnicas, durante o processo de execução do revestimento. Posteriormente, ainda na etapa 1, em laboratório, houve a caracterização, frente às

propriedades no estado fresco e endurecido, de argamassas produzidas em obra, coletadas e transportada ao ambiente em laboratório, a fim de verificar a influência de uso de diferentes vazões de entrada de água e sistemas de projeção empregados.

Na etapa 2, o objetivo foi avaliar o comportamento do revestimento, através dos ensaios de resistência de aderência à tração e permeabilidade, através do método do cachimbo, com os fatores controláveis vazão de entrada de água, altura do substrato e sentido de aplicação da argamassa.

Ao longo deste capítulo, cada etapa será detalhada.

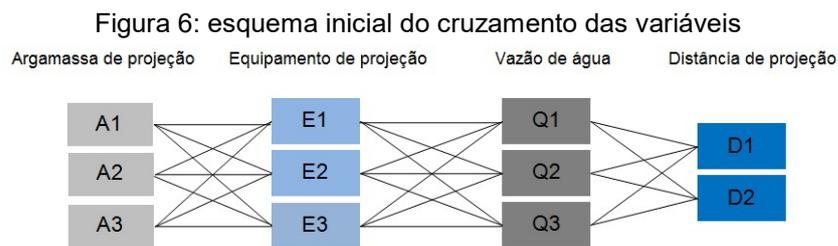
Figura 5: fluxograma das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

## 4.2 ESCOLHA INICIAL DAS VARIÁVEIS

A partir de breve revisão bibliográfica foram pré-selecionadas, para posterior análise, algumas variáveis independentes (ou controladas), sendo elas: fabricantes de argamassa de projeção (A1, A2 e A3), equipamentos de projeção (E1, E2 e E3), vazões de água (Q1, Q2 e Q3) e distâncias de projeção (D1 e D2). Cruzando-se estas variáveis, conforme demonstrado na Figura 6, tem-se um total de 54 combinações que possuiriam ao menos uma repetição, totalizando 108 variáveis.



(fonte: elaborado pela autora)

Com o objetivo de reduzir a matriz experimental, bem como ratificar e quantificar as variáveis, foi necessário realizar alguns estudos preliminares, também chamados de estudos pilotos, os quais serão descritos a seguir.

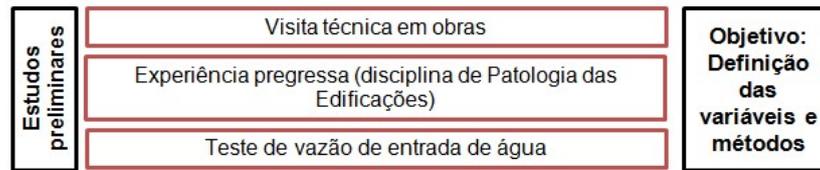
## 4.3 ESTUDOS PRELIMINARES

Por definição, o estudo piloto é um teste, em pequena escala, dos procedimentos, materiais e métodos propostos para determinada pesquisa (MACKEY e GASS, 2005). Ou seja, é uma versão reduzida do estudo completo, que envolve a realização dos procedimentos previstos na metodologia de modo a possibilitar alteração e/ou aprimoramento dos instrumentos na fase que antecede a investigação em si (BAILER, TOMITCH e D'ELY, 2011).

De acordo com Canhota (2008) e Mackey e Gass (2005), a importância de conduzir um estudo piloto está na possibilidade de testar, avaliar, revisar e aprimorar os instrumentos e procedimentos de pesquisa a fim de verificar problemas em potencial a serem resolvidos antes do início da pesquisa.

Os estudos preliminares realizados com o objetivo de contribuir com o desenvolvimento e delineamento da pesquisa envolveram três estudos distintos, os quais estão esquematizados, juntamente com o objetivo de cada um, na Figura 7.

Figura 7: estudos preliminares do programa experimental



(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.3.1 Visita técnica em obras

Foram realizadas visitas técnicas para conhecimento da tecnologia, em três canteiros de obras diferentes localizadas em Porto Alegre/RS e Região Metropolitana (Canoas/RS e Alvorada/RS). Nestas, pode-se verificar que em equipamentos comumente utilizados, a única regulagem realizada é a vazão de entrada de água, em L/h (litros por hora), no rotâmetro (Figura 8), com ajuste realizado, por servente geralmente alocado para esta dosagem, limpeza e abastecimento do equipamento. Possíveis alterações na vazão ocorrem, empiricamente, de acordo com a solicitação da mão de obra executora, através de verificação visual da argamassa fresca bombeada, a qual deve apresentar trabalhabilidade e adesão inicial.

Figura 8: rotâmetros que indicam a regulagem da vazão de entrada de água, em L/h



(fonte: fotos da autora)

Pode-se afirmar através das visitas técnicas que, conforme planejado na “escolha inicial das variáveis”, descrito no item 4.2, seria inviável o estudo de três fabricantes de argamassa diferentes (A1, A2 e A3) em três equipamentos diferentes (E1, E2 e E3), com a mesma vazão de água (Q1, Q2 e Q3). Isso ocorre devido ao fato de que, através desta averiguação, foi possível constatar que para um mesmo equipamento, a vazão ajustada pode ser modificada algumas vezes ao longo de um dia de trabalho. Além disso, equipamentos diferentes, em uma mesma obra com a mesma argamassa, geralmente são ajustados com vazões distintas, o que resulta, possivelmente, em variabilidade nas propriedades e comportamento do revestimento na totalidade da edificação.

Pode-se inferir também que a distância, do bico projetor até a parede, nestas obras, não é uma das variáveis mais significativas, visto que as distâncias médias averiguadas apresentam pouca variação, entre 3 cm a 8 cm. Esta constatação difere da feita por Crêscencio *et al.* (2000), a partir de levantamento de dados em canteiros de obra em São Paulo e Paraná, que observou distâncias de projeção com variação entre 10 a 30 cm. Além disso, Zanelatto (2012) selecionou a distância de projeção como variável controlada, em valores de 15 e 50 cm, em relação ao substrato, para aplicação em painéis-testes. Entretanto, durante a avaliação experimental em laboratório, foi eliminada a distância de 50 cm, devido ao fato de que esta distância proporcionou um aspecto uniforme, com espalhamento disperso, da argamassa aplicada, sem a formação de cordões. Através destas constatações, tomou-se a decisão de não adotar a distância de projeção como variável controlada desta pesquisa.

#### 4.3.2 Experiência pregressa (disciplina de Patologia das Edificações)

Na disciplina de Patologia das Edificações, ministrada pela Prof. Angela Masuero, foi proposto aos grupos de alunos matriculados a realização da avaliação do comportamento de um revestimento projetado mecanicamente, considerando como variáveis controladas o sentido de aplicação da projeção (em cordões, no sentido horizontal, de baixo para cima e de cima para baixo) e a regulagem da pressão do bico projetor (regulagem mínima e intermediária), variando o substrato.

Na Figura 9, podem-se visualizar as paredes executadas, pós-projeção, e armazenadas em laboratório, para realização da avaliação aos 28 dias de idade.

Figura 9: aspecto visual das paredes teste pós-projeção



(fonte: foto da autora)

A metodologia adotada no trabalho consistiu na realização da caracterização do substrato, blocos cerâmicos e blocos de concreto e avaliações de comportamento do revestimento, tais como: verificação visual no estado fresco, ensaios de resistência de aderência à tração, índice de fissuração, entre outros.

A partir deste breve estudo, foram possíveis algumas constatações de equívocos cometidos que podem afetar a variabilidade e confiabilidade dos resultados. Entre eles, podem citar:

- a) não houve a realização de controle de uniformidade de espessura dos revestimentos, o que certamente pode ter interferido nos resultados;
- b) a vazão de água ajustada no equipamento não foi verificada pelos grupos de discentes. Pode ter ocorrido alteração de vazão ao longo da execução das projeções;
- c) o porte do equipamento de projeção não foi compatível à reduzida dimensão das paredes executadas para teste, pois ocorreu perda excessiva de argamassa fresca, devida a dificuldade no ajuste do equipamento a cada parada realizada e não houve representatividade do tamanho real de uma parede;
- d) falta de orientação à mão de obra executora da necessidade de padronização no ângulo, distância de projeção e constância no sentido de aplicação. Estas ocorrências não são compatíveis com a necessidade em estudos experimentais acadêmicos em que o foco principal é reduzir a variabilidade.

Através deste estudo e observações, foi possível evitar que erros semelhantes não fossem replicados no planejamento experimental da dissertação de mestrado em questão. Isto é, devem existir guias e mestras para controle da espessura do revestimento, verificação da quantidade de água adicionada, maiores dimensões de área a ser testada/avaliada e orientação somada à experiência da mão de obra executora.

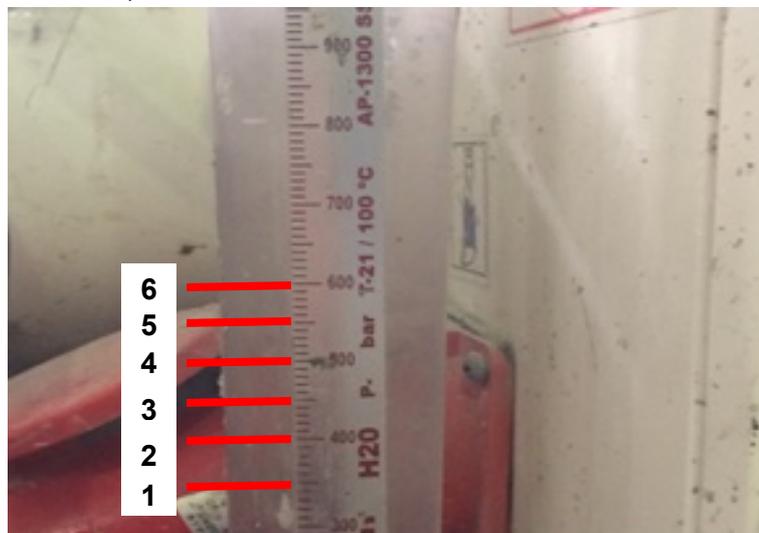
#### 4.3.3 Teste de vazão de entrada de água

Fernandes *et al.* (2007), ao avaliar as argamassas para aplicação com 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). No entanto, 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 de argamassa através da mangueira e bico projetor sem a existência de segregação quando em repouso ou entupimento do rotor, estator ou mangueira.

O objetivo deste teste foi verificar a vazão de água adequada a ser utilizada para a “Etapa 2 – em laboratório”. Para o teste, em laboratório, foram empilhadas duas fiadas de blocos de concreto sem argamassa de assentamento entre eles, totalizando quatro blocos por teste. O substrato em teste é o mesmo que foi utilizado para a execução da parede, em laboratório, cuja caracterização será apresentada posteriormente.

A avaliação foi realizada mediante o ajuste de diferentes vazões no rotâmetro do equipamento 4 (E4), já utilizado no item 4.3.2 e foi utilizado novamente em etapa posterior, “Etapa 2 – Em laboratório”, desta dissertação. Apesar do acessório da máquina permitir a regulação teórica a cada 10 L/h, as tentativas de ajuste durante a execução foi de 50 L/h, de acordo com a Figura 10. Na ocasião, optou-se por realizar esta variação devido ao fato de que para o teste de apenas uma regulação, eram utilizados cerca de 8 sacos de 25 kg, totalizando 200 kg de material. O desperdício excessivo de material inviabilizou incrementos menores de inserção de água.

Figura 10: detalhe da precisão de leitura do rotâmetro do equipamento utilizado em laboratório mostrando os ajustes de vazão (1: 350 L/h; 2: 400 L/h; 3: 450 L/h; 4: 500 L/h; 5: 550 L/h; 6: 600 L/h)

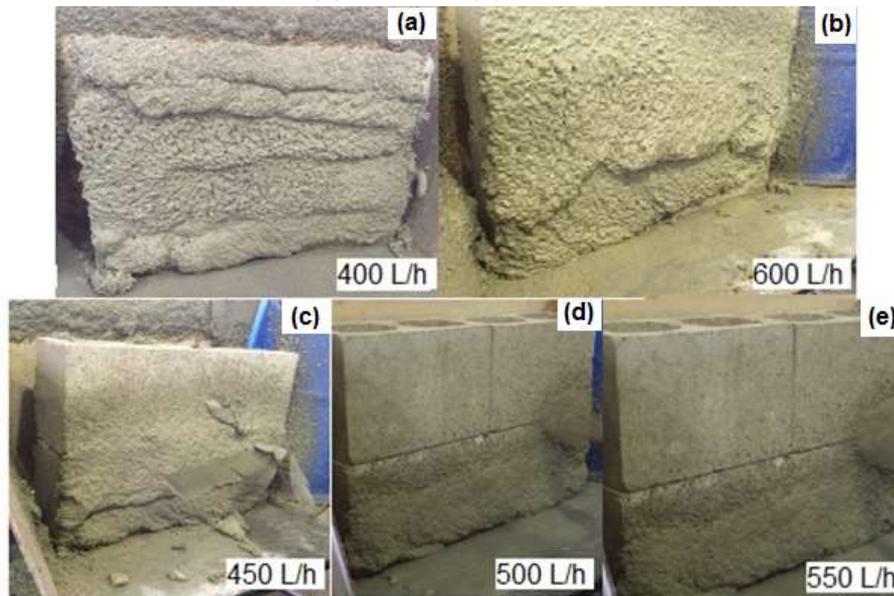


(fonte: foto da autora)

O ajuste inicial estabelecido para o teste foi de 350 a 600 L/h, sendo que no primeiro houve entupimento da mangueira e não foi possível a realização da projeção. Na Figura 11, pode ser visualizado o aspecto visual das vazões de entrada de água distintas. Na linha superior foram as vazões extremas testadas, 400L/h (Figura 11 (a)) e 600 L/h (Figura 11 (b)). Pode-se notar que os cordões ficaram excessivamente demarcados com a menor utilização de água, com dificuldade de trabalhabilidade para a realização das etapas posteriores de acabamento. Em relação ao limite superior (600 L/h), pode-se verificar que, a partir desta vazão, não é possível a realização de cordões, em decorrência de um aspecto da argamassa demasiadamente fluido, com ocorrência de falhas na adesão inicial.

Através deste estudo preliminar, mesmo que visualmente, foi possível verificar que as vazões ideais que permitem a bombeabilidade e trabalhabilidade da argamassa são a de 450 L/h (Figura 11 (c)), 500 L/h (Figura 11 (d)) e 550 L/h (Figura 11 (e)), apresentadas na Figura 11.

Figura 11: aspecto visual com vazões diferentes de entrada de água. (a) 400 L/h, (b) 600 L/h, (c) 450 L/h, (d) 500 L/h e (e) 550 L/h



(fonte: fotos da autora)

Nesta breve avaliação preliminar foram feitas algumas constatações, entre elas: painéis com dimensões reduzidas e não representativas ao tamanho de uma parede real e o operador (sem experiência em projeção de argamassas) com dificuldades em realizar o revestimento teste. Por fim, constatou-se que, a regulagem de vazão, a cada 50 L/h, exigia que se projetasse argamassa em baldes auxiliares durante um período de tempo, determinado apenas por análise visual, para que a argamassa adquirisse a consistência da modificação de vazão. Este fato gerou perdas de argamassa excessivas, conforme pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12: perda excessiva de argamassa ocorrida no teste de vazão



(fonte: foto da autora)

Todavia, como esse teste foi realizado no mês de julho, mês com ocorrência de temperaturas baixas em Porto Alegre/RS, foi necessária alteração para vazões superiores ao teste para a

execução da parede utilizada na “Etapa 2 – Em laboratório” desta dissertação. Isso se deve ao fato de que a projeção foi realizada no verão, nos meses de novembro e dezembro, com temperaturas mais elevadas. No mesmo dia da aplicação das argamassas, em momento anterior a execução, foram testadas as novas vazões a serem adotadas na pesquisa.

A partir disso, confirmaram-se a necessidade de maiores dimensões de painéis a serem testados, bem como operadores, de empresa terceirizada, com experiência na projeção de argamassas para o desenvolvimento da pesquisa.

#### 4.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento é de grande importância para o bom andamento do experimento, já que nesta etapa são definidas as variáveis de resposta e os fatores controláveis presentes no estudo. Os fatores controláveis, ou variáveis independentes, são aqueles parâmetros do processo que foram eleitos a serem estudados em vários níveis de um experimento, enquanto os fatores constantes são aqueles que não foram escolhidos como prioritários na pesquisa e, portanto, são mantidos constantes durante o experimento. Ainda há os fatores não controláveis, também conhecidos como fatores de ruído, estes não podem ser controlados e são responsáveis pela variabilidade do experimento (RIBEIRO e TEN CATEN, 2003).

A partir dos resultados do estudo preliminar foi possível retificar e definir a escolha de materiais, variáveis controláveis e metodologia empregada no estudo a fim de elaborar o programa experimental com os ensaios que auxiliarão para melhor alcance dos objetivos deste trabalho. Segundo Ribeiro e Ten Caten (2000), um planejamento experimental permite maior eficiência em termos de informação do que qualquer outra sequência de ensaios não estruturada. O conjunto destas informações compreende o programa experimental do presente trabalho, o qual está dividido em duas etapas, em campo e em laboratório que serão detalhadas nos itens que seguem. Serão detalhados os procedimentos utilizados na execução do programa experimental, além dos materiais utilizados e ensaios realizados.

##### 4.4.1 Etapa 1 - Em campo

Na primeira etapa desta pesquisa, buscou-se o conhecimento e caracterização de obras que utilizavam o sistema de projeção de revestimentos de argamassa, bem como do sistema de produção e observação das práticas executivas adotadas em canteiros de obra. Além disso, foram realizadas coletas de argamassa fresca em equipamentos disponíveis nas edificações estudadas. A seguir, será detalhada cada uma das atividades.

#### 4.4.1.1 Caracterização das obras

As edificações estudadas estavam sendo executadas por empresas da construção civil em Porto Alegre/RS ou Região Metropolitana. É importante salientar que a argamassa do fabricante 1 (A1) apresenta duas composições diferentes em decorrência da forma de armazenamento: ensacado, como na obra 1 (O1) e a granel, em silos estacionários, como foi verificado na obra 2 (O2). A argamassa do fabricante 2 (A2), armazenada em sacos, foi estudada na obra 3 (O3).

O critério para escolha das obras objetos de estudo foi a ocorrência de serviço de revestimento de argamassa com projeção durante o período da pesquisa e a proximidade com o Laboratório (LAMTAC/NORIE/UFRGS) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) devidas às coletas realizadas de argamassa fresca para caracterização no estado fresco e endurecido neste laboratório.

Nesta etapa, foram feitas no mínimo três visitas técnicas por obra para observação, coleta de dados e entrevista com responsáveis pelo empreendimento, a fim de caracterizar a empresa, edificação e também obtenção do memorial descritivo.

#### 4.4.1.2 Caracterização da produção e observação das práticas executivas

Para esta etapa, foi realizada em cada obra estudada, uma observação direta e anotações de campo da caracterização da produção (central de produção, equipamentos de projeção, transporte do material, constituição de camadas, entre outras) e observações das práticas executivas, principalmente em relação a aplicação do revestimento interno. O objetivo destas observações foi o conhecimento do sistema utilizado, bem como a constatação e confirmação de variáveis que podem influenciar no processo. Além disso, o processo estudado foi documentado através de registro fotográfico.

#### 4.4.1.3 Coleta e transporte de argamassas frescas

Após os estudos anteriores, foram realizadas coletas de argamassa fresca, diretamente do bico projetor do mangote, conforme Figura 13, produzidas em todos os equipamentos disponíveis e em funcionamento nas edificações estudadas (O1 e O3). Entretanto, as análises da “Etapa 1 – Em laboratório” limitaram-se ao estudo da argamassa ensacada (A1 e A2), não sendo realizada coleta de argamassa fresca na obra 2 (O2), devido ao fato de que havia somente um equipamento em funcionamento e não seria possível realizar comparativos dos resultados encontrados.

As coletas foram realizadas, sempre da mesma forma, em um recipiente com volume de 18 litros e o recolhimento foi realizado durante o andamento dos serviços, ou seja, os

equipamentos já estavam ajustados para a vazão demarcada no rotômetro. Para o transporte, o recipiente foi lacrado com tampa, a fim de minimizar a perda de água utilizada na mistura.

Figura 13: coleta de argamassa fresca diretamente do bico projetor do equipamento para ensaios de caracterização em laboratório



(fonte: foto da autora)

Na Tabela 3, são citadas as distâncias e tempo médio de deslocamento do local de coleta (obra) até o LAMTAC/NORIE/UFRGS, onde foram realizados os ensaios de caracterização destas argamassas.

Tabela 3: distâncias e tempos médios de deslocamento sem trânsito entre as obras estudadas e LAMTAC/NORIE/UFRGS

Denominação da obra	Distância (km)	Tempo médio de deslocamento sem trânsito (min)
O1	12	25
O3	11	21

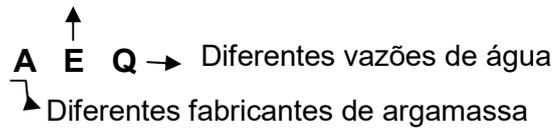
(fonte: elaborado pela autora)

Os horários escolhidos para coleta e transporte foram, geralmente, com trânsito menos intenso, aproximadamente entre 9 e 10 horas da manhã.

As informações de denominação, vazão do equipamento e datas dos ensaios no estado fresco e endurecido, podem ser visualizadas no quadro 4. Pode-se afirmar que, em relação à nomenclatura, A (A1 e A2) relacionam-se aos diferentes fabricantes de argamassa, E (E1, E2 e E3) referem-se aos diferentes equipamentos (e/ou também sistemas distintos) e Q (400, 450 e

750 L/h) representam as regulagens de vazão de entrada de água, isto é, a quantidade de água adicionada. A nomenclatura a ser utilizada foi esquematizada da seguinte forma:

Diferentes equipamentos e/ou sistemas



As argamassas denominadas LabA1 e LabA2 não foram coletadas em obra. Tratam-se de argamassa referência, respectivamente do fabricante A1 e do fabricante A2, as quais foram produzidas em argamassadeira no LAMTAC/NORIE/UFRGS com a dosagem informada pelo fabricante.

Quadro 4: denominação das amostras, vazão de água de cada equipamento, data de coleta e de ensaio aos 28 dias

Nomenclatura	Vazão (L/h)	Data da coleta	Data do ensaio aos 28 dias
A1E1Q450	450	07/06/2016	05/07/2016
A1E2Q450	450	21/06/2016	19/07/2016
LabA1	Referência	12/07/2016	09/08/2016
A2E3Q400	400	24/06/2016	22/07/2016
A2E3Q450	450	06/07/2016	03/08/2016
A2E3Q750	750	23/06/2016	21/07/2016
LabA2	Referência	12/07/2016	09/08/2016

(fonte: elaborado pela autora)

#### 4.4.2 Etapa 1 – Em laboratório

A “Etapa 1 – Em laboratório” corresponde aos ensaios de caracterizações no estado fresco e endurecido das argamassas coletadas de obra a fim de verificar a influência de sistemas de projeção distintos, a partir da obra 1 (O1) com argamassa do fabricante 1 (A1) e de diferentes vazões de entrada de água, a partir da obra 3 (O3) com argamassa do fabricante 2 (A2).

Antes do início dos ensaios foi realizada, em laboratório, a homogeneização da argamassa fresca trazida de obra, manualmente por 30 segundos, com o auxílio de haste metálica. Durante a realização dos ensaios no estado fresco, o recipiente foi mantido com tampa, a fim de não perder água para o ambiente. Pode-se verificar em laboratório, conforme apresentado através da Figura 14, o aspecto de diferentes argamassas coletadas, visualmente com reologias distintas. Na Figura 14 (a), pode ser verificado o aspecto visual da A2E3Q750, com 750 L/h, e na Figura 14 (b), a argamassa denominada de A2E3Q400, com 400 L/h.

Figura 14: aspecto visual de diferentes argamassas coletadas, após o transporte. (a) A2E3Q750 e (b) A2E3Q400



(fonte: fotos da autora)

Com o objetivo de padronizar a avaliação e minimizar a existência de ruído experimental, a totalidade dos ensaios de caracterização foi iniciada no tempo de 50 minutos, a partir do momento do início da coleta em obra. Esse intervalo de tempo arbitrado foi escolhido devido à imprevisibilidade do trânsito existente na cidade de Porto Alegre/RS.

#### 4.4.2.1 Escolha das variáveis utilizadas

Após embasamento teórico a respeito do assunto, foram definidas as variáveis do projeto experimental desta etapa. As variáveis de resposta (dependentes) avaliadas são:

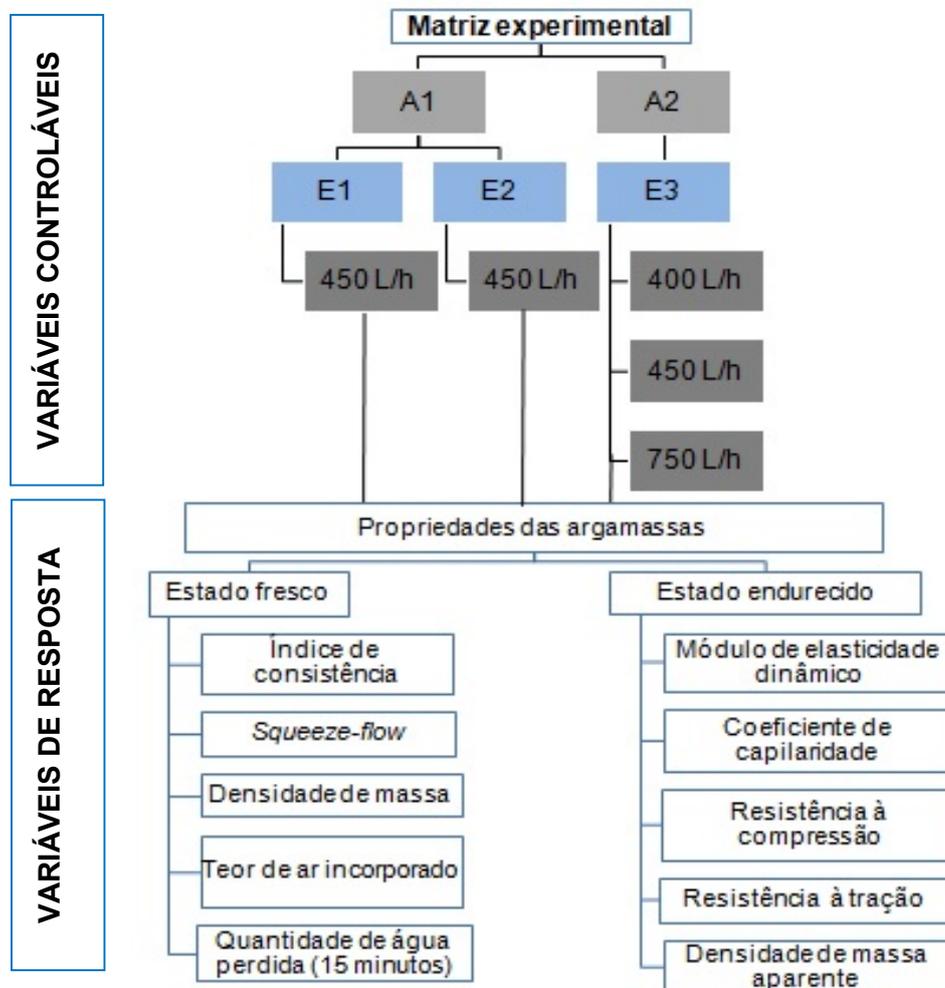
- a) índice de consistência (mm);
- b) *squeeze-flow* (força (N) x deslocamento (mm));
- c) densidade de massa ( $\text{kg/m}^3$ );
- d) teor de ar incorporado (%);
- e) quantidade de água perdida (g) – adaptação do ensaio para determinação da retenção de água;
- f) resistência à compressão (MPa);
- g) resistência à tração na flexão (MPa);
- h) módulo de elasticidade dinâmico (GPa);
- i) coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ );
- j) densidade de massa aparente ( $\text{kg/m}^3$ ).

As variáveis controláveis, ou variáveis independentes, são aqueles parâmetros que possuem influência nas variáveis de resposta. Uma vez definidas as variáveis de resposta, foram definidas estas variáveis, quais sejam:

- argamassa específica para projeção (dois fabricantes diferentes, denominados A1 e A2);
- equipamentos/sistemas de projeção (E1, E2 e E3).
- vazões de água (400, 450 e 750 L/h);

Definidas estas variáveis, formulou-se uma matriz experimental que expressa as combinações realizadas deste trabalho, conforme a Figura 15.

Figura 15: matriz experimental adotada na “Etapa 1 – Em laboratório”, desta pesquisa



A: fabricantes de argamassa

E: sistemas e/ou equipamentos de projeção

(fonte: elaborada pela autora)

#### 4.4.2.2 Ensaios de caracterização da argamassa

Para a caracterização das argamassas foram confeccionados corpos de prova com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm, conforme preconiza a NBR 13279 (ABNT, 2005). Os ensaios de caracterização e controle tecnológico foram realizados no LAMTAC/NORIE/UFRGS.

Os corpos de prova foram curados em sala climatizada com condições controladas de temperatura a  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar a  $(60\pm 5)\%$  e foram mantidos nessa condição até o momento do ensaio. Salienta-se que os ensaios mecânicos foram realizados em prensa servo hidráulica da marca EMIC, com capacidade de até 2000 kN, com preparação e execução de ensaio conforme normativas vigentes.

Os ensaios realizados para avaliação das argamassas, no estado fresco e endurecido, juntamente à quantidade de determinações e corpos de prova moldados para avaliação, são apresentados resumidamente na Figura 16, e esclarecidos e especificados, posteriormente, somente quando necessária adaptação à norma ou metodologia.

Figura 16: resumo dos ensaios de caracterização das argamassas coletadas

Caracterização de argamassas			
Estado fresco	Índice de consistência <b>Determinações: 6</b> NBR 13276/2016		Módulo de elasticidade dinâmico <b>Corpos de prova: 3</b> NBR 15630/2009
	Squeeze-flow <b>Determinações: 1</b> NBR 15839/2010*		Absorção de água por capilaridade <b>Corpos de prova: 3</b> NBR 15259/2005
	Densidade de massa <b>Determinações: 2</b> NBR 13278/2005		Resistência à compressão <b>Corpos de prova: 6</b> NBR 13279/2005
	Teor de ar incorporado <b>Determinações: 2</b> NBR NM 47/02		Resistência à tração na flexão <b>Corpos de prova: 3</b> NBR 13279/2005
	Retenção de água (adaptado para perda de água aos 15 minutos) <b>Determinações: 2</b> NBR 13277/2005*		Densidade de massa aparente <b>Corpos de prova: 12</b> NBR 13280/2005
		Estado endurecido	

\*: Adaptação de normativas ou metodologia já existente

(fonte: elaborada pela autora)

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado através do método de análise de variância (ANOVA), utilizando-se do software Statistica 8, desenvolvido pela StatSoft. Através disso, foi possível chegar às conclusões sobre a significância ou não dos mesmos, com um nível de confiabilidade estatística de 95%. O objetivo desta análise foi observar quais variáveis controláveis apresentam influência sobre as variáveis de resposta. Complementarmente a este tratamento, foi realizada a análise múltipla de médias, através do método do teste de Fisher, a qual possibilita múltiplas comparações, a fim de avaliar a significância estatística de diferenças entre médias.

#### 4.4.2.2.1 Estado fresco

Os ensaios, no estado fresco foram realizados conforme as normativas citadas na figura 16. Porém, conforme já exposto, os ensaios iniciaram aos 50 minutos e o índice de consistência foi repetido no tempo de 100 minutos. A seguir, serão apresentadas as adaptações das metodologias já existentes.

O ensaio do *squeeze-flow* pode ser considerado eficiente para analisar a reologia dos materiais cimentícios (SILVA *et al.*, 2005) e foi utilizado com o objetivo de complementar o ensaio de índice de consistência. O método de ensaio é determinado pela NBR 15839 (ABNT, 2010) e prescreve a determinação do comportamento reológico de argamassas de assentamento e revestimento no estado fresco em solicitações. Nesta normativa é citado que o tempo decorrido desde o término do preparo da argamassa até o início efetivo do ensaio deve ser de 10 minutos e 60 minutos para a velocidade de 3 mm/s e de 15 e 65 minutos para a de 0,1 mm/s. Em decorrência do tempo de coleta e deslocamento, o tempo efetivo de início de ensaio foi de 50 minutos, a partir do início da coleta, e 100 minutos, ambos para a velocidade de 3 mm/s e de 55 e 105 minutos para a velocidade de 0,1 mm/s.

O método de ensaio para determinação da retenção de água em argamassas para assentamento e revestimentos de paredes e tetos é determinado pela NBR 13277 (ABNT, 2005). Entretanto, vale ressaltar que para o cálculo da retenção, em porcentagem, é necessária a relação água/argamassa fresca, não sendo possível a determinação deste valor, visto que a real quantidade de água inserida, em gramas, é desconhecida. A determinação deste fator seria possível se o equipamento fosse ligado e regulado apenas para a coleta, porém, isto iria influenciar nos resultados, pois a argamassa fresca, inicialmente, apresenta uma quantidade de água mais elevada. Outra maneira de realizar essa determinação seria parando a hidratação do cimento constituinte da argamassa, entretanto, no interior do equipamento já ocorre a mistura e conseqüentemente a hidratação.

Portanto, utilizou-se para a caracterização da argamassa, a mesma metodologia preconizada em norma, apenas considerando-se a diferença entre a massa do conjunto, prato e argamassa fresca, antes e após a sucção com bomba à vácuo, após 15 minutos, sendo denominado de “Quantidade de água perdida (15 minutos)”.

#### 4.4.2.2 Estado endurecido

Para os ensaios no estado endurecido, foram moldados 12 corpos de prova por coleta realizada e seguidas as normativas mostradas na figura 16, sem a necessidade de adaptação.

#### 4.4.3 Etapa 2 – Em laboratório

Nesta etapa, o objetivo é avaliar o comportamento do revestimento, através de ensaios laboratoriais com a definição de fatores controláveis pré-determinados, em visitas técnicas em obra e também através dos resultados da “Etapa 1 – Em campo”.

As variáveis de resposta são ensaios quantitativos que verificam o comportamento do revestimento executado, sendo eles:

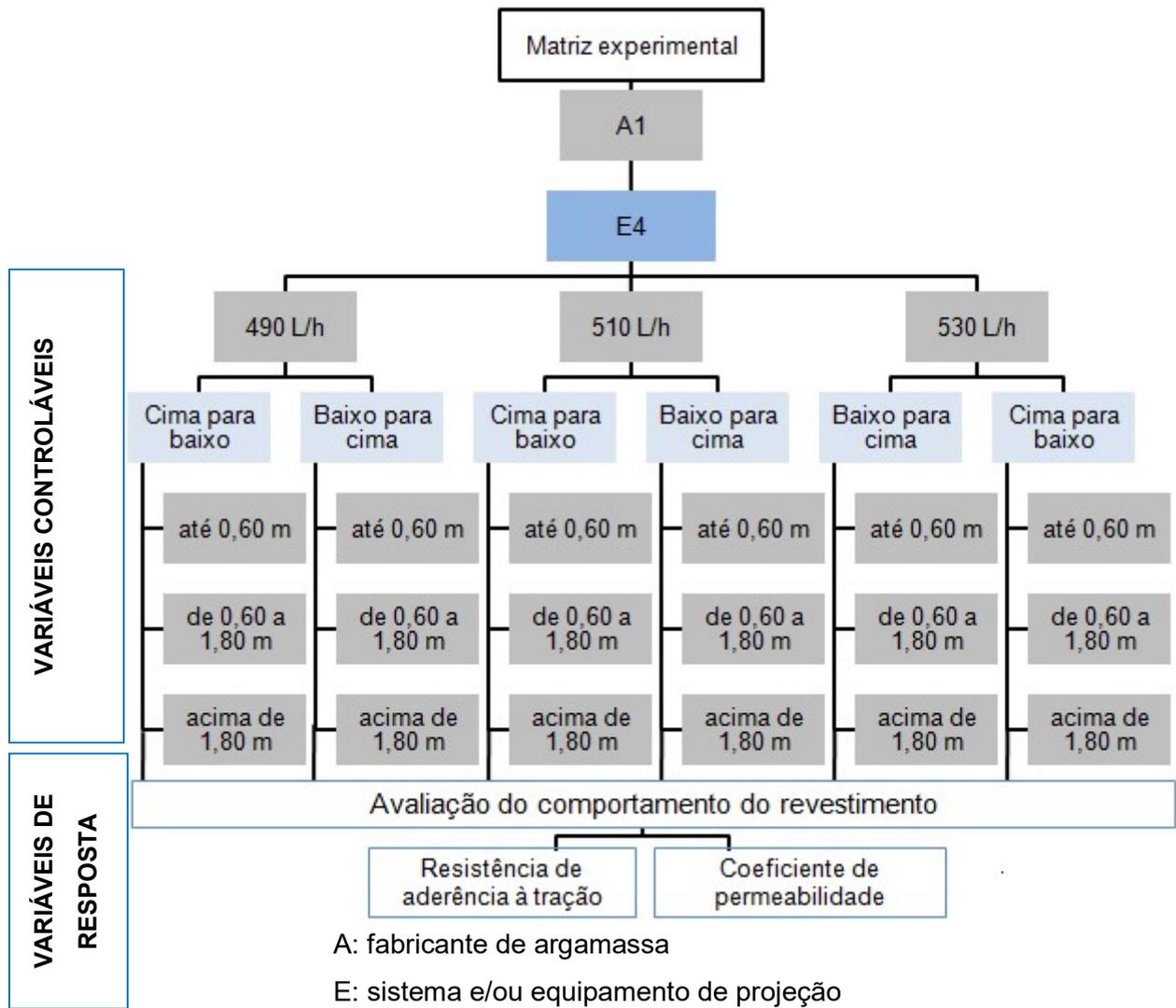
- a) resistência de aderência à tração (MPa);
- b) coeficiente de permeabilidade (“cachimbo”) (ml.min).

Uma vez definidas as variáveis de resposta, foram definidos os fatores controláveis, quais sejam:

- a) vazões de água (490, 510 e 530 L/h, arbitrados pela mão de obra após teste de vazão de entrada de água, apresentado no item 4.3.3);
- b) sentidos de aplicação da projeção (em cordões horizontais de cima para baixo e em cordões horizontais de baixo para cima);
- c) altura de aplicação no substrato (até 0,60 m, de 0,60 a 1,80 m e acima de 1,80 m).

Definidas estas variáveis, formulou-se uma matriz experimental que expressa as combinações, conforme a Figura 17.

Figura 17: matriz experimental adotada na “Etapa 2 – Em laboratório”, desta pesquisa



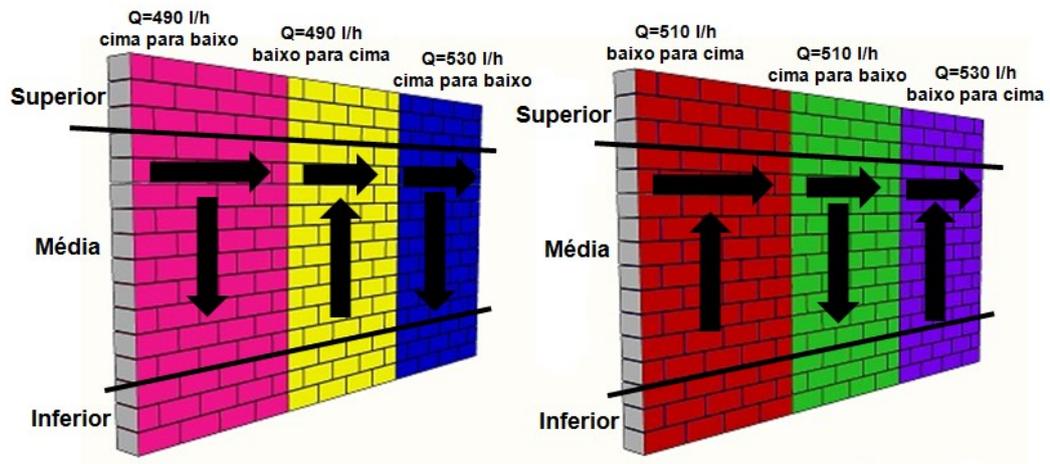
(fonte: elaborada pela autora)

#### 4.4.3.1 Execução de parede-teste

A parede-teste, em alvenaria de blocos de concreto, foi executada, por pedreiro experiente, no mês de maio de 2016. A etapa posterior, de projeção mecânica do revestimento de argamassa, foi realizada nos painéis com idade superior a 28 dias.

A projeção mecanizada da argamassa foi realizada com o equipamento E4. As dimensões de cada painel consistiam de 1,196 m de largura por 2,39 m de altura, totalizando 3,59 m por 2,39 m de altura (3 painéis). Na Figura 18 é apresentado um desenho representativo com a identificação das variáveis controláveis. A parte inferior apresenta a altura até 0,60 m, o trecho médio representa a altura de 0,60 m a 1,80 m, e a superior, representa alturas acima de 1,80 m.

Figura 18: desenho representativo das paredes executadas em laboratório.



(fonte: elaborada pela autora)

#### 4.4.3.2 Condições fixas

No planejamento de experimentos, fez-se necessário adotar algumas condições fixas para a confecção e ensaios de avaliação dos painéis, de forma a analisar e comparar os resultados, tais como: preparo e dosagem da argamassa de assentamento, equipamento de projeção utilizado, características do substrato, espessura total do revestimento e forma de cura dos painéis.

##### 4.4.3.2.1 Substrato

O substrato definido para a aplicação dos painéis-teste de revestimento foi composto de alvenarias de blocos de concreto. Esta base foi selecionada pelas condições superficiais propícias à ancoragem da argamassa sem a necessidade de aplicação de chapisco (BAUER e PAES, 2004; CANDIA e FRANCO, 1998; CARASEK, 1996, SCARTEZINI *et al.*, 2002, ZANELATTO, 2012). Desta forma, a mesma não foi utilizada propositalmente, visando avaliar a interação argamassa/substrato sem nenhum tipo de preparo, a fim de reduzir a variabilidade e propiciar a minimização dos ruídos experimentais.

Os blocos de concreto estruturais apresentam dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm e 14 cm x 19 cm x 14 cm, classe B, módulo M15 e resistência característica de 4 MPa, conforme informação do fabricante. Foram caracterizados estes blocos quanto à conformidade dimensional, resistência à compressão, absorção de água total e índice de absorção total (na face de assentamento e de revestimento). Os resultados obtidos e respectivos métodos de ensaio estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: ensaios, normas e resultados da caracterização do bloco de concreto

Característica avaliada	Método de ensaio	Resultados médios	Limite norma	DP	CV (%)
Conformidade dimensional	ABNT NBR 6136 (2016)	OK	Obs: 5 blocos avaliados		
Resistência à compressão	ABNT NBR 12118 (2014)	7,34 MPa	4 MPa ≤ fbk < 8 MPa	18,32	2,20
Absorção de água total	ABNT NBR 12118 (2014)	6,95%	≤ 9 %		
Índice de absorção inicial na face de revestimento	ASTM C67 (2016)	70,8 g/cm²			

fbk: resistência característica à compressão axial

(fonte: elaborada pela autora)

#### 4.4.3.2.2 Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada para assentamento dos blocos estruturais foi industrializada ensacada e do mesmo fabricante que a argamassa a ser utilizada para revestimento, ou seja, argamassa do fabricante 1 (A1). A preparação e mistura foi realizada em argamassadeira, de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2016), com a dosagem de água conforme o limite máximo informado pelo fabricante, de 4,1 litros de água para 25 kg de material seco.

A argamassa em questão foi caracterizada, no estado fresco e endurecido. Os resultados obtidos e respectivos métodos de ensaio estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: ensaios, normas e resultados da caracterização da argamassa de assentamento

	Característica avaliada	Método de ensaio	Resultados médios	DP	CV (%)
Estado fresco	Índice de consistência	ABNT NBR 13276 (2016)	272 mm	5,77 mm	2,13
Estado endurecido	Resistência à tração na flexão	ABNT NBR 13279 (2005)	2,11 MPa	0,06 MPa	2,62
	Resistência à compressão	ABNT NBR 13279 (2005)	6,56 MPa	0,95 MPa	14,46

(fonte: elaborada pela autora)

#### 4.4.3.2.3 Argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento selecionada foi a mesma argamassa do fabricante 1 (A1) estudada na “Etapa 1 – Em laboratório” desta pesquisa. Acrescenta-se, conforme já informado, que a mesma é industrializada, armazenada em sacos, e específica para projeção. No estudo preliminar, já foram definidas as vazões a serem utilizadas com o equipamento de mistura e projeção disponível e também sua adequação para aplicação sobre o substrato definido.

Para a caracterização das argamassas, foram realizados ensaios físico-mecânicos no estado fresco e endurecido, os quais são apresentados no item 4.4.2.2 da presente pesquisa. Nesta etapa, exclusivamente realizada em laboratório, também foi realizada, da mesma forma que a “Etapa 1 – Em laboratório”, após 50 minutos do início da coleta a fim de, futuramente, ser possível a comparação de resultados com outros equipamentos com a mesma vazão. Quanto à

adaptação dos ensaios, já foi citada a metodologia adaptada para determinação da perda de água em 15 minutos.

Os resultados de caracterização da argamassa com vazões distintas, no estado fresco e endurecido, estão apresentados na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente.

Tabela 6: Caracterização das argamassas no estado fresco utilizadas no revestimento da parede confeccionada em laboratório

Identificação	ESTADO FRESCO									
	Índice de consistência (mm)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Quantidade de água perdida (g)	DP (g)	CV (%)	Teor de ar incorporado (%)	DP (%)	CV (%)
Vazão de 490 L/h	192	1628	2,89	0,18	1,81	0,22	12,08	3,75	0,35	9,00
Vazão de 510 L/h	267	1826	6,76	0,37	4,84	0,08	1,61	2,90	0,14	5,00
Vazão de 530 L/h	287	1844	2,96	0,16	9,32	1,01	10,84	2,80	0,28	10,00

(fonte: elaborada pela autora)

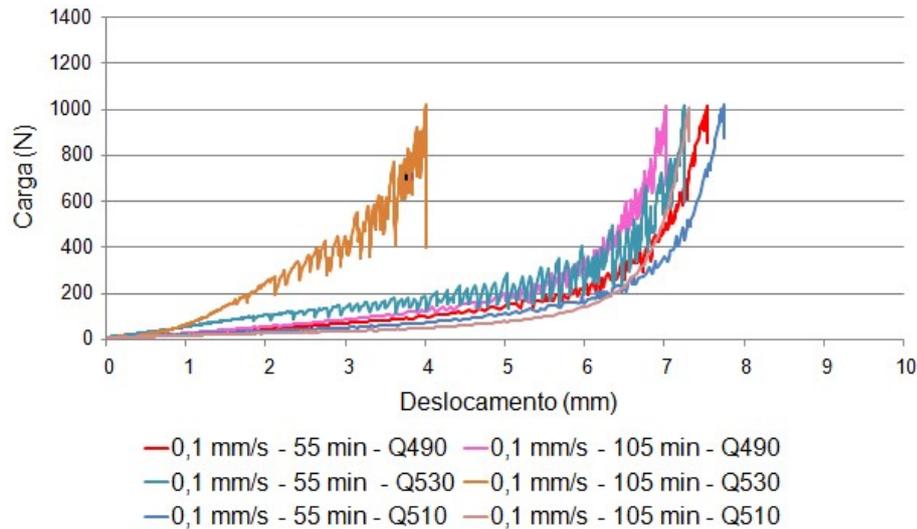
Tabela 7: Caracterização das argamassas no estado endurecido utilizadas no revestimento da parede confeccionada em laboratório

Identificação	ESTADO ENDURECIDO														
	Densidade de massa aparente (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)	Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	DP (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	CV (%)	Resistência à compressão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Resistência à tração na flexão (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
Vazão de 490 L/h	1659	49,16	2,96	9,15	0,61	6,66	3,75	0,64	16,97	1,20	0,15	12,17	7,83	0,40	5,10
Vazão de 510 L/h	1653	23,13	1,40	11,08	0,51	4,61	3,30	0,87	26,27	1,34	0,17	12,32	8,18	0,42	5,09
Vazão de 530 L/h	1754	47,32	2,70	3,19	0,32	9,89	5,51	1,31	23,87	1,72	0,24	13,98	9,95	0,29	2,89

(fonte: elaborada pela autora)

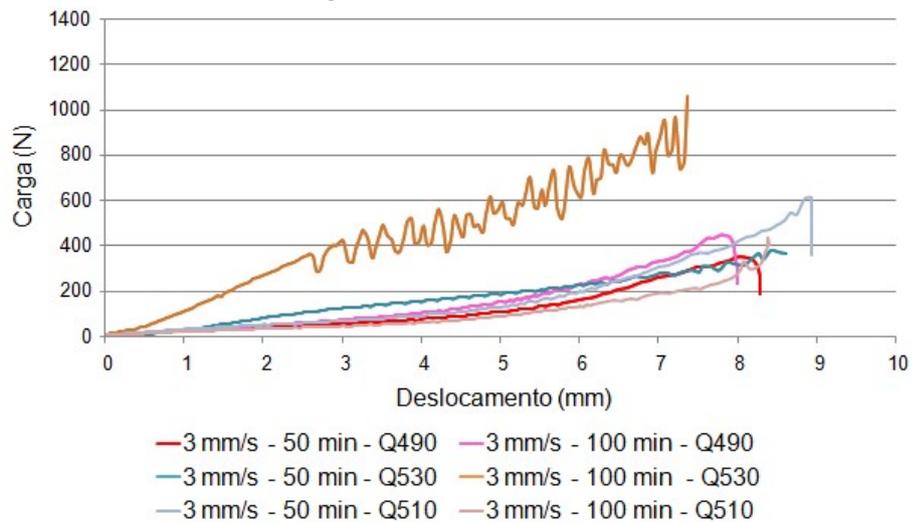
Pode-se afirmar que grande parte das propriedades, no estado fresco e endurecido, apresenta tendência de relação diretamente proporcional com o aumento da quantidade de água, apesar de não ter sido realizada análise estatística destes dados. Em relação ao índice de consistência, da mesma forma que Carvalho *et. al.* (2004), pode-se perceber, nos resultados, que quanto maior o incremento de água, mais fluida se torna a argamassa. Os resultados do ensaio de *squeeze-flow* com velocidade de carregamento de 0,1 mm/s e 3 mm/s, respectivamente, apresentados na Figura 19 e Figura 20, demonstraram maior resistência ao deslocamento, independentemente da velocidade de aplicação, nos tempos de 100 e 105 minutos, para a argamassa com maior quantidade de água (530 L/h). Provavelmente, isto pode ter ocorrido pela segregação da argamassa ao longo do tempo, visto que nos tempos de 50 e 55 minutos o comportamento apresenta maior semelhança às demais.

Figura 19: *squeeze-flow* das argamassas produzidas em laboratório com vazões distintas e velocidade de carregamento de ensaio de 0,1 mm/s



(fonte: elaborada pela autora)

Figura 20: *squeeze-flow* das argamassas produzidas em laboratório com vazões distintas e velocidade de carregamento de ensaio de 3 mm/s



(fonte: elaborada pela autora)

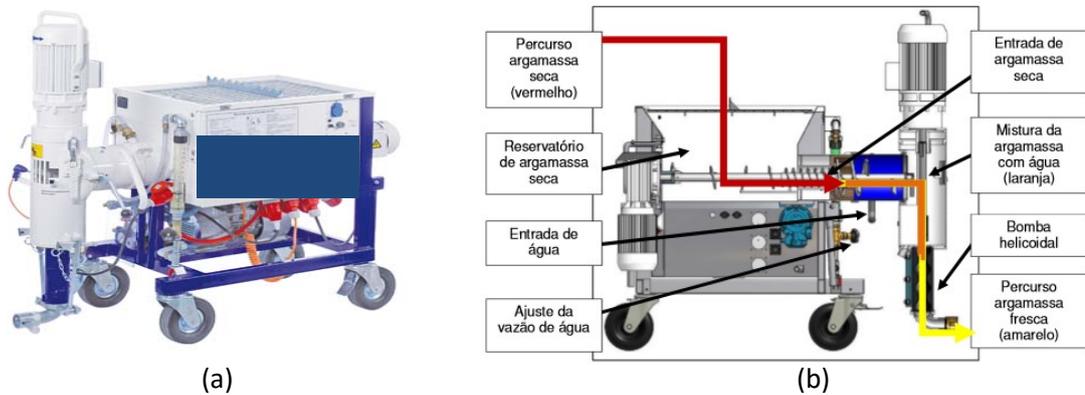
A caracterização, das propriedades e reologia, objetiva permitir e embasar a análise e justificativa de possíveis ocorrências nos resultados encontrados na avaliação do comportamento da argamassa de revestimento.

#### 4.4.3.2.4 Equipamento de projeção

A mistura e projeção de argamassas foram realizadas com o equipamento 4 (E4), conforme Figura 21 (a), com bomba de projeção helicoidal. Neste equipamento, pode-se verificar pela Figura 21 (b), a representação do corte esquemático, em que a argamassa, previamente misturada à água, é imediatamente depositada sobre a entrada da bomba helicoidal a fim de

ser bombeada, transportada pela mangueira até a pistola e projetada sobre o substrato, através da injeção do ar comprimido dentro da pistola.

Figura 21: equipamento de projeção utilizado na projeção de argamassa. (a) bomba de projeção helicoidal com misturador associado e (b) corte esquemático do funcionamento

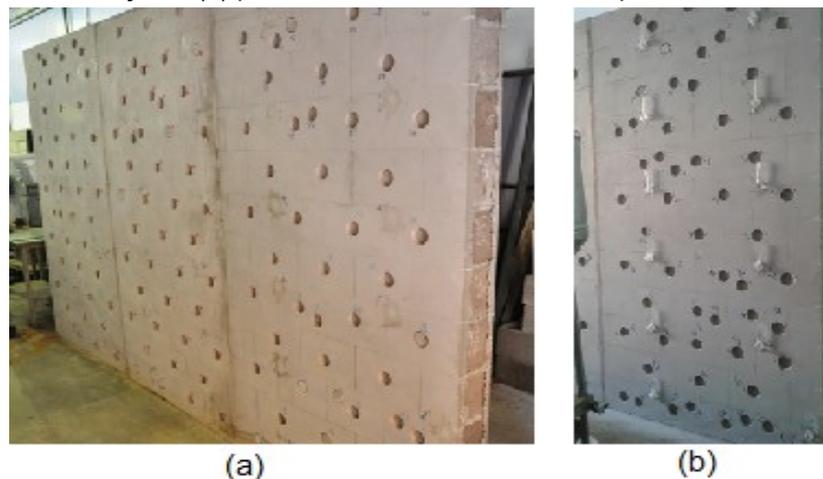


(fonte: (a) foto da autora e (b) MTEC, 2011 *apud* ZANELATTO, 2012)

#### 4.4.3.3 Ensaios realizados para avaliação do comportamento do revestimento

Os ensaios realizados para avaliar o comportamento do revestimento são quantitativos, sendo eles: resistência de aderência à tração e permeabilidade, através do coeficiente de permeabilidade. Na Figura 22 (a) e Figura 22 (b), pode-se verificar os pontos em que foram realizadas as avaliações.

Figura 22: aparência visual de parte dos painéis teste. (a) após a realização do ensaio de aderência à tração e (b) posicionamento dos cachimbos para ensaio



(fonte: fotos da autora)

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado através do método de análise de variância (ANOVA), utilizando-se do software Statistica 8. Através disso, foi possível chegar a conclusões

sobre a significância ou não dos mesmos, com um nível de confiabilidade estatística de 95%. Complementarmente, a fim de realizar a análise múltipla de médias, também foi adotado o Método de Fisher. Nos itens a seguir, serão explicadas detalhadamente a metodologia das avaliações.

#### 4.4.3.3.1 Resistência de aderência à tração

Após os 28 dias de cura da argamassa de revestimento foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração em conformidade com a NBR 13528 (ABNT, 2010). Segundo Gonçalves (2004), é comum se observar um coeficiente de variação da ordem de 50% nos resultados dos ensaios de resistência de aderência à tração, não representando bem o desempenho do revestimento quanto à aderência. O autor ainda complementa que dentre os diversos fatores que podem contribuir para a variabilidade do ensaio de resistência de aderência à tração pode-se citar o fator humano, devido ao empirismo na execução das tarefas, o tipo de substrato, bem como o seu preparo, o tipo de argamassa utilizada e a granulometria do agregado. Além destes fatores, podem-se citar outros provenientes do método executivo que podem influenciar na resistência de aderência: tempo de mistura da argamassa (afetando o teor de ar incorporado), a altura de lançamento no substrato, a existência de cura, entre outros (GONÇALVES, 2004). Da mesma forma, Antunes, Stolz e Masuero (2012) ao analisar diferentes equipamentos (aderímetros) utilizados para a realização do ensaio encontraram coeficientes de variação entre 24,6 a 62,7%.

De acordo com a norma brasileira, devem ser realizados os ensaios em 12 corpos de prova, porém, como uma das variáveis trata da influência da altura do substrato e objetivando minimizar a alta variabilidade, o planejamento inicial seria realizar o ensaio em todos os blocos inteiros da parede em questão, entretanto desta forma não seria possível a realização dos ensaios apenas na idade de 28 dias devido à elevada quantidade de amostras. A partir disso, planejou-se realizar os testes com 8 amostras para altura inferior de até 0,60 m, 19 amostras para altura intermediária, entre 0,60 m e 1,80 m, e extração de 9 amostras para a altura superior, acima de 1,80 m. Entretanto, em algumas combinações, por critério de segurança em relação à desconsideração de resultados com possibilidade de ruptura na cola, optou-se por aumentar a extração de amostras.

Executaram-se cortes circulares com serra copo na parede-teste, onde as pastilhas de 50 mm de diâmetro foram coladas sobre uma seção de argamassa previamente cortada, sendo isolada do restante do revestimento, até ultrapassar 5 mm do substrato. Posteriormente, foi submetida a uma tensão de tração, através de um equipamento hidráulico, Positest AT-A da DeFelsko, registrando-se a tensão na qual ocorre a ruptura e o local de sua ocorrência. Os resultados obtidos foram comparados com os limites especificados na NBR 13749 (ABNT, 2013), que

estabelece os limites aceitáveis de resistência de aderência à tração para revestimentos de camada única e emboço, conforme a Tabela 8.

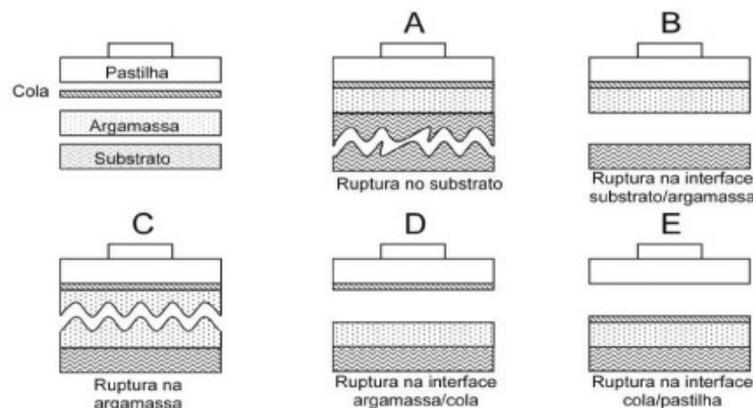
Tabela 8: limites de resistência de aderência à tração, conforme NBR 13749 (ABNT, 2013), para emboço e camada única

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

(fonte: ABNT, 2013)

A forma de ruptura e em qual camada ou interface ela ocorre é um dado de extrema importância, devido ao fato de que identifica a camada ou interface mais frágil do revestimento. Quanto à forma de ruptura das amostras, torna-se pertinente esclarecer que são considerados resultados válidos aqueles em que o rompimento ocorreu na interface substrato/argamassa, em 80% ou mais. Essa verificação é feita através de inspeção visual. Os demais resultados de rompimento são descartados, pois a resistência de aderência não é precisamente determinada, indicando imperfeições na colagem da pastilha ou falta de coesão (RILEM, 2004). As formas de ruptura dos corpos de prova possíveis de ocorrer são exemplificadas na Figura 23.

Figura 23: formas de ruptura dos corpos-de-prova no ensaio de resistência de aderência à tração através da NBR 13528 (ABNT, 2010)



(fonte: ABNT, 2010)

#### 4.4.3.3.2 Permeabilidade

O ensaio utilizado nesta pesquisa é um método não normalizado no Brasil, entretanto é bastante utilizado (SILVA, 2006b) a fim de testar absorção/permeabilidade à água das diferentes bases de aplicação, bem como do revestimento de argamassa sobre elas aplicado (CINCOTTO, CARNEIRO e CASCUDO, 1995). Os autores citam que o método foi proposto

pelo CSTC – *Centre Scientifique et Technique de la Construction* da Bélgica e prescrito por muitas instituições, tais como o RILEM (*Reunião Internacional dos Laboratórios de Ensaios e de Pesquisas sobre Materiais e Construção*) para avaliar a permeabilidade de superfícies verticais através da absorção de água sob pressão inicial de 92 mm de coluna de água, o que corresponde à ação estática de um vento com velocidade de 140 km/h.

Neste trabalho, a avaliação da permeabilidade será realizado aos 21 dias±24 horas, pois aos 28 dias foram realizadas os ensaios de resistência de aderência à tração, sendo seus resultados prejudicados se o revestimento estiver com presença de umidade.

O ensaio é realizado de acordo com a seguinte metodologia:

- a) fixar com silicone acético a borda do cachimbo de vidro, em formato de “L”, no substrato, comprimindo-o contra o mesmo;
- b) com o auxílio da pisseta plástica, encher o cachimbo, o qual possui geralmente graduação de 0,00 a 4,00 mL, com água potável até a referência do nível zero e acionar o cronômetro;

Na avaliação, foi adotada a metodologia proposta por Dias (2003), que define o valor do coeficiente de permeabilidade:

$$A_{2-8} \text{ (ml.min)} = (L_2/2) + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + (L_8/2)$$

onde:

$A_{2-8}$ : coeficiente de permeabilidade do minuto 2 ao minuto 8 de ensaio;

$L_n$ : leitura do ensaio no  $n$ ésimo minuto;

$n$ : minutos em que são realizadas as leituras, a iniciar a partir da inserção de água até a graduação 0,00 ml.

Este coeficiente de permeabilidade foi adotado por melhor representar a área abaixo da curva entre o 2° e 8° minuto. O primeiro minuto foi desprezado devido ao fato de que o revestimento terá maior absorção de água e acima do nono minuto não há influência significativa em resultados (DIAS, 2003).

Quanto à quantidade de amostragem, conforme Polisseni (1986), a amostragem de 30 pontos em um revestimento proporciona uma boa análise estatística. Em contrapartida, Dias (2003) afirma que, para uma confiabilidade de 95% devem ser realizados 10 pontos por ensaio (trecho). Neste trabalho, a avaliação foi realizada em 12 pontos por trecho de parede teste, sendo 4 determinações (cachimbos) na altura inferior de até 0,60 m, 2 leituras (cachimbos) na

altura superior, acima de 1,80 m, e os demais, 6 determinações (cachimbos) na área intermediária, entre 0,60 a 1,80 metros.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa proposta e descrita no programa experimental.

Primeiramente, são apresentados os resultados da “Etapa 1 – em campo” e posteriormente, da “Etapa 1 – em laboratório”, através de ensaios de caracterização da argamassa no estado fresco e endurecido, que correspondem às variáveis de resposta do programa experimental. Por fim, será avaliado o comportamento do revestimento, na “Etapa 2 – em laboratório”, através de ensaios laboratoriais de resistência de aderência à tração e coeficiente de permeabilidade em relação aos fatores controláveis pré-determinados na “Etapa 1- em campo”, quais sejam: altura de aplicação no substrato, vazão de entrada de água e sentido de aplicação.

### 5.1 ETAPA 1 – EM CAMPO

A seguir, serão apresentados os resultados, separadamente por edificação multifamiliar estudada, que envolvem as visitas técnicas e levantamento de dados em canteiros de obra com a utilização de argamassas projetadas. Os itens abordados são: a caracterização da empresa e obras, caracterização da produção e observação das práticas executivas.

#### 5.1.1 Caracterização das empresas e obras

A caracterização das empresas e edificações que envolvem a Etapa 1, em campo e em laboratório, desta pesquisa são apresentadas no quadro 5. Vale ressaltar que a Obra 1 (O1) e Obra 2 (O2) são da mesma empresa e que a argamassa 1 (A1), utilizadas nestas duas obras, possui duas diferentes composições conforme informado pelo fabricante, pois a forma de armazenamento é distinto, sendo elas ensacadas e em silos, respectivamente.

Quadro 5: caracterização das empresas e obras estudadas

Identificação	Caracterização da empresa	Caracterização da obra
Obra 1 (O1)	Empresa de grande porte; 5 anos de atuação no mercado; Mercado imobiliário no RS e SC; Possui certificado de qualidade (Nível "A" do PBQP-h e ISO 9001-2000)	Serão 6 torres residenciais e 6 lojas comerciais. O total de unidades privativas por pavimento são 8 e totaliza 376 apartamentos residenciais com 2 dormitórios (suíte). As paredes e tetos terão reboco regularizado com massa corrida e acabamento em pintura PVA
Obra 2 (O2)	Empresa de grande porte; 5 anos de atuação no mercado; Mercado imobiliário no RS e SC; Possui certificado de qualidade (Nível "A" do PBQP-h e ISO 9001-2000)	Serão 6 torres residenciais (térreo, 15 tipos, cobertura e reservatório superior) e um edifício garagem. Cada torre possui 63 apartamentos totalizando 378 apartamentos residenciais. Nas torres A,B,C e D as unidades possuem 2 dormitórios e nas torres E e F possuem 3 dormitórios (com suíte e possibilidade de living estendido). Em grande parte dos locais terá reboco regularizado e tinta PVA sobre massa PVA, exceto em banheiros e cozinhas que possuirão tinta acrílica sobre massa PVA.
Obra 3 (O3)	Empresa de médio porte; 12 anos de atuação no mercado; Mercado imobiliário no RS e SC; Possui certificado de qualidade (Nível "A" do PBQP-h e ISO 9001-2000)	Serão 11 torres residenciais (contendo térreo, 12 pavimentos tipo e 14° pavimento). No tipo, haverá 144 apartamentos por torre (72 unidades de 3 dormitórios e 72 de 2 dormitórios). Em grande parte ds locais terá reboco regularizado e tinta PVA sobre massa OVA, exceto em banheiros e cozinhas que possuirão tinta acrílica sobre massa PVA.

(fonte: elaborado pela autora)

### 5.1.2 Caracterização da produção e observação das práticas executivas

A seguir, separadamente por obra, serão citadas as caracterizações da produção, sistemas e equipamentos de projeção utilizados. Acrescenta-se a isso, a observação das práticas executivas, em revestimento interno, adotadas por diferentes equipes e obras.

#### 5.1.2.1 Obra 1 (O1)

As principais características da produção de revestimento dessa obra são:

- a) a argamassa utilizada é ensacada e o material é transportado da fábrica até a obra através de caminhões *munck* e armazenado em *pallets*. O descarregamento ocorre fora da projeção da edificação, no pavimento térreo, e

para a movimentação horizontal de argamassa ou até mesmo do equipamento de projeção é utilizada retroescavadeira, conforme Figura 24;

Figura 24: movimentação horizontal de argamassa ou do equipamento de projeção através de retroescavadeira



(fonte: foto da autora)

- b) a projeção de argamassas é realizada em paredes internamente e externamente, porém o teto é revestido manualmente em etapa prévia;
- c) o chapisco, interno e externo, é industrializado com aplicação convencional (aplicado com colher de pedreiro);
- d) a argamassa de revestimento utilizada é específica para projeção mecânica;
- e) internamente, verificou-se, através de medições no revestimento concluído, espessura de 2,0 cm (Figura 25 (a)) e no posicionamento de taliscas, apresentando valores de 1,5 cm (Figura 25 (b)). As espessuras das medições realizadas estão no intervalo entre 1,3 a 2 cm. As constatações foi realizada em dois apartamentos do pavimento em que foi realizada a coleta, no equipamento 1 (E1), de argamassa fresca para a “Etapa 1- em laboratório”;

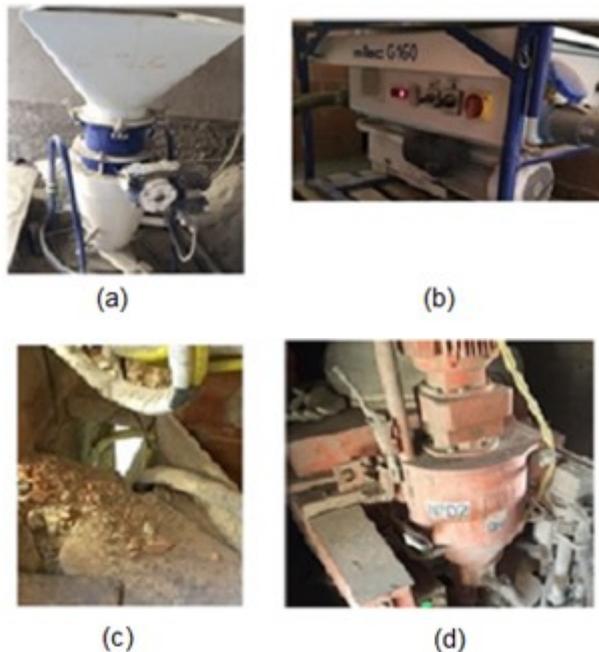
Figura 25: medições de espessura na obra (1). (a) 2,0 cm de espessura no revestimento concluído e (b) 1,5 cm no posicionamento de taliscas



(fonte: foto da autora)

- f) no período estudado, a obra não havia instalado o elevador de cremalheira para transporte vertical dos sacos de argamassa industrializada. Em decorrência disto, para o revestimento interno, o equipamento 1 (E1), mostrado na Figura 26 (d), é caracterizado por um sistema de transporte pneumático a seco (Figura 26 (b)), o qual transporta pneumaticamente os produtos pré-misturados, do pavimento térreo até o pavimento em que se encontra o equipamento, a partir da inserção de material seco em local apropriado (Figura 26 (a)). Esse sistema proporciona o transporte mediante circuito fechado através de mangueiras e mangotes (Figura 26 (c)). A água é misturada neste equipamento apenas no pavimento em que o equipamento está posicionado e após o acionamento do bico projetor. Verifica-se na bomba de projeção acoplamento de um conjunto de filtros sobre o misturador. Conforme já mencionado na revisão bibliográfica, esses filtros servem para diminuir a pressão na entrada de argamassa no misturador, uma vez que os filtros permitem a saída de ar, mas não a de argamassa;

Figura 26: sistema que compreende o equipamento de projeção denominado de A1E1Q450. (a) local para inserção de argamassa; (b) sistema de transporte a seco de argamassa; (c) mangotes e mangueiras que interligam o transporte até o equipamento. (d) equipamento (misturador e bomba) A1E1Q450



(fonte: fotos da autora)

- g) para o revestimento externo, o sistema utilizado é a central misturadora fixa com abastecimento via úmida. O equipamento de projeção (E2), composto de bomba

de projeção com misturador acoplado, são posicionados fora da torre de projeção, conforme se verifica na Figura 27, e a mistura com água ocorre no próprio equipamento e é transportado através do mangote até o balancim;

Figura 27: equipamento de projeção denominado de A1E2Q450 com bomba helicoidal e misturador associado



(fonte: foto da autora)

h) externamente, é utilizado balancim elétrico para transporte vertical e execução do serviço.

No acompanhamento dos serviços, internamente, foi possível verificar a sequência executiva apresentada na Figura 28.

Figura 28: etapas da execução do revestimento interno com projeção. (a) execução de chapisco; (b) posicionamento de taliscas; (c) projeção de argamassa; (d) "alisamento"; (e) preenchimento de falhas (manual); (f) preenchimento de falhas (projetado); (g) raspagem e (h) desempenho



(fonte: fotos da autora)

Verificaram-se algumas características e peculiaridades durante as visitas técnicas:

a) para a preparação do substrato não é realizada limpeza prévia;

- b) falhas no preenchimento das juntas verticais com argamassa de assentamento, de acordo com a Figura 29. Nestes locais, a argamassa de revestimento ocupará os espaços e a espessura será superior à recomendação de norma, com possível desencadeamento de manifestações patológicas;

Figura 29: falhas no preenchimento da argamassa de assentamento



(fonte: fotos da autora)

- c) as taliscas foram executadas, nesta obra, com pedaços de cerâmicas, porém não foram executadas mestras;
- d) o sentido da projeção ocorre de forma difusa. Não existe uma linearidade, sendo que em determinados locais foram realizados de cima para baixo (no sentido vertical), conforme Figura 30 (a) e em outros debaixo para cima (no sentido vertical), de acordo com Figura 30 (b). Além disso, em determinadas situações o operador realiza um quadro e o preenchimento é executado das bordas para o centro, de acordo com a Figura 30 (c) e Figura 30 (d);

Figura 30: distintos sentidos de aplicação da projeção em obra. (a) cima para baixo (no sentido horizontal); (b) baixo para cima (no sentido vertical); (c) e (d) quadro executado em argamassa e o preenchimento executado das bordas para o centro



(fonte: fotos da autora)

- e) a perda de argamassa fresca, que se deposita no chão, proveniente das etapas de projeção, “alisamento” e raspagem é reaproveitada através da adição de água, conforme Figura 31. Esse material é utilizado para desempenho e preenchimento de eventuais falhas. Pode-se ressaltar que essa prática é incorreta e não recomendada devido à incorporação de resíduos e matéria orgânica que contaminam a argamassa, por não haver lona no chão, além de não existir controle em relação à quantidade de água inserida.

Figura 31: argamassa proveniente das perdas relativas à projeção, etapa de “alisamento” e raspagem do revestimento



(fonte: foto da autora)

#### 5.1.2.2 Obra 2 (O2)

Na obra 2 (O2), a argamassa utilizada é armazenada em silos e a forma de aplicação é, em parte da obra, manual e em outra parte mecanizada. Este fato ocorre porque o responsável técnico da obra está testando, avaliando e validando a utilização da tecnologia de projeção de argamassas.

A seguir, serão apresentadas algumas características do serviço nesta edificação:

- a) o material é abastecido por caminhão graneleiro (Figura 32 (a)) e armazenado em silos (Figura 32 (b)). A movimentação de material ocorre diretamente no pavimento através de compressores e mangotes acoplados nestes silos;

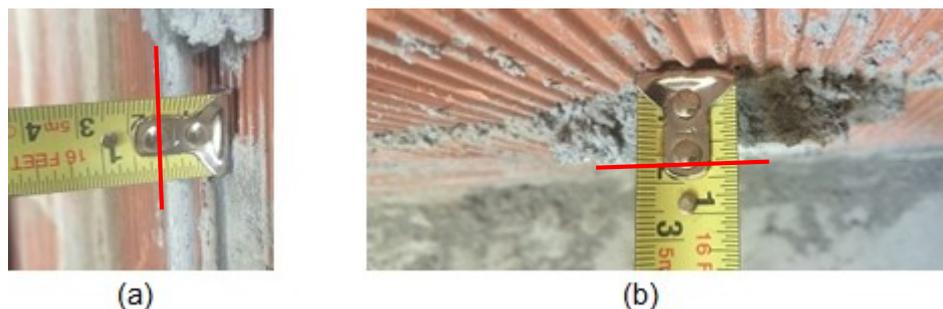
Figura 32: sistema via seca de projeção de argamassa utilizado na obra 2 (O2). (a) abastecimento por caminhão graneleiro e (b) armazenamento da argamassa seca em silos



(fonte: fotos da autora)

- b) a projeção de argamassas é realizada internamente em apenas uma torre, e externamente, em duas fachadas opostas nesta mesma torre;
- c) a argamassa para revestimento utilizada na torre estudada é específica para projeção mecânica. Em outras torres e em outras duas fachadas externas da torre em questão o revestimento é executado com argamassa múltiplo uso, aplicado manualmente;
- d) internamente, verificaram-se, no posicionamento de taliscas, espessuras entre 1,5 e 2 cm, conforme Figura 33 (a) e Figura 33 (b);

Figura 33: medições de espessura na obra 2 (O2). (a) 1,5 cm na talisca com a barra de ferro e (b) 1,7 cm na talisca cerâmica



(fonte: fotos da autora)

- e) para o revestimento interno, o equipamento de projeção, mostrado na Figura 34 (a), estava posicionado no mesmo pavimento em que o serviço estava sendo executado. Ou seja, o sistema é composto de central misturadora portátil com abastecimento por bombeamento via seca, com fornecimento de argamassa através de silos. O rotâmetro, onde mostra a vazão de entrada de água deste equipamento, pode ser visualizada na Figura 34 (b). Porém, optou-se por não

realizar coleta neste equipamento, visto que não poderia ser comparada com as demais coletas, conforme já mencionado no programa experimental, devido ao fato de que a composição da argamassa é distinta da argamassa industrializada ensacada.

Figura 34: equipamento de projeção utilizado na obra 2 (O2). (a) equipamento com bomba helicoidal e misturador associado e (b) rotâmetro regulado com vazão de 550 L/h



(fonte: fotos da autora)

- f) no período estudado, a obra já havia instalado o elevador de cremalheira, porém este não era utilizado para o sistema de projeção da argamassa. No revestimento externo era utilizada a plataforma cremalheira, com 35 metros, conforme se pode visualizar na Figura 35.

Figura 35: plataforma cremalheira para a projeção



(fonte: foto da autora)

Verificaram-se algumas características e peculiaridades durante as visitas técnicas:

- para a preparação do substrato não era realizada limpeza prévia;
- as taliscas eram executadas, em alguns locais, com pedaços de cerâmicas e em outros com barra de aço, conforme Figura 36;

Figura 36: taliscas executadas com utilização de barra de aço



(fonte: foto da autora)

- c) o sentido da projeção ocorre de forma difusa, principalmente no final da projeção a fim de evitar a perda excessiva de argamassa. Não existe uma linearidade, porém nesta obra, geralmente, é realizado de baixo para cima (no sentido horizontal), conforme pode ser visualizado na Figura 37 (a). Além disso, quando é realizado o preenchimento de pontos falhos também é utilizado o mesmo sentido de aplicação, de acordo com Figura 37 (b);

Figura 37: execução da projeção. (a) sentido de projeção de baixo para cima (no sentido horizontal) e (b) preenchimento de pontos falhos de baixo para cima (no sentido horizontal)



(a)



(b)

(fonte: fotos da autora)

- d) anteriormente à execução, foi realizada, através de empresa especializada, a validação do sistema através do ensaio de resistência de aderência à tração das possíveis combinações (substrato x revestimento) a serem utilizadas no revestimento interno e externo.

Durante a observação das práticas executivas, verifica-se que a sequência ocorre da mesma forma do que na Obra 1 (O1), porém, internamente, foi dispensada camada de chapisco. Pode-se verificar também que o sentido de aplicação da projeção ocorre de forma mais homogênea com redução da variabilidade.

### 5.1.2.3 Obra 3 (O3)

As principais características da produção de revestimento dessa obra são:

- a) o material é armazenado em *pallets* e transportado da fábrica até a obra através de caminhões *munck*. O descarregamento, conforme Figura 38, ocorre no pavimento térreo e para a movimentação vertical de argamassa é utilizado o elevador de cremalheira, com armazenamento no pavimento conforme a demanda;

Figura 38: descarregamento do material através de caminhão *munck*



(fonte: foto da autora)

- b) a projeção de argamassas é realizada, internamente, em paredes e tetos, e será realizada na fachada, externamente;
- c) a combinação das camadas de revestimento para parede interna e teto são distintas, bem como para o revestimento externo. Podem-se visualizar, através do

quadro 6, as composições com destaque, na cor cinza para as camadas que são mecanizadas;

Quadro 6: combinações de argamassas das camadas de revestimento da obra 3 (O3)

Local	Chapisco		Revestimento	Observação
Paredes internas	Concreto	Chapisco rolado (A2)	Argamassa para projeção (A2)	Espessura elevada (duas camadas)
	Alvenaria	-		Espessura elevada (duas camadas)
Tetos	Chapisco industrializado (A2)			-
Paredes externas	Concreto	Chapisco desempenado (A1)		-
	Alvenaria	Chapisco com traço <i>in loco</i>	-	

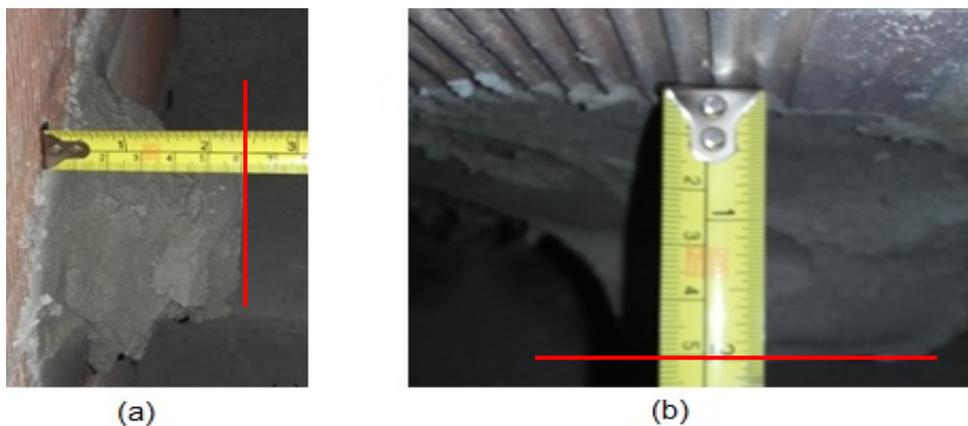
A1: fabricante de argamassa 1 e A2: fabricante de argamassa 2

(fonte: elaborado pela autora)

A partir disso, ressalta-se que o chapisco industrializado para projeção utilizado em tetos não é específico para projeção, porém o mesmo é aplicado de forma mecanizada. Em decorrência deste fato, a empresa executora terceirizada relatou que frequentemente a bomba de projeção utilizada fica obstruída devido à argamassa não ser específica para esta finalidade.

- d) internamente, verificou-se, através de medições da espessura no posicionamento de taliscas, valores de 4,0 a 8,0 cm, sendo possível afirmar através da Figura 39 (a) e Figura 39 (b) que as espessuras são superiores às obras anteriores (O1 e O2). Na Figura 39 (a), a espessura é de 6 cm e na Figura 39 (b) com 5 cm. A constatação foi realizada em dois pavimentos aleatórios;

Figura 39: medições de espessura na obra 3 (O3). (a) talisca com marcação de espessura com 6 cm e (b) talisca com marcação de espessura superior a 5 cm

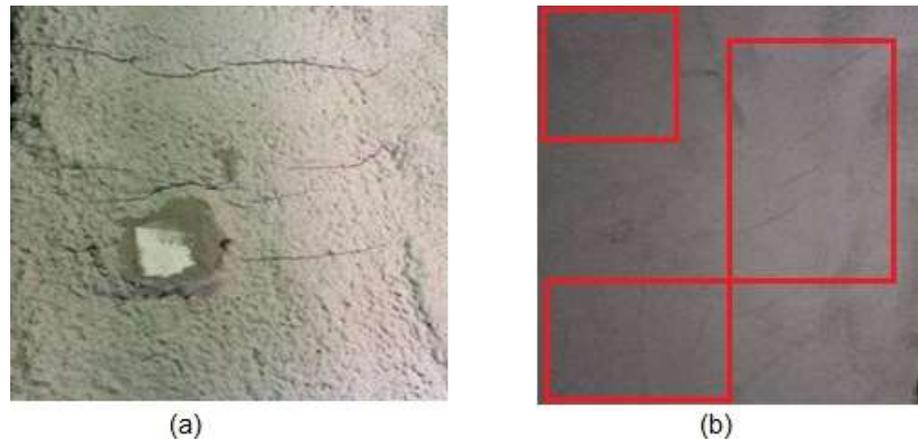


(fonte: foto da autora)

Em relação à sobre espessura existente, provavelmente devido às deficiências de prumo da estrutura e alvenaria, a orientação da equipe técnica da obra é de realizar a execução do

revestimento em duas camadas (úmido sobre seco). Nota-se, através da Figura 40 (a), que na primeira camada, executada manualmente, não se realiza o acabamento e após algumas horas já apresenta fissuras. Na Figura 40 (b) pode-se visualizar, em revestimento já concluído há aproximadamente 10 dias, a presença de fissuras.

Figura 40: fissuras no revestimento. (a) na primeira camada intermediária entre substrato e camada final e (b) camada final de revestimento



(fonte: fotos da autora)

- e) para o revestimento interno, os equipamentos de projeção estavam posicionados no pavimento em que o serviço estava sendo executado ou dois pavimentos superiores ou inferiores a este;
- f) externamente, foi utilizado balancim elétrico para transporte vertical e execução do serviço;
- g) o equipamento utilizados na obra é bomba de projeção com misturador integrado, conforme Figura 41. Foram realizadas as coletas com três vazões (quantidade de entrada de água) distintas: 400 L/h, 450 L/h e 750 L/h. Ressalta-se que a argamassa utilizada é de um mesmo lote e não há influência do clima, entretanto as distintas regulagens de água ocorrem mediante a trabalhabilidade demandada por diferentes aplicadores.

Figura 41: equipamento de projeção existente na obra 3 denominado como A2E3Q400, A2E3Q450 e A2E3Q750.

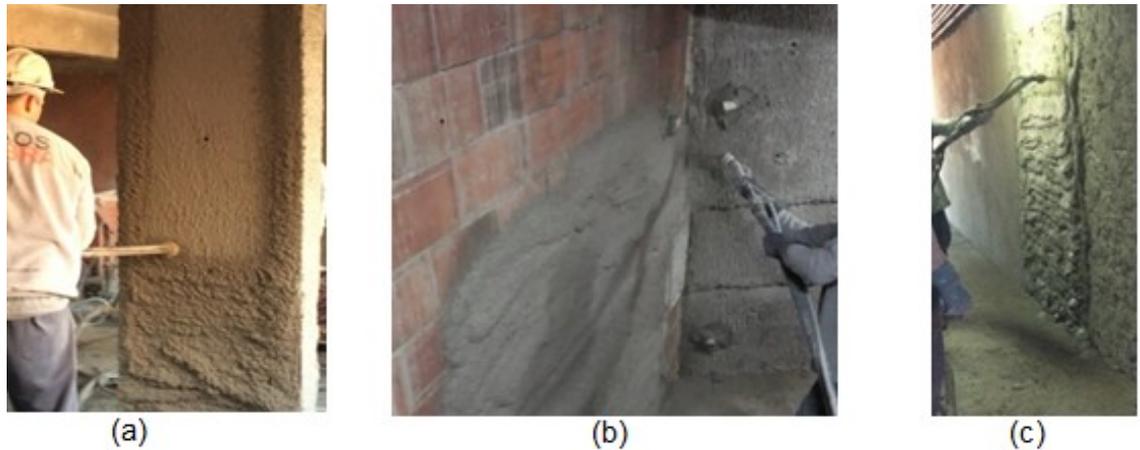


(fonte: foto da autora)

Verificaram-se algumas características e peculiaridades durante as visitas técnicas:

- a) para a preparação do substrato não é realizada limpeza prévia;
- b) a orientação da obra é a não realização de chapisco interno em alvenaria, porém em alguns locais o mesmo é existente. A informação dos executores da projeção é que eles realizam em alguns pontos aleatoriamente;
- c) o sentido da projeção ocorre, geralmente, de baixo para cima (no sentido horizontal), conforme pode ser visualizado na Figura 42 (a) em que é realizado em estrutura de concreto. O mesmo sentido de aplicação também é realizado nas alvenarias, de acordo com a Figura 42 (b) e Figura 42 (c), apesar de que é possível notar que diferentes reologias de argamassa destas últimas figuras apresentadas. Na primeira, não são formados cordões e na segunda, pode-se visualizar cordões com falha na adesão inicial, evidenciados pelo escorrimento da argamassa;

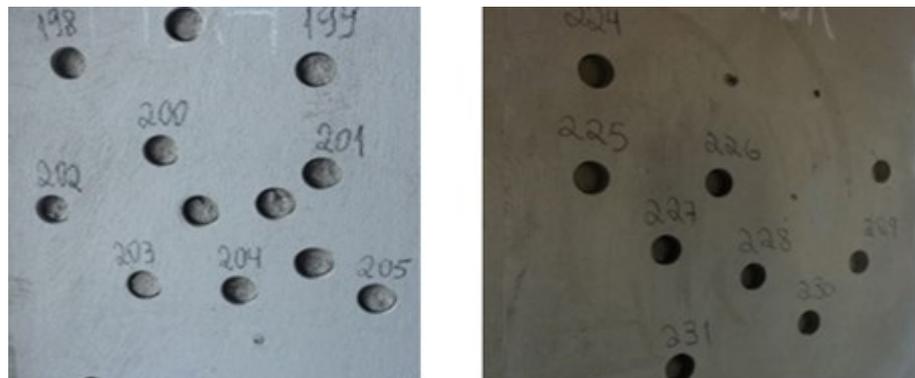
Figura 42: execução do revestimento. (a) projeção em concreto debaixo para cima; (b) projeção de baixo para cima sem a formação de cordões e (c) projeção de baixo para cima com a formação de cordões



(fonte: fotos da autora)

d) anteriormente à execução, foi realizado, no pavimento térreo, a validação do sistema por empresa especializada, através do ensaio de resistência de aderência à tração das possíveis combinações (substrato x chapisco x argamassa) a serem utilizadas no revestimento interno e externo, conforme se pode verificar na Figura 43.

Figura 43: ensaio de resistência de aderência à tração, em combinações de substrato x chapisco x argamassa, para validação do sistema.



(fonte: foto da autora)

Quanto às práticas executivas, foi possível visualizar as mesmas etapas verificadas na obra 1 (O1), porém em alguns locais já citados não há chapisco. Além disso, a etapa de projeção é antecedida pela primeira camada do revestimento, intermediária entre o substrato e o revestimento final, de forma manual. Esta ocorrência se deve às espessuras elevadas da camada de revestimento.

Por fim, em resumo, no quadro 7, são apresentados os sistemas de projeção utilizados em cada obra, a forma de armazenamento dos materiais e vazão de entrada de água dos equipamentos estudados na “Etapa 1- Em campo” e que também serão utilizadas na “Etapa 1 – Em laboratório”, através das coletas de argamassa fresca.

Quadro 7: identificação da obra, nomenclatura, sistema, armazenamento e vazão de água dos equipamentos

Obra	Nomenclatura	Sistema	Armazenamento	Vazão
O1	A1E1Q450	Central misturadora portátil com abastecimento via seca	Sacos	450 L/h
	A1E2Q450	Central misturadora fixa com abastecimento via úmida		
O2	<b>NÃO FOI REALIZADA COLETA</b>			
O3	A2E3Q400	Central misturadora portátil com abastecimento via seca	Sacos	400 L/h
	A2E3Q450			450 L/h
	A2E3Q750			750 L/h

(fonte: elaborado pela autora)

Em suma, ao longo desta etapa, foi possível verificar deficiências e lacunas a fim de ratificar a escolha de variáveis controláveis para as próximas etapas: “Etapa 1 – em laboratório” e “Etapa 2 – em laboratório”.

Observou-se a importância da utilização de adequada reologia para a bombeabilidade e projetabilidade da argamassa a fim de que ocorra adesão inicial do revestimento. Na obra 3 (O3), em algumas combinações da composição das camadas, a dosagem é realizada *in loco* e a argamassa não é específica para projeção, desencadeando obstrução freqüente dos equipamentos utilizados. Ainda através deste estudo, foi possível verificar o empirismo ao regular a quantidade de água, sendo que na totalidade das obras existe o desconhecimento em transferir a dosagem recomendada pelo fabricante, informada na embalagem do material ensacado, para a regulação de vazão no rotâmetro do equipamento. Constatou-se também que a partir da substituição do rotor e estator da máquina de projeção, a vazão também precisa ser ajustada, sendo que equipamentos distintos geralmente não são regulados com a mesma quantidade de água. Soma-se a isso, o fato de que sistemas de produção, ao compararmos bombeamento via seca e via úmida, proporcionam diferentes ordens, tempo de mistura, comprimento de mangueiras, entre outras variáveis. A partir destes fatos, para a “Etapa 1 – em laboratório”, as variáveis controláveis selecionadas foram a vazão de entrada de água, que também foi escolhida na “Etapa 2 – em laboratório”, e diferentes sistemas de projeção.

Em relação à forma de execução, constatou-se que a aplicação é extremamente variável, entre obras, equipes ou até mesmo colaboradores da mesma equipe. Apesar de o fabricante da argamassa 1 (A1), utilizada nas obras 1 e 2 (O1 e O2), recomendar a execução de cima para

baixo, não é verificada a ocorrência do cumprimento de tal orientação. Em decorrência disso, uma das variáveis controláveis, relativa ao sentido de aplicação, utilizada na “Etapa 2 – Em laboratório”, foi selecionada a partir deste estudo.

## 5.2 ETAPA 1 – EM LABORATÓRIO

O objetivo desta etapa, conforme citado na metodologia, é verificar, através da obra 1 (O1), com argamassa do fabricante 1 (A1), a influência de sistemas distintos utilizados para projeção com a mesma vazão de entrada de água (450 L/h) nas propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido. Além disso, a partir de coletas na obra 3 (O3) com argamassa do fabricante 2 (A2), avaliar a influência de vazões distintas (400 L/h, 450 L/h e 750 L/h), isto é, do acréscimo de água, com o mesmo equipamento de projeção.

Os resultados serão expostos individualmente, apontando a influência do sistema de projeção (E1 e E2) e, posteriormente, do acréscimo da vazão (E3). Além disso, juntamente aos resultados, será inserido o valor considerado como referência, produzido de acordo com as instruções do fabricante para o preparo e dosagem da argamassa, denominados LabA1 (referência da argamassa 1) e LabA2 (referência da argamassa 2).

A barra horizontal representada nas figuras a seguir significa “DIFERENÇA ESTATÍSTICA NÃO SIGNIFICATIVA” dos resultados, com base na análise múltipla de médias realizada pelo método do teste de Fisher. Em decorrência disso, será apresentada a tabela da análise apenas para o índice de consistência devido à dificuldade de representação, em função de que há análise de dois tempos, 50 e 100 minutos.

### 5.2.1 Influência de diferentes sistemas de projeção

Foi analisada a influência dos sistemas distintos (E1 e E2), com a mesma vazão, primeiramente em relação às propriedades no estado fresco e, após no estado endurecido.

#### 5.2.1.1 Estado fresco

A seguir, podem-se verificar os resultados médios obtidos, bem como seus desvios padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) e, para cada uma das caracterizações no estado fresco das argamassas analisadas. A Tabela 9 apresenta informações do índice de consistência e densidade de massa e a Tabela 10 em relação ao teor de ar incorporado e retenção de água (quantidade de água perdida).

Tabela 9: índices de consistência e densidades de massa de argamassas produzidas por diferentes equipamentos

Variáveis de resposta (Estado fresco)							
Nomenclatura	Tempo (min)	Índice de consistência (mm)	Média (mm)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A1E1Q450	50	216	215	1899	1904	7	0,34
	50	215		1909			
	50	214					
	100	204	202				
	100	200					
	100	203					
A1E2Q450	50	195	195	1909	1911	4	0,21
	50	191		1914			
	50	200					
	100	201	200				
	100	200					
	100	200					
LabA1	50	242	242	1752	1758	7	0,41
	50	240		1763			
	50	243					
	100	220	218				
	100	216					
	100	218					

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 10: teor de ar incorporado e quantidade de água perdida das argamassas produzidas por diferentes equipamentos

Variáveis de resposta (Estado fresco)								
Nomenclatura	Teor de ar incorporado (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Quantidade de água perdida (g)	Média (g)	DP (g)	CV (%)
A1E1Q450	3,8	3,83	0,04	0,92	8,08	8,14	0,08	1,04
	3,85				8,2			
A1E2Q450	3,5	4,00	0,71	17,68	5,52	5,36	0,23	4,36
	4,5				5,19			
LabA1	4,7	4,95	0,35	7,14	0,6	0,63	0,04	5,66
	5,2				0,65			

(fonte: elaborado pela autora)

Os ensaios de índice de consistência das argamassas foram realizados aos 50 minutos a partir do início da coleta em obra, conforme mencionado no programa experimental. Além disso, optou-se por realizá-lo novamente, complementarmente, aos 100 minutos, juntamente a realização do ensaio de *squeeze-flow*, a fim de verificar a alteração de consistência ao longo do tempo.

Verifica-se na Tabela 11, de análise de variância (ANOVA) dos dados experimentais, que entre os efeitos isolados dos fatores controláveis, o equipamento utilizado e o tempo de ensaio (aos 50 e 100 minutos), bem como a interação entre os fatores, exerceram influência estatisticamente significativa sobre os resultados da variável de resposta.

Tabela 11: análise de variância do índice de consistência da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

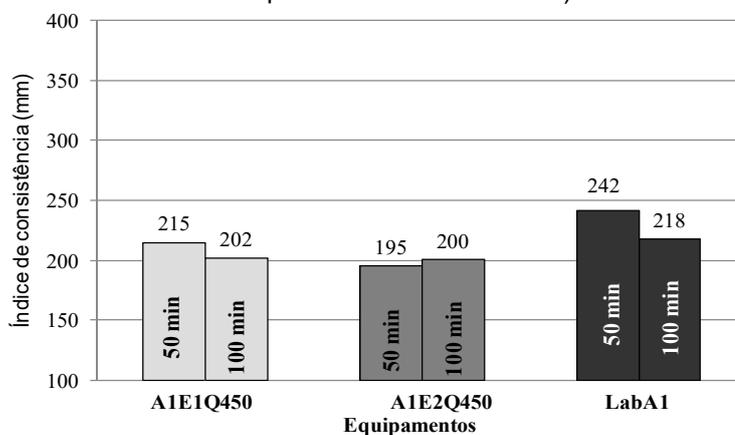
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	3178,8	2	1589,4	294,90	0,00	Sim
Tempo	490,9	1	490,9	91,90	0,00	Sim
Equipamento*Tempo	627,4	2	313,7	58,20	0,00	Sim
Erro	65	12	5			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Aos 50 minutos, pode-se notar que, para a mesma vazão, o equipamento 1 (A1E1Q450) proporciona um resultado de índice de consistência médio superior ao equipamento 2 (A1E2Q450), conforme pode ser visualizado na Figura 44. Acrescenta-se a isto, o fato de que a média dos resultados para a argamassa referência (LabA1), em ambos os tempos, apresenta espalhamento superior. Comparativamente à argamassa referência (LabA1), conforme dosagem indicada pelo fabricante, pode-se afirmar que as argamassas A1E1Q450 e A1E2Q450, utilizadas em obra, possuem menor fluidez. O resultado é esperado, uma vez que a argamassa referência, produzida em argamasseira planetária, tem uma energia de mistura superior.

Figura 44: influência do tipo de equipamento no índice de consistência da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Além disso, no tempo de 100 minutos, quando o ensaio foi repetido, os resultados, independentemente do equipamento utilizado, apresentam menor diferença entre si. A totalidade das argamassas coletadas e produzidas apresentam redução deste índice aos 100 minutos, ao contrário da argamassa coletada no equipamento 2 (A1E2Q450), apesar da pouca variação entre os tempos de 50 e 100 minutos.

De acordo com a análise múltipla de médias feita pelo método de Fisher, apresentada na Tabela 12, verificou-se que a diferença é significativa comparando-se a totalidade dos resultados, exceto o índice de consistência, avaliado aos 50 minutos, do equipamento 1 (A1E1Q450) em relação ao referência (LabA1) aos 100 minutos.

Comparando-se os sistemas de projeção (A1E1Q450 e A1E2Q450), nota-se, pela análise múltipla de médias, que a diferença é significativa aos 50 minutos, porém no tempo de 100 minutos não há diferença significativa entre os resultados.

Tabela 12: análise múltipla de médias do índice de consistência da A1.

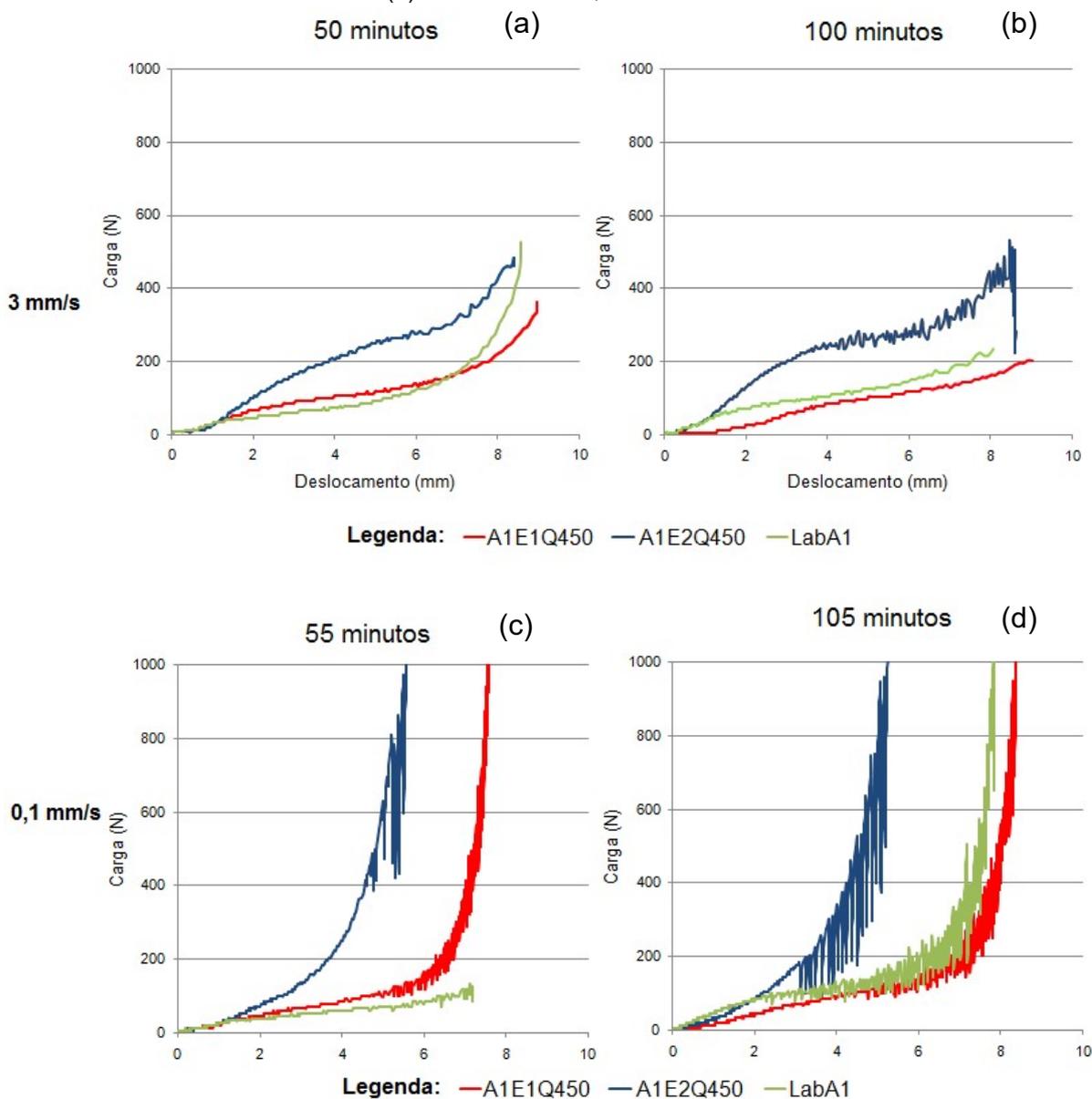
Equipamento	Tempo (min)	1	2	3	4	5	6	
1	A1E1Q450	50		0,000023	0,000000	0,000005	0,000000	0,139459
2	A1E1Q450	100	0,000023		0,003074	0,312125	0,000000	0,000003
3	A1E2Q450	50	0,000000	0,003074		0,021656	0,000000	0,000000
4	A1E2Q450	100	0,000005	0,312125	0,021656		0,000000	0,000001
5	LabA1	50	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,000000
6	LabA1	100	0,139459	0,000003	0,000000	0,000001	0,000000	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

Ao analisar o *squeeze-flow*, observa-se na Figura 45, as descontinuidades de escoamento devidas, provavelmente, a presença de bolhas de ar que se acomodam ao longo da aplicação da carga de compressão. Conforme as bolhas de ar saem do interior da mistura, causam alívios de carga, que voltam a aumentar com o travamento dos agregados. Na Figura 45 (c) e Figura 45 (d) com menor velocidade de carregamento (0,1 m/s) pode-se verificar a variação de carga devido ao fluxo descontínuo do material.

Figura 45: ensaio de *squeeze-flow* para A1 (coletada em obra e produzida em laboratório). (a) velocidade de 3mm/s aos 50 minutos; (b) velocidade de 3 mm/s aos 100 minutos; (c) velocidade de 0,1 mm/s aos 50 minutos e (d) velocidade de 0,1 mm/s aos 100 minutos.



(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se verificar, na Figura 45 (c) e Figura 45 (d), que a diminuição da velocidade de carregamento gera uma maior dificuldade para a realização da deformação do material. Além disso, observa-se que para a velocidade de carregamento de 3 mm/s, a fase II (plástica) é mais longa. Para a velocidade de 0,1 mm/s, a fase III, quando ocorre elevação da carga por enrijecimento devido à deformação dos grãos, encontra-se bem caracterizada.

Aos 50 e 100 minutos, com velocidade de 3 mm/s, a argamassa coletada do equipamento 2 (A1E2Q450) necessita maiores cargas para deformação do material do que a argamassa

referência (LabA1) e também em relação ao equipamento 1 (A1E1Q450). Para a velocidade de ensaio de 0,1 mm/s, aos 55 e 105 minutos, nota-se tendência semelhante à maior velocidade de carregamento, bem como a constatação de que a argamassa coletada no equipamento 2 (A1E2Q450) atinge a carga máxima do ensaio com menor deslocamento se comparado ao equipamento 1 (A1E1Q450).

Pode-se afirmar que, existe coerência ao se relacionar o índice de consistência e o *squeeze-flow*, visto que quanto menores os valores do índice de consistência, maior a resistência ao escoamento do material, sendo necessária maior força/carga para deslocamento.

Os equipamentos de projeção utilizados para a projeção de argamassas, A1E1Q450 e A1E2Q450, possuem princípio de funcionamento distintos, diferenciando-se entre si, basicamente pelo tempo e forma como a mistura seca entra em contato com a água, bem como, possivelmente, energia de mistura distintas. Antunes, John e Pileggi (2005) citam que a energia utilizada no amassamento, a quantidade de água e o tempo de mistura são fatores que exercem grande influência nas propriedades da argamassa.

De acordo com Pileggi *et al.* (2001), foi observado que a forma de adição de água, altera significativamente o processo e o comportamento reológico resultante. Barbosa (2010) testou duas aplicações de energias de mistura diferentes e concluiu que resultaram em propriedades reológicas distintas, as quais puderam ser observadas em outros ensaios do estado fresco. Em decorrência disso, justifica-se a ocorrência de diferença estatisticamente significativa ao avaliar o índice de consistência e comportamentos distintos de argamassas submetidas ao ensaio de *squeeze-flow*, visto que são técnicas de caracterização reológica.

O fato de que o E2, com abastecimento via úmida, em que o tempo de contato com a água é superior, ter proporcionado resultados com maior necessidade de carga para igual deslocamento em relação ao E1, o qual apresenta abastecimento via seca, pode estar relacionada a possibilidade de possuir energias de mistura diferentes. Além disso, a argamassa produzida no E2 necessita possuir uma reologia tal que evite sua segregação, apresentando maior resistência ao escoamento e menor fluidez, com possibilidade de entupimento da mangueira. Por fim, a argamassa referência, produzida em argamassadeira planetária, tende a ter maior incorporação de ar em sua mistura, devida a alta velocidade de rotação, resultando em maiores índices de consistência.

Em relação à densidade de massa, verifica-se, através da análise estatística (ANOVA), na Tabela 13, que o equipamento influenciou significativamente na variável de resposta.

Tabela 13: análise de variância da densidade de massa no estado fresco da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

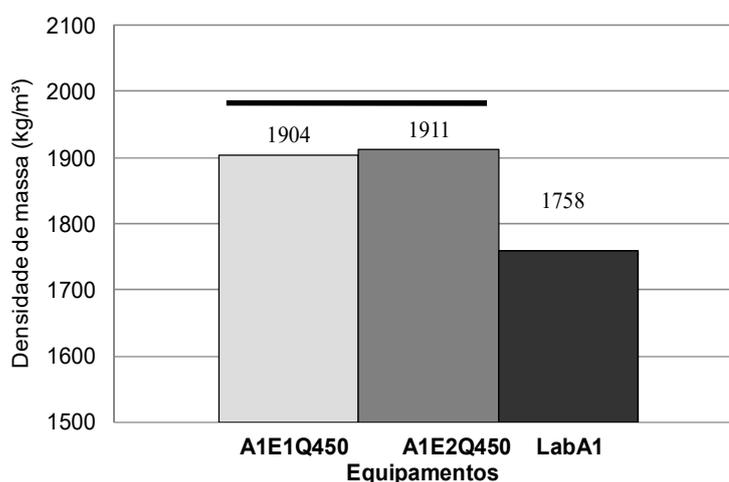
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	30118	2	15059	407,20	0,00	Sim
Erro	111	3	37			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se notar semelhança entre os resultados das coletas realizadas com a mesma vazão de entrada de água (A1E1Q450 e A1E2Q450), conforme Figura 46. É importante ressaltar a discrepância no valor de referência produzido em argamassadeira (LabA1) comparativamente com as coletas de argamassa fresca. A análise estatística feita pelo método de Fisher mostra que as coletas realizadas nos diferentes equipamentos não são significativamente diferentes entre si, apenas em relação à argamassa referência (LabA1). Ou seja, neste caso, os equipamentos de projeção não apresentaram diferença entre si, apenas em relação à argamassa referência, produzida em argamassadeira. A diferença significativa confirma o que foi observado nos valores de índice de consistência e escoamento no *squeeze-flow* da argamassa referência, em que o procedimento de mistura, com maior energia de mistura, provavelmente está incorporando maior teor de ar, reduzindo a sua densidade.

Figura 46: influência do equipamento na densidade de massa no estado fresco da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

No ensaio de teor de ar incorporado, a Tabela 14, de análise de variância (ANOVA), mostra que os diferentes equipamentos não apresentam influência significativa na variável de resposta.

Tabela 14: análise de variância do teor de ar incorporado da A1O1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

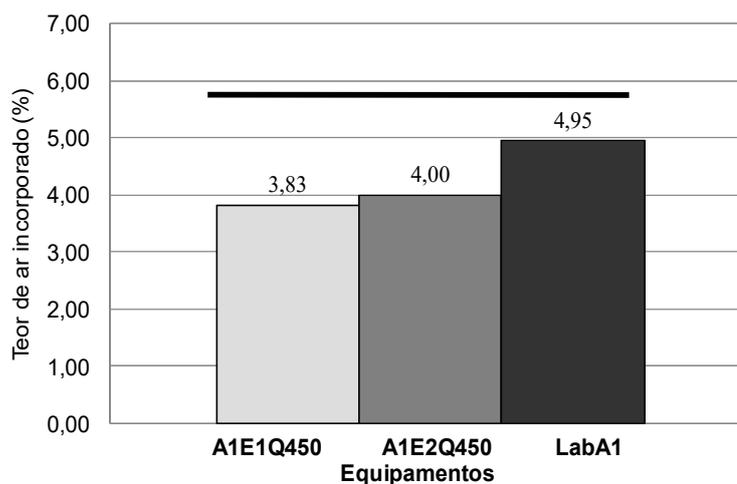
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	1,47	2	0,7329	3,511	0,16378	Não
Erro	0,63	3	0,2087			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Percebe-se, através da Figura 47, que o equipamento 1 (A1E1Q450), com densidade inferior ao equipamento 2 (A1E2Q450), proporciona resultados médios de teor de ar incorporado também inferior a argamassa produzida com o equipamento E2 e também em relação à referência (FabA1). Pode-se verificar que, para maiores densidades de massa no estado fresco resultam em menores teores de ar incorporado, comparando a Figura 46 e Figura 47, conforme esperado. Entretanto, pondera-se que em ambos não há diferença estatisticamente significativa entre os resultados.

Figura 47: influência do equipamento no teor de ar incorporado da A1O1 ensacada (coleta e fabricante)



(fonte: elaborado pela autora)

Outros estudos em argamassa industrializada, tais como Casali *et al.* (2001) e Romano *et al.* (2009), avaliaram o teor de ar incorporado, a partir de diferentes tempos e energias de mistura distintas, sendo confirmada a ocorrência de aumento no teor de ar incorporado devido ao aumento do tempo de mistura. Este fato é confirmado neste trabalho, já que o E2, com abastecimento via úmida, apresenta maior período de tempo em contato com a água, do que E1. Além disso, apresenta maior tempo de mistura devido ao bombeamento em que o material já misturado (úmido) é transportado com o auxílio de um compressor de ar, simulando a continuidade da mistura. Entretanto, o fato de não apresentar diferença estatística significativa entre os equipamentos é um resultado que deve ser posteriormente investigado através de

trabalhos futuros, reforçado pela ocorrência de que Nakakura e Cincotto (2001) ao investigar a influência do tempo e forma de mistura encontraram variações de até 50% nos resultados. Neste trabalho, pode-se verificar através da Tabela 10, a ocorrência de altos valores de coeficiente de variação (para A1E2Q450 e LabA1) neste ensaio, o que pode ter prejudicado a verificação da influência do sistema nesta propriedade. Outro fato que pode ter ocorrido, com menor probabilidade, devido aos resultados de outras propriedades, é que os equipamentos analisados possuem energias de mistura semelhantes.

Em relação ao ensaio adaptado da retenção de água verifica-se, através da análise estatística (ANOVA), na Tabela 15, que o equipamento exerceu efeito significativo na variável de resposta, ou seja, o sistema apresenta influência em relação a esta propriedade.

Tabela 15: análise de variância da perda de água (15 minutos) da A1O1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

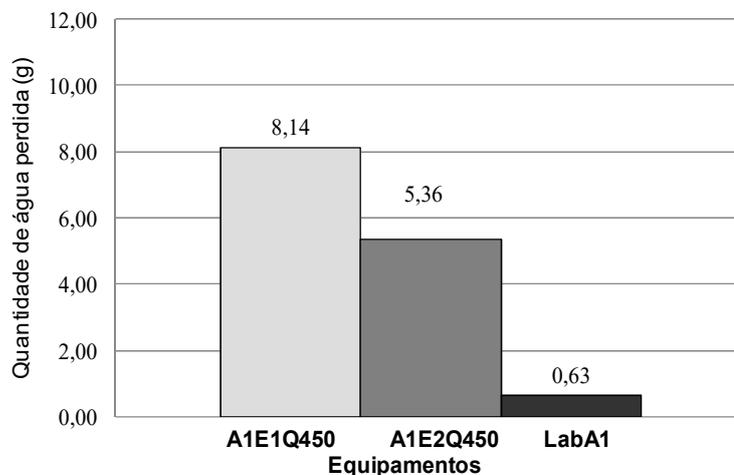
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	57,74	2	28,8681	1376,858	0,00004	Sim
Erro	0,06	3	0,0210			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Nota-se, através da Figura 48, que a perda de água é mais significativa no equipamento 1 (A1O1E1), comparando-se ao equipamento 2 (A1O1E2). Além disso, verifica-se a existência de redução significativa da quantidade de água perdida na argamassa referência (LabA1), a qual foi preparada de acordo com as instruções do fabricante. Pode-se constatar, através da análise múltipla de médias pelo método de Fisher que as argamassas coletadas e realizadas em laboratório possuem resultados estatisticamente diferentes entre si.

Figura 48: influência do equipamento na perda de água (15 minutos) da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

A retenção de água é definida por Cincotto, Silva e Cascudo (1995) como a capacidade da argamassa fresca manter sua consistência ou trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam perda de água. Estes autores descrevem que a retenção de água além de determinar as condições de manuseio da argamassa, influi também sobre as propriedades no estado endurecido, pois, a retenção de água modifica as condições de contato da argamassa com o substrato agindo sobre a retração de secagem, resistência mecânica e aderência do revestimento. O resultado encontrado corrobora com o estudo realizado por Barbosa (2010), o qual concluiu que diferentes energias de mistura proporcionam distintas quantidades de água succionadas.

Acrescenta-se a isso, o fato de que Do Ó (2004), afirma que argamassas com maiores teores de ar incorporado são menos consistentes, ou seja, mais fluidas (maiores índices de consistência), sendo que possivelmente promove uma maior quantidade de água livre na estrutura e a perda de água torna-se mais acentuada, ou seja, com redução da retenção de água. O mesmo comportamento pode ser verificado no trabalho de Stolz (2011). Porém, no trabalho em questão, não se verificou o mesmo comportamento, pois as argamassas com maiores teores de ar incorporado apresentam menor quantidade de água perdida e maior capacidade de retenção de água. Provavelmente, isso decorre do fato de existirem outros aditivos na argamassa, os quais são desconhecidos e não foram informados pelo fabricante. Alguns aditivos, somados à diferentes energias de mistura, podem atuar como promotores de plasticidade, com redução da exsudação, influenciando diretamente na retenção de água. Além disso, a análise em questão ficou prejudicada pelo fato de que os coeficientes de variação do ensaio de teor de ar incorporado são elevados.

No entanto, os resultados encontrados corroboram o estudo de Moura (2007), a qual verificou ocorrência contrária à Do Ó (2004) e Stolz (2011). Através do aumento da incorporação de ar, as bolhas de ar, além de proporcionarem melhor rolamento entre as partículas, com melhoria da plasticidade, proporcionam maior retenção de água. Ou seja, a perda de água (quantidade de água perdida, em gramas) é menor.

#### 5.2.1.2 Estado endurecido

A seguir, podem-se verificar os resultados médios obtidos, o coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP) de cada uma das propriedades no estado endurecido, das argamassas analisadas.

A Tabela 16 apresenta informações do módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade e a Tabela 17 em relação às resistências mecânicas e densidade de massa aparente.

Tabela 16: módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas por diferentes equipamentos, aos 28 dias

Variáveis de resposta (Estado endurecido)								
Nomenclatura	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)	Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Média (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	DP (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	CV (%)
<b>A1E1Q450</b>	10,69	10,48	0,30	2,89	6,60	6,60	0,30	4,47
	10,13				6,89			
	10,62				6,30			
<b>A1E2Q450</b>	11,08	11,04	0,05	0,43	5,78	5,34	0,47	8,75
	11,06				4,85			
	10,99				5,40			
<b>LabA1</b>	10,72	10,80	0,54	5,01	5,04	4,82	0,19	4,00
	11,37				4,74			
	10,30				4,68			

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 17: resistência à tração na flexão, resistência à compressão e densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas produzidas por diferentes equipamentos, aos 28 dias

Variáveis de resposta (Estado endurecido)												
Nomenclatura	Resistência à tração na flexão (MPa)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
<b>A1E1Q450</b>	3,05	3,06	0,17	5,52	8,81	7,36	0,95	12,90	1700	1752	35	1,98
	2,89				5,94				1722			
	3,23				7,34				1727			
					6,93				1774			
					7,30				1810			
					7,83				1750			
									1797			
									1718			
									1765			
									1772			
									1721			
<b>A1E2Q450</b>	1,79	1,96	0,23	11,59	6,69	7,15	0,60	8,38	1748	1757	20	1,14
	2,22				6,46				1746			
	1,88				8,18				1733			
	2,00				7,18				1799			
					7,35				1776			
					7,06				1755			
					6,6				1754			
					6,88				1735			
									1756			
									1745			
									1786			
<b>LabA1</b>	2,09	2,18	0,09	3,93	5,20	5,12	0,77	15,09	1583	1601	14	0,89
	2,19				5,32				1584			
	2,26				3,69				1583			
					5,08				1622			
					5,38				1606			
					6,02				1605			
									1595			
									1603			
									1596			
									1596			
									1624			
		1614										

(fonte: elaborado pela autora)

No ensaio de resistência à tração na flexão, os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Na Tabela 18 encontra-se a análise realizada que mostra a existência de inferência estatística entre os equipamentos analisados.

Tabela 18: análise de variância da resistência à tração na flexão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

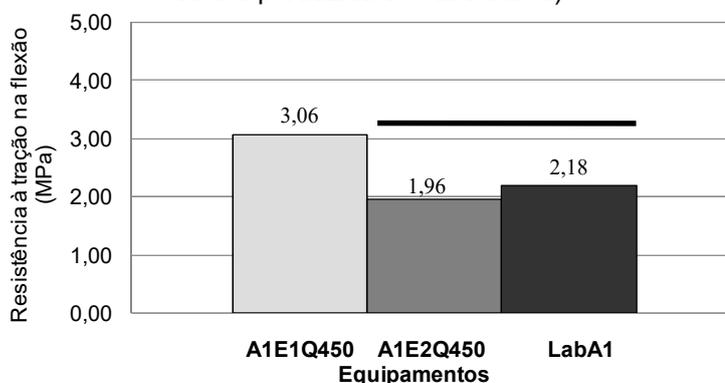
	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Equipamento	2,167	2	1,08	43,009	0,00	Sim
Erro	0,17633	7	0,02519			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Através da Figura 49, pode-se afirmar que a coleta realizada no equipamento 1 (A1E1Q450) proporciona resultados desta propriedade superiores à argamassa de referência (LabA1), a qual é maior se comparado a coleta realizada no equipamento 2 (A1E2Q450). Através de uma análise múltipla de médias pelo teste de Fisher, verifica-se que apresentam diferença significativa as coletas realizadas nos equipamentos (A1E1Q450 e A1E2Q450), porém não há diferença entre o equipamento 2 (A1E2Q450) e a argamassa referência (LabA1). Isto é, o sistema de projeção influencia nesta propriedade da argamassa.

Figura 49: influência do equipamento na resistência à tração na flexão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Em relação à resistência à compressão, os resultados foram analisados estatisticamente através do método de análise de variância (ANOVA). Na Tabela 19, encontra-se a análise realizada, que mostra a existência de inferência estatística entre os equipamentos analisados.

Tabela 19: análise de variância da resistência à compressão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

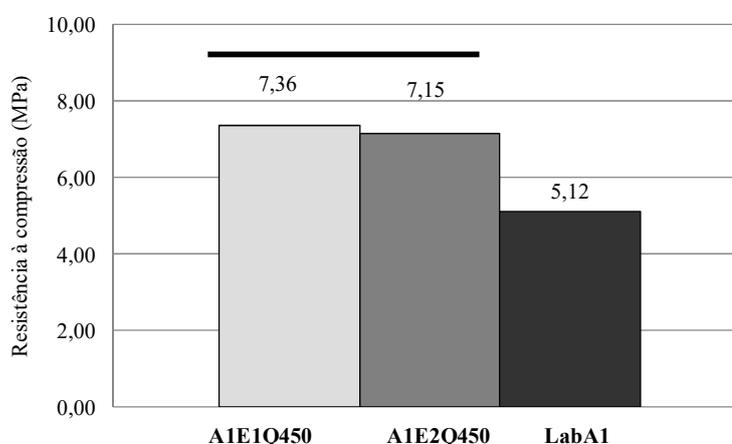
	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Equipamento	18,235	2	9,118	16,177	0,00	Sim
Erro	9,58120	17	0,5636			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pela análise da Figura 50, pode-se afirmar que a coleta realizada no equipamento 1 (A1E1Q450) proporciona resultados desta propriedade superiores a coleta realizada no equipamento 2 (A1E2Q450). Além disso, a argamassa referência apresenta resultado médio inferior em relação às argamassas produzidas em equipamentos de projeção. Através de uma análise estatística pelo teste de Fisher, verifica-se que não apresentam diferença significativa as coletas realizadas nos equipamentos (A1E1Q450 e A1E2Q450), apenas em relação à argamassa referência (LabA1). Isto é, o sistema de projeção não influencia nesta propriedade da argamassa.

Figura 50: influência do equipamento na resistência à compressão da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Mattana *et al.* (2012) consideram que quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a trabalhabilidade e menor a resistência mecânica. Este fato pode ser verificado, no presente trabalho, através da Figura 47, Figura 49 e Figura 50, em que quanto maior o teor de ar incorporado houve tendência de redução da resistência mecânica, respectivamente, à compressão e tração na flexão. Alves (2002) sugere que este comportamento pode ser relacionado à presença de bolhas de ar maiores que reduzem a resistência mecânica. Além disso, nota-se, através da Tabela 17 do presente trabalho, valores elevados de coeficiente de

variação para a resistência à compressão, o que pode ter prejudicado a análise estatística e em decorrência disso, não ocorreu diferença entre os resultados dos equipamentos/sistemas analisados.

Em relação ao módulo de elasticidade, analisando-se a ANOVA, conforme Tabela 20, é possível verificar que não há inferência estatística entre os diferentes equipamentos. Isto é, os distintos sistemas e consequente as formas de mistura não influenciam nesta propriedade.

Tabela 20: análise de variância do módulo de elasticidade da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	0,471	2	0,24	1,832	0,24	Não
Erro	0,77	6	0,129			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

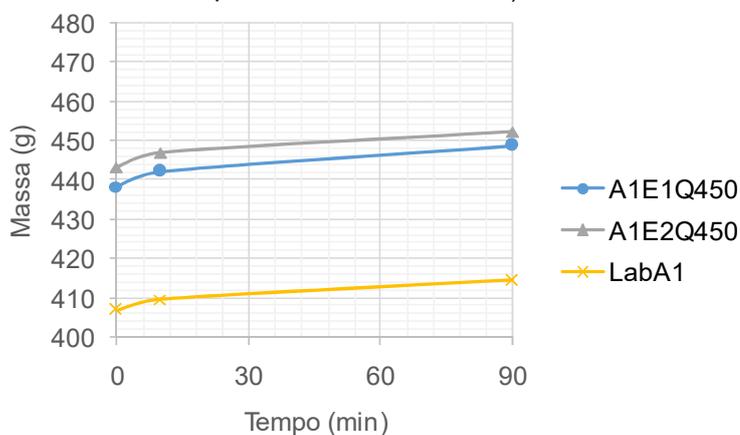
Moura (2007), ao avaliar argamassas industrializadas, verificou que a argamassa com maior incorporação de ar, é também coerente que apresente menor módulo, já que a velocidade de propagação da onda é maior em função dos vazios. Fernandes *et al.* (2009) encontraram o mesmo comportamento ao avaliarem argamassas industrializadas de projeção. Neste trabalho, pode-se inferir também que existe relação entre o módulo de elasticidade e o teor de ar incorporado, já que ambos não apresentam diferença estatística significativa entre os resultados.

Moura (2007), ao caracterizar argamassas industrializadas, encontrou valores médios de 7,42 GPa e 3,80 GPa. Araújo Júnior (2004) encontrou o resultado médio de 7,71 GPa. Pode-se verificar, através da Tabela 16, que os valores encontrados neste trabalho são superiores (entre 10,48 GPa e 11,04 GPa). Em decorrência disso, é possível afirmar que possivelmente o revestimento executado com estas argamassas terá menor capacidade de absorver deformações sem que fissure ou, no caso de estarem aderidas ao substrato, sem que ocorra descolamento.

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, que foi executado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005) e se obteve como resultado o coeficiente de capilaridade (C), é possível verificar, através da Figura 51, com a curva absorção de água ao longo do tempo (até 90 minutos), que a absorção é representativamente inferior na argamassa com dosagem recomendada pelo fabricante (LabA1) comparativamente às argamassas coletadas em obra. Isso se deve ao fato de que a argamassa referência (LabA1) foi preparada em argamassa planetária, com maior energia de mistura e maior incorporação de ar. Além disso, possivelmente, apresenta quantidade de água distinta em relação às coletas em obra. Pode-se

verificar também que a curva de absorção mostra resultados semelhantes entre as coletas realizadas com a mesma vazão.

Figura 51: absorção de água por capilaridade ao longo do tempo da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se a análise de variância (ANOVA) do coeficiente de capilaridade, conforme Tabela 21, sendo possível verificar que há inferência estatística entre os diferentes equipamentos.

Tabela 21: análise de variância do coeficiente de capilaridade ao longo do tempo da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

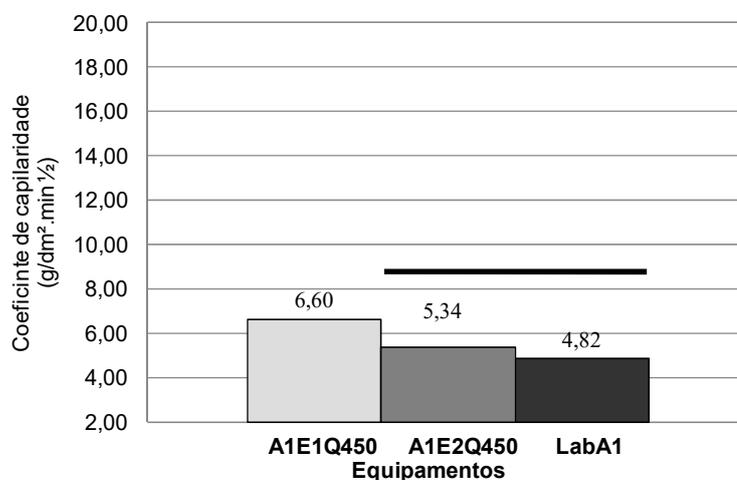
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	5,001	2	2,5006	21,880	0,00	Sim
Erro	0,6857	6	0,1143			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

O valor do coeficiente médio de capilaridade da argamassa é superior aos demais no equipamento 1 (A1E1Q450) e o menor valor foi encontrado na argamassa referência (LabA1), conforme pode ser verificado na Figura 52. A partir da análise estatística pelo método do teste de Fisher, verifica-se que, estatisticamente, os equipamentos coletados com a mesma vazão e argamassa apresentam diferença estatística entre si. Entretanto, a argamassa de referência (LabA1), com dosagem conforme a recomendação do fabricante, não mostra diferença em relação ao equipamento 2 (A1E2Q450).

Figura 52: influência do equipamento no coeficiente de capilaridade da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Moura (2007) verificou, em parte dos resultados, relação entre a ocorrência de redução de absorção com o aumento da resistência, o que se justifica pela menor porosidade. Entretanto, para uma das argamassas industrializadas caracterizadas pela autora, verificou-se comportamento inverso. Este fato, também foi constatado nesta dissertação. Constatou-se que o coeficiente de capilaridade é inversamente proporcional aos resultados de teor de ar incorporado, conforme era esperado, ainda que sem inferência estatística entre os resultados. Possivelmente, a ocorrência se deve a presença de maior incorporação de ar na argamassa com redução da absorção de água por capilaridade, uma vez que as bolhas de ar interrompem e/ou dificultam a passagem do fluxo nos capilares, reduzindo a conectividade dos poros, conforme afirmado por Paulo (2006). O fato em questão também já foi constatado por Hanzic e Ilic (2003) e Silva et al. (2009).

Por fim, em relação à densidade aparente no estado endurecido, pode-se verificar através da Tabela 22, que o equipamento tem efeito significativo na variável de resposta.

Tabela 22: análise de variância da densidade de massa aparente da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Equipamento	189255	2	94627	157,50	0,00	Sim
Erro	19826	33	601			

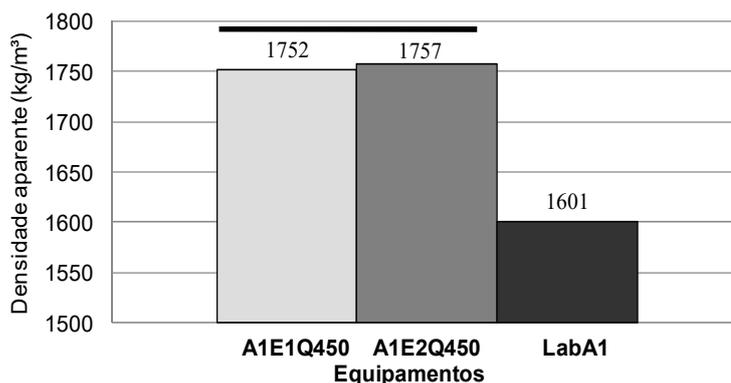
SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

O valor da densidade de massa é superior aos demais no equipamento 2 (A1E2Q450) e o menor valor foi encontrado na argamassa referência (LabA1), conforme pode ser verificado na

Figura 53. A partir da análise estatística pelo método do teste de Fisher, verifica-se que não existe diferença significativa, estatisticamente, entre os equipamentos coletados com os sistemas 1 e 2 (A1E1Q450 e A1E2Q450). Porém, verifica-se que comparativamente à argamassa referência (LabA1) a diferença é estatisticamente significativa.

Figura 53: influência do equipamento na densidade aparente da A1 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

A propriedade em questão está atrelada ao teor de ar incorporado. Salienta-se que ambos os ensaios não apresentaram inferência estatística entre os resultados obtidos, ou seja, o equipamento de projeção não influencia em ambas as propriedades. Em relação à argamassa referência, possivelmente a diferença encontrada é decorrente da quantidade de água adicionada, visto que a dosagem é conforme a recomendação do fabricante, bem como a energia de mistura superior em relação aos equipamentos de projeção, com maior incorporação de ar.

## 5.2.2 Influência da vazão de entrada de água

Neste item será analisada a influência de vazões distintas, ou seja, quantidade de entrada de água utilizada na mistura, através do mesmo equipamento (E3) e fabricante de argamassa (A2), primeiramente em relação às propriedades no estado fresco e após, no estado endurecido.

### 5.2.2.1 Estado fresco

Na Tabela 23 e na Tabela 24, podem-se verificar os resultados médios obtidos, os coeficientes de variação (CV) e os desvios padrão (DP) de cada uma das caracterizações no estado fresco das argamassas analisadas. A Tabela 23 apresenta informações do índice de consistência e

densidade de massa e a Tabela 24 em relação ao teor de ar incorporado e retenção de água (quantidade de água perdida).

Tabela 23: índice de consistência e densidade de massa das argamassas produzidas com vazões distintas

Variáveis de resposta (Estado fresco)							
Nomenclatura	Tempo (min)	Índice de consistência (mm)	Média (mm)	Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
A2E3Q400	50	251	248	1827	1823	5	0,30
	50	246		1819			
	50	246					
	100	275	274				
	100	278					
	100	268					
A2E3Q450	50	359	349	1933	1941	11	0,58
	50	344		1949			
	50	343					
	100	290	292				
	100	293					
	100	294					
A2E3Q750	50	335	318	1978	1979	2	0,08
	50	298		1980			
	50	320					
	100	330	335				
	100	332					
	100	344					
LabA2	50	364	365	1837	1839	3	0,16
	50	364		1841			
	50	368					
	100	356	360				
	100	368					
	100	356					

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 24: teor de ar incorporado e quantidade de água perdida das argamassas produzidas com vazões distintas

Variáveis de resposta (Estado fresco)								
Nomenclatura	Teor de ar incorporado (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)	Quantidade de água perdida (g)	Média (g)	DP (g)	CV (%)
A2E3Q400	4,7	4,75	0,07	1,49	9,31	9,44	0,18	1,95
	4,8				9,57			
A2E3Q450	2,3	2,30	0,00	0,00	14,3	14,50	0,28	1,90
	2,3				14,69			
A2E3Q750	2,3	2,20	0,14	6,43	15,4	16,26	1,21	7,44
	2,1				17,11			
LabA2	3,5	3,55	0,07	1,99	7,96	7,87	0,13	1,71
	3,6				7,77			

(fonte: elaborado pela autora)

Em relação ao índice de consistência, pode-se afirmar conforme a Tabela 25, que a vazão e a interação entre vazão e tempo de ensaio proporcionam diferença significativa nos resultados. Entretanto, o tempo de ensaio (50 e 100 minutos), analisado isoladamente, não apresenta diferença significativa.

Tabela 25: análise de variância do índice de consistência da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

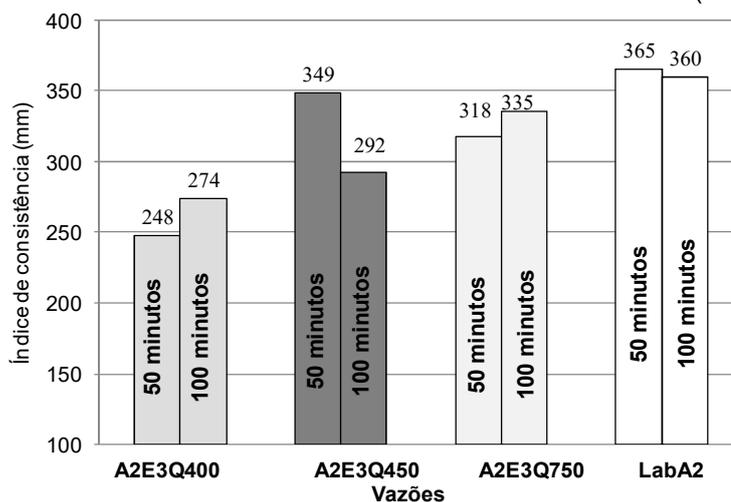
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	32160	3	10720	148,80	0,00	Sim
Tempo	122	1	122	1,69	0,21	Não
Vazão*Tempo	6163	3	2054	28,52	0,00	Sim
Erro	1153	16	72			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Através da Figura 54, observa-se que existe uma tendência de aumento do índice de consistência com o aumento da vazão, independentemente do tempo de ensaio (aos 50 e 100 minutos), exceto a A2E3Q450, aos 50 minutos, a qual apresentou resultado inesperado. Além disso, verifica-se similaridade entre os resultados médios para a argamassa referência (LabA2) e também superiores em relação às coletas realizadas em obra. Esta ocorrência está ligada à dosagem da argamassa (quantidade de água adicionada) e principalmente através da energia de mistura ser superior às argamassas produzidas em obra.

Figura 54: influência da vazão no índice de consistência da A2 ensacada (coleta e fabricante)



(fonte: elaborado pela autora)

A fim de complementar esta análise, foi realizada uma análise múltipla de médias feita pelo método de Fisher, apresentada na Tabela 26. Pode-se verificar que os resultados da argamassa referência produzida em laboratório (LabA2), com tempo de 50 e 100 minutos, não

apresentam diferença significativa entre si. Em decorrência disso que o tempo, de 50 e 100 minutos, não foi considerado significativo, entretanto ao considerarmos apenas equipamentos utilizados para projeção, no caso o E3, a diferença é significativa

Ainda em relação à análise múltipla de médias, verifica-se que os resultados de índice de consistência para as vazões de 450L/h, denominada de A2E3Q450, aos 50 minutos, e aos 100 minutos da argamassa referência (LabA2) não houve diferença significativa nos resultados, bem como em relação à vazão de 450 L/h aos 50 minutos e 750 L/h aos 100 minutos. Os demais resultados, quando comparados entre si, apresentam inferência estatística.

Tabela 26: análise múltipla de médias do índice de consistência da A1.

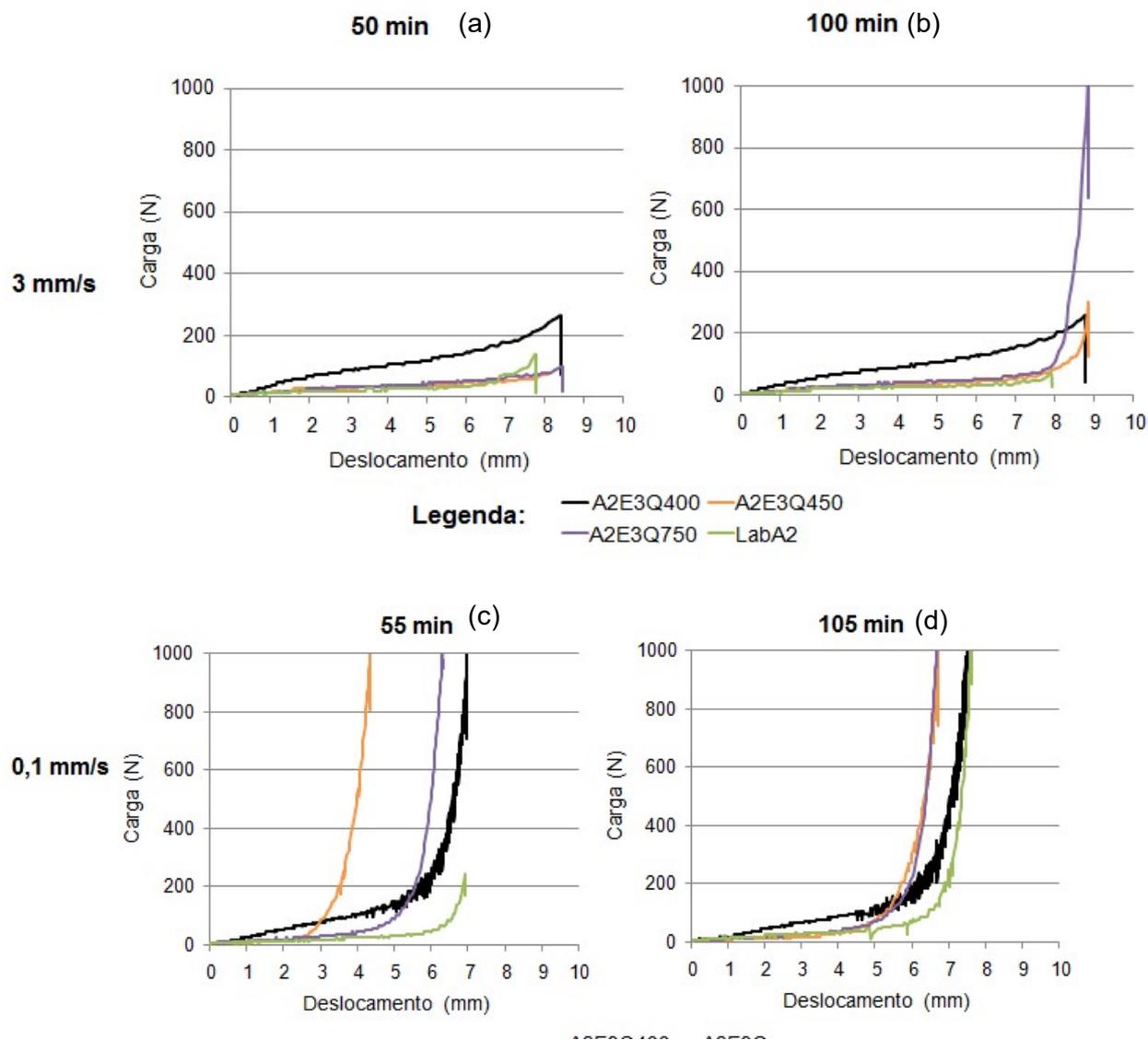
	Vazão	Tempo (min)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	LabA2	50		0,452763	0,000000	0,000000	0,028637	0,000000	0,000004	0,000519
2	LabA2	100	0,452763		0,000000	0,000000	0,121492	0,000000	0,000015	0,002615
3	A2E3Q400	50	0,000000	0,000000		0,001742	0,000000	0,000008	0,000000	0,000000
4	A2E3Q400	100	0,000000	0,000000	0,001742		0,000000	0,015983	0,000010	0,000000
5	A2E3Q450	50	0,028637	0,121492	0,000000	0,000000		0,000000	0,000384	0,072338
6	A2E3Q450	100	0,000000	0,000000	0,000008	0,015983	0,000000		0,002134	0,000013
7	A2E3Q750	50	0,000004	0,000015	0,000000	0,000010	0,000384	0,002134		0,021437
8	A2E3Q750	100	0,000519	0,002615	0,000000	0,000000	0,072338	0,000013	0,021437	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

Quanto à reologia da argamassa, foi realizado também o ensaio de *squeeze-flow*, apresentado na Figura 55. Na Figura 55 (a) e Figura 55 (b) são apresentados os resultados do ensaio com maior velocidade de aplicação de carga (3 mm/s) e na Figura 55 (c) e Figura 55 (d) com velocidade de aplicação de carga de 0,1 mm/s.

Figura 55: ensaio de *squeeze-flow* para A2. (a) velocidade de 3 mm/s aos 50 minutos; (b) velocidade de 3 mm/s aos 100 minutos; (c) velocidade de 0,1 mm/s aos 55 minutos e (d) velocidade de 0,1 mm/s aos 105 minutos



Fonte: elaborado pela autora

Pode-se afirmar através da Figura 55 (c) e Figura 55 (d), que a diminuição da velocidade de carregamento gera uma maior dificuldade para a realização da deformação do material. Em relação à velocidade de aplicação do carregamento de 3 mm/s, aos 50 minutos, nota-se que para as vazões de 450 e 750 L/h, bem como a argamassa referência, os valores são inferiores à vazão inferior, de 400 L/h, e apresentam comportamento similar. Isto é, a argamassa com menor vazão de entrada de água, 400 L/h, apresenta maior resistência ao deslocamento. Nota-se, através da Figura 55 (b), com velocidade de aplicação de 3 mm/s e tempo de 100 minutos, a fase III, de enrijecimento de deformação na A2E3Q750. Além disso, nota-se, com a mesma velocidade de carregamento de 3 mm/s, da mesma forma de que ocorrido aos 50 minutos, a

argamassa com vazão inferior, 400 L/h, apresenta maior resistência ao deslocamento, em grande parte do ensaio.

Aos 55 minutos, com menor velocidade de carregamento, 0,1 mm/s, percebe-se, através da Figura 55 (c), a necessidade de maior aplicação de carga na argamassa produzida com 450 L/h para o mesmo deslocamento, em grande parte do ensaio. Além disso, verifica-se similaridade entre a vazão de 400 L/h e 750 L/h (A3E3Q400 e A2E3Q750). Em relação ao tempo de 105 minutos, verifica-se comportamento similar, de menores deslocamentos, para as argamassas produzidas com vazão de 450 e 750 L/h (A2E3Q450 e A2E3Q750) a fim de atingir a carga máxima.

Os parâmetros mais importantes, quando da utilização das argamassas industrializadas, comumente utilizadas no processo de projeção mecanizado são, além do tempo de mistura e características dos agregados, o teor de água. Crescêncio *et al.* (2000) afirma que a consistência das argamassas projetáveis deve ser tal que permita a passagem da argamassa pela bomba e pelo mangote e também proporcione boa aderência ao substrato. O estudo em questão nesta dissertação corrobora com o trabalho de Santos (2003) que percebeu acréscimo de tensão de escoamento com o aumento do teor de água, ocorrendo decréscimo de consistência com a adição de água (com aumento do índice de consistência). Além disso, Carvalho *et al.* (2004), também verificaram que quanto maior o incremento de água, ocasionando possivelmente diminuição da estruturação interna da pasta aglomerante, maior a fluidez da argamassa. Nesta pesquisa, a argamassa com 450 L/h (A2E3Q450) apresentou maior fluidez aos 50 minutos, entretanto aos 100 minutos, pode-se verificar a tendência de ser diretamente proporcional ao aumento de vazão.

O *squeeze-flow* apesar de, no geral, não apresentar relação entre a vazão de entrada de água e comportamento reológico da argamassa, em alguns casos mostrou que as argamassas com vazão de 400 L/h, para velocidade de aplicação de carga de 3 mm/s, e 450 L/h, para velocidade de carregamento de 0,1 mm/s, necessitam maior carga para o mesmo deslocamento, ou seja, apresentam maior resistência devido à menor fluidez. Esta ocorrência indica maior probabilidade de entupimento/obstrução do mangote.

Em relação à densidade de massa, verifica-se, através da análise estatística (ANOVA), na Tabela 27, que as diferentes vazões foram significativas na variável de resposta.

Tabela 27: análise de variância densidade de massa no estado fresco da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

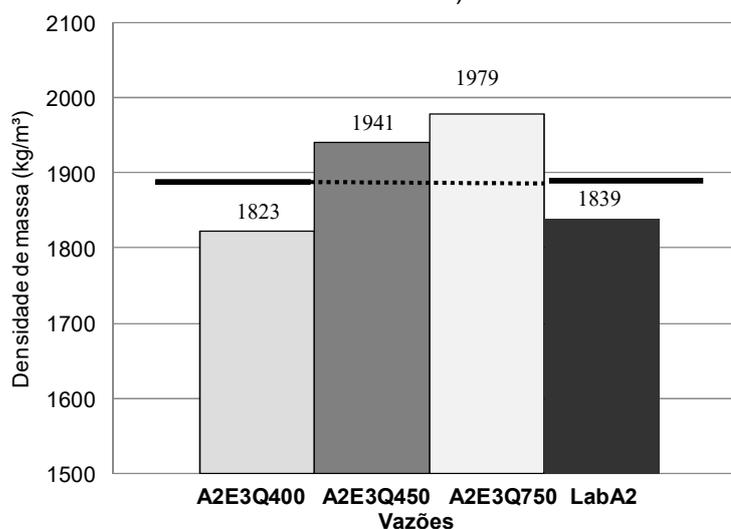
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	34964	3	11655	274,90	0,00	Sim
Erro	170	4	42			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se perceber através da Figura 56, que a densidade de massa da argamassa referência (LabA2) apresenta semelhança com o resultado médio da coleta realizada em equipamento com 400 L/h (A2E3Q400), se comparado as demais vazões. Além disso, verifica-se uma tendência de aumento de densidade de massa com o incremento da vazão de entrada de água. Através de análise múltipla de médias feita pelo método de Fisher, pode-se verificar que há diferença significativa entre as diferentes argamassas coletadas e produzidas, exceto entre a vazão de 400 L/h (A2E3Q400) e a argamassa referência (LabA2).

Figura 56: influência da vazão na densidade de massa da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Através do valor da densidade de massa de uma argamassa, pode-se ter uma indicação do teor de ar existente na mistura e da facilidade de aplicação que a argamassa apresenta, uma vez que quanto menor a densidade de massa, essa se apresentará mais propícia a fornecer um menor esforço para sua aplicação (ALVES, 2002). Ou seja, a argamassa com menor quantidade de água (A2E3Q400) e a referência (LabA2).

Em relação ao teor de ar incorporado, nota-se, através da análise estatística (ANOVA), na Tabela 28, que as diferentes vazões foram significativas na variável de resposta.

Tabela 28: análise de variância do teor de ar incorporado no estado fresco da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

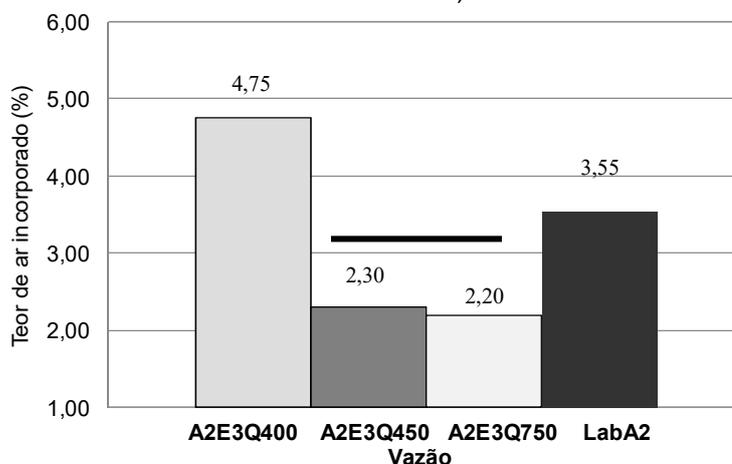
	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Vazão	8,67	3	3	385,33	0,00	Sim
Erro	0	4	0,0075			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se através da Figura 57, que a tendência dos resultados de teor de ar incorporado são inversamente aos de densidade de massa, isto é, quanto maior a vazão, menor o teor de ar incorporado na argamassa. A análise estatística feita pelo método de Fisher mostra que os resultados são estatisticamente significativos entre si para a totalidade das diferentes vazões, exceto os resultados de 450 e 750 L/h (A2E3Q450 e A2E3Q750) para o mesmo equipamento (E3) que não apresentam resultados distintos entre si.

Figura 57: influência da vazão no teor de ar incorporado da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Os resultados encontrados para a densidade de massa e teor de ar incorporado confirmam a tendência encontrada por Santos (2003) e Bauer *et. al* (2013), os quais realizaram caracterização de diferentes fabricantes de argamassa industrializada, em que maiores valores de densidade de massa ocorrem em argamassas com maior vazão (quantidade de água), sendo o teor de ar incorporado com resultados inversamente proporcionais. Este trabalho confirma a constatação de Santos (2003) de que, quanto menor o teor de água, maior o teor de ar incorporado pela mistura, ou seja, o incremento de água favorece a perda da estruturação interna, diminuindo a viscosidade e o teor de ar incorporado. Stolz (2011) também verificou o

mesmo comportamento citado, sendo explicado pelo fato de que a presença das bolhas de ar, torna a argamassa mais aerada e conseqüentemente mais leve.

Quanto à adaptação do ensaio de retenção de água, ou seja, relacionado à quantidade de água perdida, nota-se, através da análise estatística (ANOVA), na Tabela 29, que as diferentes vazões foram significativas na variável de resposta.

Tabela 29: análise de variância da retenção de água da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

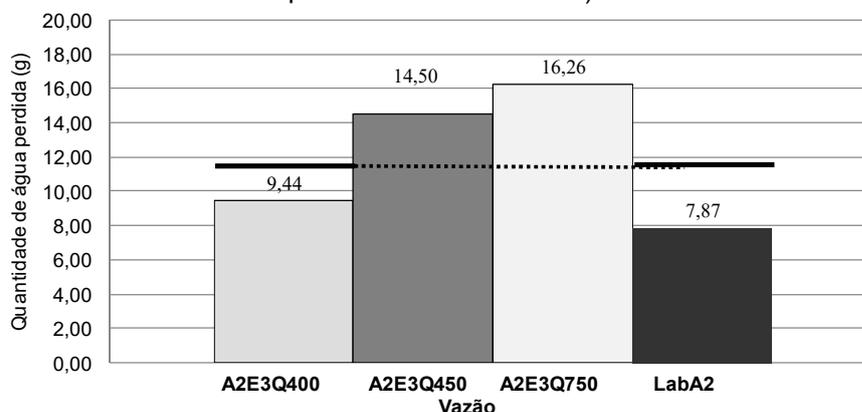
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	96	3	32	80,47	0,00	Sim
Erro	1,59	4	0			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se, através da Figura 58, menor perda de água relacionada à argamassa referência (LabA2). Pode-se constatar através da análise estatística pelo método de Fisher que existe diferença significativa entre as diferentes vazões de entrada de água, exceto em relação ao equipamento coletado com vazão de 400 L/h, o qual não apresenta inferência estatística se comparado com a argamassa referência (LabA2). Além disso, verifica-se tendência de aumento da quantidade de água perdida/succionada com maior quantidade de água utilizada na mistura.

Figura 58: influência da vazão na quantidade de água perdida da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

No entanto, os resultados encontrados corroboram o estudo de Moura (2007), a qual verificou ocorrência contrária à Do Ó (2004) e Stolz (2011), conforme já descrito na análise da influência de distintos sistemas de projeção (A1E1Q450 e A1E2Q450). Através do aumento da incorporação de ar, as bolhas de ar, além de proporcionarem melhor rolamento entre as

partículas, com melhoria da plasticidade, proporcionam maior retenção de água. Ou seja, a perda de água (quantidade de água perdida, em gramas) é menor.

#### 5.2.2.1 Estado endurecido

Na Tabela 30 e na Tabela 31, podem-se verificar os resultados médios obtidos, coeficientes de variação (CV) e desvio padrão (DP) de cada uma das propriedades avaliadas no estado endurecido, aos 28 dias.

A Tabela 30 apresenta informações do módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade e a Tabela 31 em relação às resistências mecânicas e densidade de massa aparente.

Tabela 30: módulo de elasticidade e coeficiente de capilaridade das argamassas produzidas com diferentes vazões

Variáveis de resposta (Estado endurecido)								
Nomenclatura	Módulo de elasticidade dinâmico (GPa)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)	Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	Média (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	DP (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )	CV (%)
<b>A2E3Q400</b>	6,56	6,85	0,25	3,67	13,10	13,87	0,76	5,48
	6,95				13,89			
	7,03				14,62			
<b>A2E3Q450</b>	6,83	6,71	0,37	5,58	15,53	15,48	0,33	2,12
	7,01				15,13			
	6,29				15,78			
<b>A2E3Q750</b>	7,82	7,48	0,33	4,36	16,95	17,06	0,70	4,11
	7,17				17,81			
	7,45				16,42			
<b>LabA2</b>	5,94	5,65	0,27	4,69	18,30	17,81	0,53	3,00
	5,42				17,24			
	5,59				17,88			

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 31: resistência mecânica e densidade de massa aparente no estado endurecido das argamassas produzidas por diferentes equipamentos

Variáveis de resposta (Estado endurecido)												
Nomenclatura	Resistência à tração na flexão (MPa)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Resistência à compressão (MPa)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Densidade aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Média (kg/m <sup>3</sup> )	DP (kg/m <sup>3</sup> )	CV (%)
<b>A2E3Q400</b>	0,91	0,93	0,15	16,24	2,79	2,45	0,38	15,65	1616,85	1620,59	27,18	1,68
	1,09				2,86				1583,57			
	0,79				2,25				1642,12			
	2,69				1626,46							
	1,91				1579,47							
	2,20				1594,99							
	1615,45											
	1639,63											
	1654,58											
	1660,88											
	1597,85											
1635,28												
<b>A2E3Q450</b>	0,66	0,74	0,15	19,91	2,35	2,57	0,27	10,52	1718,72	1713,61	19,54	1,14
	0,91				2,61				1720,16			
	0,65				2,95				1710,64			
	2,57				1712,82							
	2,73				1734,08							
	2,19				1726,07							
	1743,36											
	1716,25											
	1678,35											
	1697,06											
	1724,16											
1681,59												
<b>A2E3Q750</b>	0,92	1,11	0,23	21,20	3,59	3,60	0,06	1,70	1787,03	1773,93	24,07	1,36
	1,37				3,69				1780,27			
	1,03				3,51				1714,09			
	3,60				1748,00							
	3,63				1778,16							
	3,56				1801,82							
	1768,64											
	1791,21											
	1798,00											
	1784,11											
	1763,97											
1771,86												
<b>LabA2</b>	0,83	0,90	0,15	17,02	1,74	1,86	0,11	5,78	1560,92	1603,19	22,56	1,41
	1,08				1,99				1569,99			
	0,80				1,89				1591,66			
	1,84				1600,51							
	1,73				1615,65							
	1,95				1630,87							
	1608,76											
	1603,12											
	1611,55											
	1642,41											
	1600,91											
1601,89												

(fonte: elaborado pela autora)

Quanto à resistência a compressão, através da análise de variância (ANOVA), pode-se verificar que a vazão tem efeito significativo na variável de resposta, conforme Tabela 32.

Tabela 32: análise de variância da resistência à compressão da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

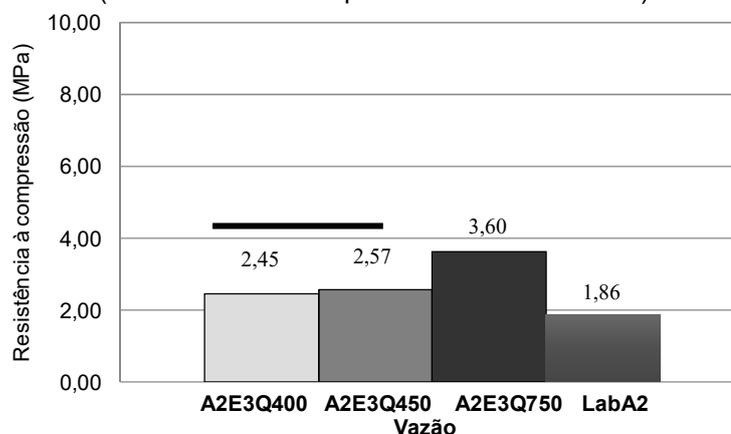
	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Vazão	9,497	3	3,166	60,165	0,00	Sim
Erro	0,99970	19	0,0526			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se constatar, através da Figura 59, que os resultados médios dessa propriedade são superiores aos resultados da argamassa referência (LabA2). Acrescenta-se a isso o fato de que ocorre tendência de aumento da resistência à compressão a partir do incremento da quantidade de água adicionada no preparo. Entretanto, através de análise estatística pelo método do teste de Fisher, pode-se verificar que há diferença significativa na totalidade dos resultados, exceto em relação aos equipamentos ajustados com vazão de 400 L/h (A2E3Q400) e 450 L/h (A2E3Q450).

Figura 59: influência da vazão na resistência à compressão da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Segundo Mattana *et al.* (2012), quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a trabalhabilidade e menor a resistência mecânica, o que é confirmado neste estudo, da mesma forma que também foi evidenciado nas análises de influência do sistema/equipamento de mistura, no subitem 5.2.1.2. Alves (2002) sugere que este comportamento pode estar relacionado à presença de bolhas de ar maiores que reduzem a resistência mecânica.

Em relação à resistência à tração na flexão, realizando-se a ANOVA, conforme Tabela 33, é possível verificar que não há inferência estatística entre os diferentes equipamentos. Isto é, as

vazões distintas não influenciam nesta propriedade. Pondera-se que, este fato pode ser relacionado ao coeficiente de variação (CV), o qual apresenta valores elevados, de aproximadamente 16 a 21%, inerente a metodologia, que aplica baixas cargas para que ocorra a ruptura, prejudicando a análise e verificação dos resultados.

Tabela 33: análise de variância resistência à tração na flexão da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Vazão	0,205	3	0,07	2,221	0,16	Não
Erro	0,24591	8	0,03074			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Analisando-se a ANOVA do módulo de elasticidade, conforme Tabela 34, é possível verificar que esta variável de resposta sofreu influência estatisticamente significativa das diferentes vazões.

Tabela 34: análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

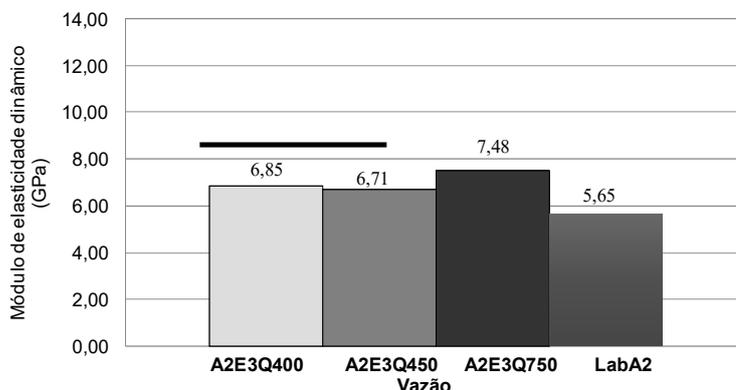
	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Vazão	5,194	3	1,73	18,142	0,00	Sim
Erro	0,76	8	0,095			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se verificar, através da Figura 60, que o resultado desta propriedade no estado endurecido, para a argamassa referência produzida conforme a dosagem recomendada pelo fabricante (FabA2), apresenta resultado inferior às argamassas coletadas em obra. Além disso, é possível afirmar que ocorreu tendência de aumento do módulo de elasticidade com o aumento da vazão do equipamento, visto que através de uma análise estatística pelo método do teste de Fisher, pode-se constatar que há diferença significativa entre todos os resultados desta propriedade, exceto entre as vazões de 400 L/h e 450 L/h (A2E3Q400 e A2E3Q450).

Figura 60: influência da vazão no módulo de elasticidade dinâmico, da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



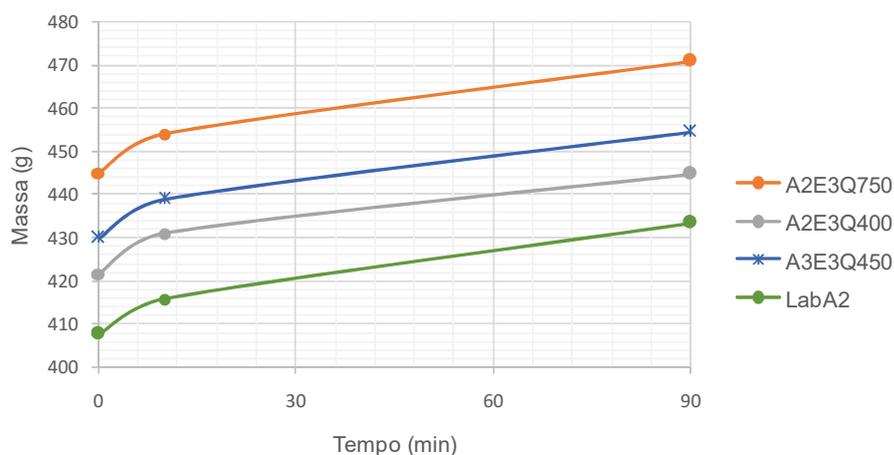
(fonte: elaborado pela autora)

Este comportamento corrobora o estudo de Fernandes *et al.* (2009) e Moura (2007), em que composições com menor teor de ar incorporado, apresentam maiores valores de módulo de elasticidade. Isso se deve ao fato de que a velocidade de propagação da onda é maior em função dos vazios.

Moura (2007), ao caracterizar argamassas industrializadas, encontrou valores médios de 7,42 GPa e 3,80 GPa. Araújo Júnior (2004) encontrou o resultado médio de 7,71 GPa. Isto é, valores com maior proximidade aos encontrados na argamassa 2 (A2). Na Tabela 16, os valores encontrados para A1 são superiores (entre 10,48 GPa e 11,04 GPa). Em decorrência disso, é possível afirmar que possivelmente os revestimentos executados com a A2, em relação à A1, terão maior capacidade de absorver deformações sem que fissure ou, no caso de estarem aderidas ao substrato, sem que ocorra descolamento.

Quanto ao ensaio de absorção de água por capilaridade, este foi executado conforme a NBR 15259 (ABNT, 2005) e resulta no coeficiente de capilaridade (C). É possível verificar, através da Figura 61, com a curva absorção de água ao longo do tempo (até 90 minutos), que a absorção é representativamente inferior na argamassa com dosagem recomendada pelo fabricante produzida em laboratório (LabA2), comparativamente às argamassas produzidas em obra, independentemente da vazão. Pode-se verificar também, através do ensaio, aumento de absorção de água por capilaridade com o acréscimo de vazão.

Figura 61: absorção de água por capilaridade ao longo do tempo da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

Em relação ao coeficiente de capilaridade, verifica-se através da análise de variância (ANOVA), conforme Tabela 35, que há inferência estatística das diferentes vazões sobre esta propriedade.

Tabela 35: análise de variância do coeficiente de capilaridade da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

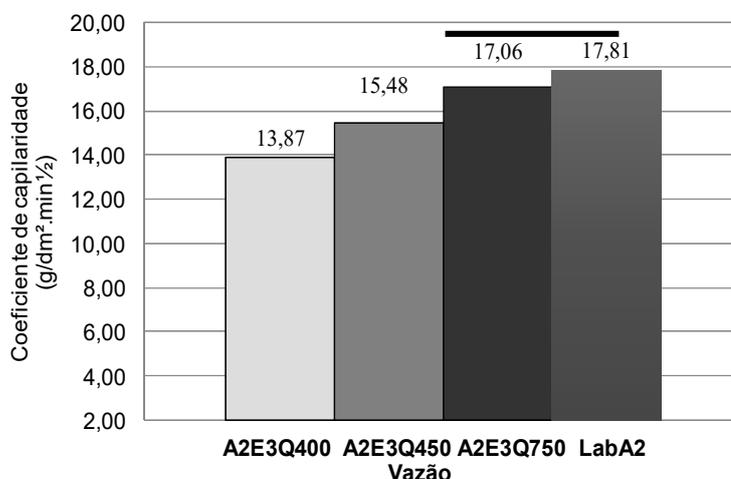
	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	27,550	3	9,1830	25,118	0,00	Sim
Erro	2,9250	8	0,3660			

SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se, através da análise estatística pelo teste de Fisher, que a diferença entre a argamassa produzida com vazão de 750 L/h e a argamassa referência (LabA2) não apresenta diferença estatística significativa. Observa-se, na Figura 62, que ocorre aumento do coeficiente de capilaridade com o incremento da quantidade de água utilizada no preparo da argamassa.

Figura 62: influência da vazão no coeficiente de capilaridade da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)



(fonte: elaborado pela autora)

A análise da média de resultados assemelha-se ao mesmo comportamento ocorrido no subitem 5.2.1.2, na mesma propriedade, relativo à influência do sistema/equipamento de mistura. Da mesma forma, o coeficiente de capilaridade é inversamente proporcional aos resultados de teor de ar incorporado. Possivelmente, a ocorrência deste fato se deve a presença de ar incorporado na argamassa com redução da absorção de água por capilaridade, uma vez que as bolhas de ar interrompem e/ou dificultam a passagem do fluxo nos capilares. O fato em questão já foi constatado por Hanzic e Ilic (2003) e Silva *et al.* (2009), os quais citam que as bolhas microscópicas de ar presentes no interior das argamassas dificultam a ascensão da água, pois provocam a desconexão dos capilares.

Ao avaliar os resultados de densidade aparente, através da análise de variância (ANOVA), pode-se verificar na Tabela 36, que a vazão tem efeito significativo na variável de resposta.

Tabela 36: análise de variância da densidade aparente da A2 ensacada (coletada em obra e produzida em laboratório)

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	232349	3	77450	140,30	0,00	Sim
Erro	24297	44	552			

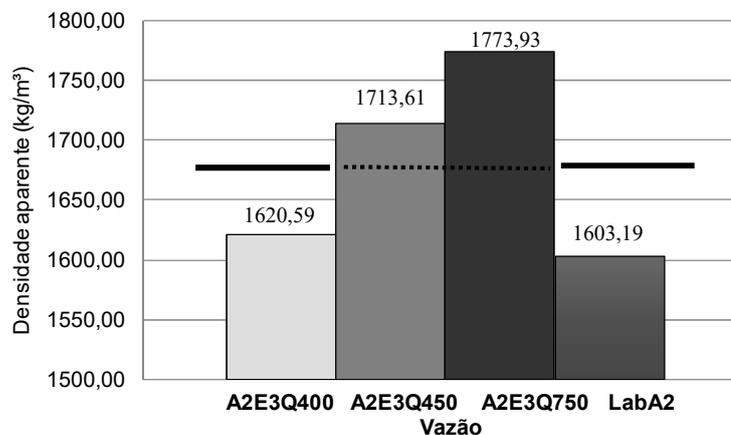
SQ: soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrática; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se afirmar através da Figura 63, que existe uma correlação entre o aumento de vazão e o aumento da densidade no estado endurecido. Além disso, a densidade de massa da argamassa referência (LabA2) é inferior aos valores médios determinados para as argamassas frescas coletadas em obra. Ao realizar a análise estatística pelo método do teste de Fisher,

verifica-se que apenas não há diferença estatística entre a argamassa produzida com vazão de 400 L/h, A2E3Q400, e a argamassa referência (LabA2).

Figura 63: influência da vazão na densidade aparente da A2 ensacada (coleta e fabricante)



(fonte: elaborado pela autora)

O resultado em questão confirma as observações de Alves (2002) e Stolz (2011) de que a densidade aparente de massa é inversamente proporcional ao teor de ar incorporado. Isso decorre do fato de que existam mais bolhas de ar no interior da mistura e conseqüentemente menor densidade e maior rendimento.

### 5.2.3 Resumo dos ensaios de caracterização das argamassas

Os quadros 8 e 9, a seguir, apresentam resumidamente os resultados e tendências das propriedades das argamassas de revestimento estudadas quanto aos ensaios de caracterização realizados. É mostrada a significância ou não dos resultados verificadas através da análise de variância (ANOVA), bem como em relação ao comparativo de médias pela análise pelo método de Fisher.

Na Figura 64, pode ser visualizada a legenda utilizada para compreensão dos quadros apresentados.

Figura 64: legenda utilizada para representação nos quadros de resumo das caracterizações

Legenda:	
S	Resultados mostram diferença significativa
NS	Resultados não mostram diferença significativa
↑	Resultados com tendência de aumento
↓	Resultados com tendência de redução
SUP	Média dos resultados superior aos demais
INF	Média dos resultados inferior aos demais

(fonte: elaborado pela autora)

Pode ser verificada no quadro 8, a análise da influência de sistemas distintos (mesma argamassa e sistemas de mistura distintos) e no quadro 9 é mostrada a análise da influência da vazão (mesma argamassa e equipamento, porém quantidades de água distintas), nas propriedades das argamassas, no estado fresco e endurecido.

Quadro 8: resumo da influência do sistema de projeção nas propriedades da argamassa

Caracterização da argamassa					
A1					
E1/E2: comparação entre argamassa produzida no E1 e E2		Influência do sistema			
E1/Lab: comparação entre argamassa produzida no E1 e referência (dosagem conforme fabricante)		E1/E2	E1/Lab	E2/Lab	
E2/Lab: comparação entre argamassa produzida no E2 e referência (dosagem conforme fabricante)					
Estado fresco	Índice de consistência	Aos 50 min	S	S	S
		Aos 100 min	NS	S	S
	Densidade de massa		NS	S	S
	Teor de ar incorporado		NS	NS	NS
	Retenção de água		S	S	S
Estado endurecido	Módulo de elasticidade dinâmico		NS	NS	NS
	Absorção de água (Coeficiente de capilaridade)		S	S	NS
	Resistência à tração na flexão		S	S	NS
	Resistência à compressão		NS	S	S
	Densidade de massa aparente		NS	S	S

Legenda:	
S	Resultados mostram diferença significativa
NS	Resultados não mostram diferença significativa
↑	Resultados com tendência de aumento
↓	Resultados com tendência de redução
SUP	Média dos resultados superior aos demais
INF	Média dos resultados inferior aos demais

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se observar que a influência do equipamento de projeção, com a mesma regulação de vazão de entrada de água, é significativa, estatisticamente, em relação ao índice de consistência, com tempo de ensaio de 50 minutos, retenção de água, coeficiente de capilaridade e resistência à tração na flexão. Em contrapartida, comparando-se à argamassa referência (LabA1), produzida de acordo com normativas existentes e com a dosagem conforme o fabricante, em relação aos equipamentos (E1 e E2), existe diferença significativa para a maioria das propriedades avaliadas, no estado fresco e endurecido. Verifica-se também que a argamassa produzida no equipamento 2 (E2) tem maior similaridade à argamassa referência (LabA1), se comparada com a produzida no equipamento 1 (E1), devido ao fato de que apresenta maior quantidade de resultados com diferença estatística não significativa. Além disso, pondera-se que, devido ao coeficiente de variação elevado, o teor de ar incorporado e a resistência à compressão, não apresentaram distinção entre os resultados.

Quadro 9: resumo da influência da vazão nas propriedades da argamassa

Caracterização da argamassa						
A2						
E3Q400/E3Q450: comparação entre argamassa produzida com vazão de 400 e 450 L/h.			Influência da vazão			
E3Q450/E3Q750: comparação entre argamassa produzida com vazão de 450 e 750 L/h.			E3Q400/E3Q450	E3Q450/E3Q750	Referência (LabA2) em relação ao E3	Tendência de aumento de vazão (400, 450 e 750)
Estado fresco	Índice de consistência	Aos 50 min	S	S	SUP	—
		Aos 100 min	S	S	SUP	↑
	Densidade de massa		S	S	igual ao E3Q400	↑
	Teor de ar incorporado		S	NS	entre E3Q400 e Q450	↓
	Retenção de água		S	S	igual ao E3Q400	↑
Estado endurecido	Módulo de elasticidade dinâmico		NS	S	INF	↑
	Absorção de água (Coeficiente de capilaridade)		S	S	igual ao E3Q750	↑
	Resistência à tração na flexão		NS	NS	NS	NS
	Resistência à compressão		NS	S	INF	↑
	Densidade de massa aparente		S	S	igual ao E3Q400	↑

Legenda:	
S	Resultados mostram diferença significativa
NS	Resultados não mostram diferença significativa
↑	Resultados com tendência de aumento
↓	Resultados com tendência de redução
SUP	Média dos resultados superior aos demais
INF	Média dos resultados inferior aos demais

(fonte: elaborado pela autora)

Verifica-se a existência de influência estatisticamente significativa em relação à maioria das propriedades no estado fresco e endurecido frente ao aumento de vazão de entrada de água. Em decorrência disso, evidencia-se que as argamassas produzidas com diferentes vazões (400, 450 e 750 L/h) apresentam, possivelmente, comportamentos distintos da argamassa e revestimento executado. Entretanto, estão sendo produzidas e utilizadas (aplicadas) na mesma edificação e para a mesma finalidade, com possibilidade de desencadeamento de manifestações patológicas e falhas no desempenho. Através deste resultado, é possível afirmar que a regulação de entrada de água no rotâmetro é uma lacuna a ser investigada e explorada a fim de restringir, ainda mais, a influência da mão de obra e reduzir o empirismo empregado na etapa de produção da argamassa.

Pode-se atentar também ao fato de que, ao realizar a análise múltipla de médias através do método de Fisher, a argamassa referência (LabA2) apresenta maior equivalência com a argamassa produzida com 400 L/h, entretanto a ocorrência não pode ser verificada na totalidade das propriedades avaliadas. Além disso, observa-se tendência diretamente proporcional da variável de resposta frente ao aumento de vazão de entrada de água, exceto o teor de ar incorporado, o qual é inversamente proporcional ao incremento.

Através dos estudos, de influência do sistema e também da vazão, ao caracterizar a argamassa referência (LabA1 e LabA2), de acordo normativa vigente, pode-se constatar a divergência entre a recomendação do fabricante e a argamassa produzida e utilizada em obra.

#### 5.2.4 Classificação conforme caracterização e propriedades

A classificação, de acordo com requisitos, das argamassas que envolvem a “Etapa 1 – em laboratório” deste trabalho são apresentadas na Tabela 37 com o objetivo de comparação entre as seguintes produções de argamassas: equipamentos (E1, E2 e E3), recomendação de dosagem do fabricante e conforme normativas de preparo (LabA1 e LabA2) e especificação informada na ficha técnica do produto. Saliencia-se que não foram avaliados a retenção de água, devido à necessidade de adaptação do ensaio já citado no programa experimental, bem como a resistência de aderência à tração, visto que trata-se de uma avaliação destrutiva em canteiros de obra, a qual não foi realizada nesta etapa do trabalho.

Através do enquadramento nas classes, verifica-se que em relação a A1, comparando apenas os equipamentos de projeção (E1 e E2) houve variação, de uma classe, na classificação da propriedade R (resistência à tração na flexão), bem como resistência à compressão (P). Em relação às demais propriedades, densidade de massa, coeficiente de capilaridade e densidade aparente, foi mantida a mesma. Em contrapartida, constata-se que, relacionando à ANOVA, houve diferença estatística significativa entre resultados frente ao coeficiente de capilaridade,

entretanto o mesmo enquadramento da classe. Isso pode ter ocorrido pelo fato de que as classes apresentam faixas amplas, demonstrando critérios abrangentes e não representativos.

Ainda em relação a A1, comparando-se a argamassa referência (LabA1) e os dados informados pelo fabricante na ficha técnica do produto, verificam-se enquadramentos distintos na totalidade das propriedades, exceto na densidade de massa. Isso pode ter ocorrido devido às distintas formas de preparo, principalmente relacionados à energias de mistura dos equipamentos e argamassadeiras, bem como as variáveis tempo e ordem de mistura.

Em relação à A2, apesar do aumento significativo da vazão, principalmente entre 400/450 L/h e 750 L/h, não são verificadas alterações crescentes também na classificação. Além disso, comparando-se com a ANOVA e análise múltipla de médias pelo método de Fisher, é possível verificar diferença estatística significativa entre os resultados, entretanto são enquadradas na mesma classe. Verifica-se também, no coeficiente de capilaridade, faixa de valores muito distintos, comparando a especificação do fabricante na ficha técnica, a qual obtém classificação C1, e a argamassa referência (LabA2) e coletas nos equipamentos de projeção, com C6. A partir desta constatação, pode-se afirmar que a permeabilidade do revestimento será muito superior ao esperado/definido pelo fabricante. Nota-se situação similar ao comparar resistências à compressão e tração na flexão da argamassa 2 (A2). Através do enquadramento das classes, pode-se verificar que se esperavam resistências muito superiores, conforme informação técnica do produto.

Comparando-se as duas argamassas, A1 e A2, e considerando que estão sendo utilizadas para a mesma finalidade, pode-se afirmar que possivelmente apresentam desempenhos diferenciados devido à elevada diversificação dos requisitos. De acordo com Nakakura e Cincotto (2003), as deficiências da classificação das argamassas podem ser atribuídas à metodologia da NBR enquadrar, em uma mesma classe, amostras com características distintas. As respectivas faixas de classificação de cada um dos requisitos têm intervalos muito abrangentes, fazendo que argamassas, que provavelmente têm desempenho diferente, sejam classificadas como do mesmo tipo. De acordo com as autoras, conseqüentemente, esta classificação não pode ser ferramenta de especificação ou controle de produto para projeto.

Tabela 37: classificação da A1 e A2 conforme NBR 13281 (ABNT, 2005)

Nomenclatura	Resistência à tração na flexão (MPa)	DP (MPa)	Classificação	Resistência à compressão (MPa)	DP (MPa)	Classificação	Densidade aparente (kg/m³)	DP (kg/m³)	Classificação	Coefficiente de capilaridade (g/dm².min¹/²)	DP (g/dm².min¹/²)	Classificação	Densidade de massa (kg/m³)	DP (kg/m³)	Classificação	
A1	A1E1Q450	3,06	0,17	R5	7,36	0,95	P6	1752	35	M5	6,60	0,30	C5	1906	5	D5
	A1E2Q450	1,96	0,23	R4	7,15	0,60	P5	1757	20	M5	5,34	0,47	C5	1858	92	D5
	LabA1	2,18	0,09	R4	5,12	0,77	P5	1601	14	M5	4,82	0,19	C5	1758	7	D4
A2	Especificação conforme ficha técnica do produto			R3			P4			M4			C4			D4
	A2E3Q400	0,93	0,15	R2	2,45	0,38	P3	1621	27	M5	13,87	0,76	C6	1823	5	D5
	A2E3Q450	0,74	0,15	R1	2,57	0,27	P3	1714	20	M5	15,48	0,33	C6	1941	11	D5
	A2E3Q750	1,11	0,23	R2	3,6	0,06	P3	1774	24	M5	17,06	0,70	C6	1979	2	D5
	LabA2	0,9	0,15	R2	1,86	0,11	P2	1603	23	M5	17,81	0,33	C6	1839	3	D5
Especificação conforme ficha técnica do produto			R4			P4			M5			C1			D5	

(fonte: elaborado pela autora)

## 5.3 ETAPA 2 – EM LABORATÓRIO

A etapa de laboratório refere-se à verificação da influência de variáveis, geralmente não controladas ou intrínsecas ao processo, na resistência de aderência à tração e permeabilidade do revestimento. Ressalta-se que uma das variáveis é referente à produção da argamassa, que é a vazão de entrada de água (490, 510 e 530 L/h), e as demais, relacionados à produção do revestimento, sendo elas o sentido de aplicação (cima para baixo e baixo para cima) e altura do substrato (inferior, média e superior).

Os ensaios de caracterização dos materiais utilizados, substrato, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento, frente à vazões distintas, foram apresentados no item 4.4.3.2. A seguir, serão apresentados os resultados dos ensaios realizados para verificação do comportamento, sendo eles as variáveis de resposta.

### 5.3.1 Resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado a partir dos detalhamentos apresentados na metodologia. Convém ressaltar que, após a realização dos testes, os resultados foram organizados em planilhas. A partir desta compilação, foi possível observar uma grande variabilidade nos valores obtidos, fato que poderia mascarar os resultados. Sabe-se que esta variabilidade é característica inerente aos ensaios de resistência de aderência à tração de revestimentos, conforme já constatado por diversos autores, tais como Gonçalves (2004), Carasek (2005), Moura (2007) e Antunes, Stolz e Masuero (2012).

A fim de atingir maior confiabilidade na análise e interpretação destes dados optou-se por excluir valores espúrios. O critério adotado para a exclusão foi, após o cálculo das médias e desvio padrão, a consideração de espúrios todos os valores compreendidos fora do intervalo entre a média menos dois desvios padrões e a média mais dois desvios padrões.

Na Tabela 38, pode-se verificar a média dos resultados, coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (DP), já considerando os critérios de exclusão. Entretanto, a totalidade destes será apresentada no APÊNDICE A, no final deste trabalho. Os resultados também foram apresentados esquematicamente através da Figura 65, com representação da vista frontal das paredes revestidas a serem testadas.

Nesse estudo, os resultados apresentaram, em geral, valores superiores ao mínimo estipulado pela norma NBR 13749 (ABNT, 2013) (0,20 MPa internamente e 0,30 MPa externamente), altos coeficientes de variação e predominância da ruptura do tipo “C”, na camada do revestimento.

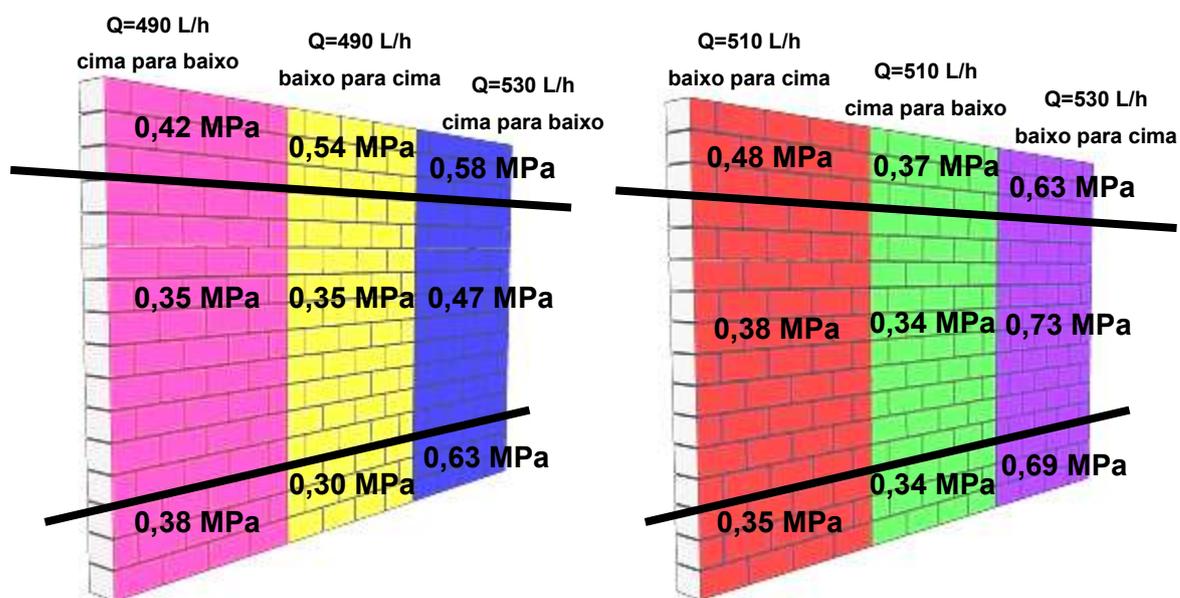
Tabela 38: resistência de aderência à tração média aos 28 dias.

Resultados médios											
Identificação	Sentido	Vazão (L/h)	Altura								
			Inferior			Médio			Superior		
			Ra (MPa)	DP	CV (%)	Ra (MPa)	DP	CV (%)	Ra (MPa)	DP	CV (%)
490 L/h (CB)	Cima para baixo	490	0,38	0,14	38,47	0,35	0,13	37,70	0,42	0,17	39,08
510 L/h (CB)	Cima para baixo	510	0,34	0,19	57,26	0,34	0,14	40,83	0,37	0,13	35,51
530 L/h (CB)	Cima para baixo	530	0,63	0,21	33,51	0,47	0,19	41,34	0,58	0,17	28,77
490 L/h (BC)	Baixo para cima	490	0,30	0,07	22,86	0,35	0,18	50,99	0,54	0,17	31,26
510 L/h (BC)	Baixo para cima	510	0,35	0,17	50,32	0,38	0,17	46,27	0,48	0,21	44,53
530 L/h (BC)	Baixo para cima	530	0,69	0,17	24,76	0,73	0,13	17,35	0,63	0,21	32,99

Ra: Resistência de aderência

(fonte: elaborado pela autora)

Figura 65: vista frontal das paredes revestidas com os respectivos resultados de resistência de aderência à tração média aos 28 dias.



(fonte: elaborado pela autora)

Visando analisar a interação e a influência de cada uma das variáveis estudadas, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) através do programa Statistica 8. Na Tabela 39 pode-se observar o efeito das variáveis controláveis propostas neste trabalho (vazão, sentido de aplicação e altura da parede) sobre a variável de resposta.

Tabela 39: análise de variância (ANOVA) dos efeitos das variáveis controláveis em relação à resistência de aderência à tração

	SQ	GDL	MQ	F <sub>calc</sub>	Fator p	Significativo
Vazão	3,036	2	1,52	55,83	0,00	Sim
Sentido de aplicação	0,236	1	0,24	8,68	0,00	Sim
Altura do substrato	0,227	2	0,11	4,18	0,02	Sim
Vazão*Sentido de aplicação	0,117	2	0,06	2,16	0,12	Não
Vazão*Altura do substrato	0,214	4	0,05	1,97	0,10	Não
Sentido de aplicação*Altura do substrato	0,119	2	0,06	2,19	0,11	Não
Vazão*Sentido de aplicação*Altura do substrato	0,240	4	0,06	2,21	0,07	Não
Erro	6,444	237	0,03			

SQ: Soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrada; F<sub>calc</sub>: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

A análise da Tabela 39 permite identificar que a vazão, o sentido de aplicação e a altura do substrato exerceram influência estatisticamente significativa sobre a resistência de aderência, quando analisados isoladamente. Por outro lado, não foi possível identificar relação estatística relevante entre o efeito combinado dos fatores controláveis propostos.

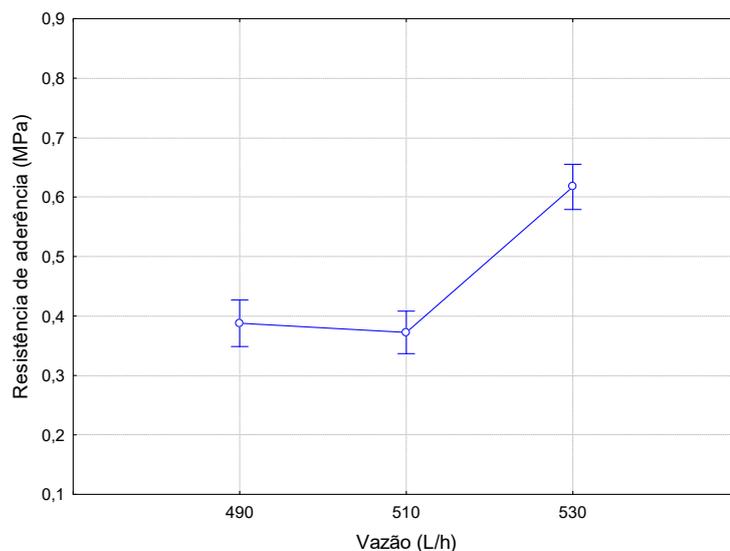
Apesar disso, deve-se considerar que o fator p da correlação entre vazão x sentido de aplicação x altura do substrato ficou muito próximo a 0,05. Desta forma, pode-se admitir a interação significativa com uma confiabilidade de 93%, com fator p de 0,07.

A seguir, serão analisadas separadamente a influência das variáveis que se mostraram estatisticamente significativas: vazão, sentido de aplicação e altura do substrato, bem como a interação entre as três variáveis, em relação à resistência de aderência à tração.

#### 5.3.1.1 Influência da vazão

Verifica-se através da Figura 66, analisando somente a vazão e a variável de resposta, resultados elevados de resistência de aderência à tração para a maior quantidade de água adicionada (530 L/h) e similaridade nos resultados de vazão 490 L/h e 510 L/h.

Figura 66: influência da vazão de entrada de água na resistência de aderência à tração



(fonte: elaborado pela autora)

Através da comparação múltipla de médias pelo método de Fisher no programa Statistica 8, apresentada na Tabela 40, é possível observar que os resultados são estatisticamente iguais para as vazões de 490 e 510 L/h e existe inferência estatística para a vazão de 530 L/h em relação às demais. Ou seja, existe tendência de aumento da resistência de aderência com o incremento de água.

Tabela 40: análise múltipla de médias do efeito isolado da vazão sobre a resistência de aderência à tração

	Vazão(L/h)	1 (490)	2 (510)	3 (530)
1	490		0,568365	0,000000
2	510	0,568365		0,000000
3	530	0,000000	0,000000	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

O resultado encontrado reforça a afirmação de Sabbatini (1990) de que o teor de água influencia na extensão de aderência, promovendo um contato mais extenso com a base, através de um melhor espalhamento. Da mesma forma de que nas pesquisas de Costa *et al.* (2010) e Zanelatto (2012), o aumento no teor de água das argamassas estudadas, proporcionaram ganhos na resistência de aderência do revestimento. Silva (2006a) explica que a água tem o potencial de afastar as partículas sólidas presentes e de lubrificá-las, reduzindo a força de atrito entre elas e facilitando a operação e execução dos revestimentos.

Em relação à caracterização da argamassa, apresentada na Tabela 6, com os valores encontrados de resistência de aderência, nota-se relação entre redução do teor de ar incorporado com o aumento da quantidade de água (vazão). Stolz (2011) verificou resultado similar ao avaliar aditivos incorporadores de ar. Possivelmente, quanto menor a vazão (quantidade de água), maior a formação de bolsões de ar na interface entre substrato e argamassa, apresentando como consequência o não molhamento do substrato pela argamassa. Alves (2002) e Bauer (2005) afirmam que a redução na resistência de aderência é atribuída à diminuição da superfície de contato entre a argamassa e o substrato.

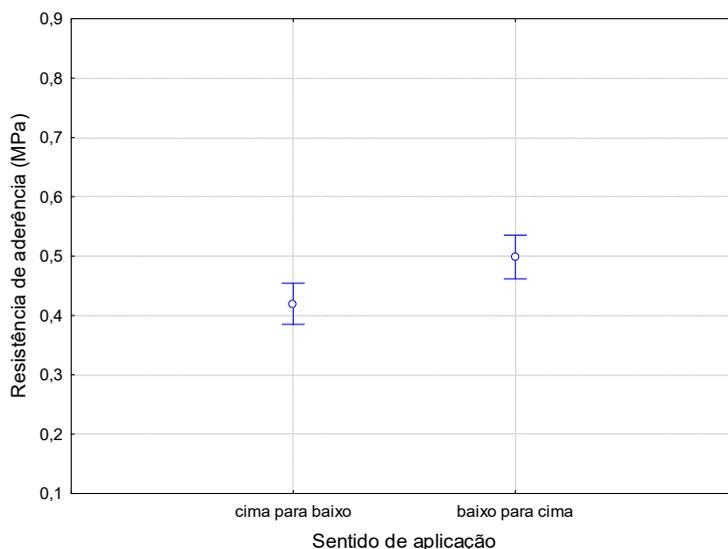
Além disso, pode-se considerar como justificativa para este resultado, a mesma ocorrência encontrada por Carasek (1996), a qual apresenta relação entre as propriedades mecânicas da argamassa, especialmente da resistência à compressão com a resistência de aderência dos revestimentos. A autora cita que a resistência de aderência à tração cresce à medida que aumenta a resistência à compressão, sendo esta uma tendência verificada nesta dissertação. O comportamento verificado justifica-se através da redução do teor de ar incorporado, visto que possibilita uma menor fragilidade no sistema.

Quanto às argamassas com vazões de 490 e 510 L/h observa-se similaridade na tendência de comportamento reológico verificado no *squeeze-flow*, conforme Figura 19 e Figura 20, apresentadas na caracterização das argamassas (subitem 4.4.3.2.3). Em decorrência disso, possivelmente, a diferença entre ambas não foi significativa.

#### 5.3.1.2 Influência do sentido de aplicação

A Figura 67 apresenta a influência do sentido de aplicação na resistência de aderência à tração. Analisando somente o sentido de aplicação e a variável de resposta, observam-se resultados superiores com a execução realizada, em cordões horizontais, de baixo para cima.

Figura 67: influência do sentido de aplicação na resistência de aderência à tração



(fonte: elaborado pela autora)

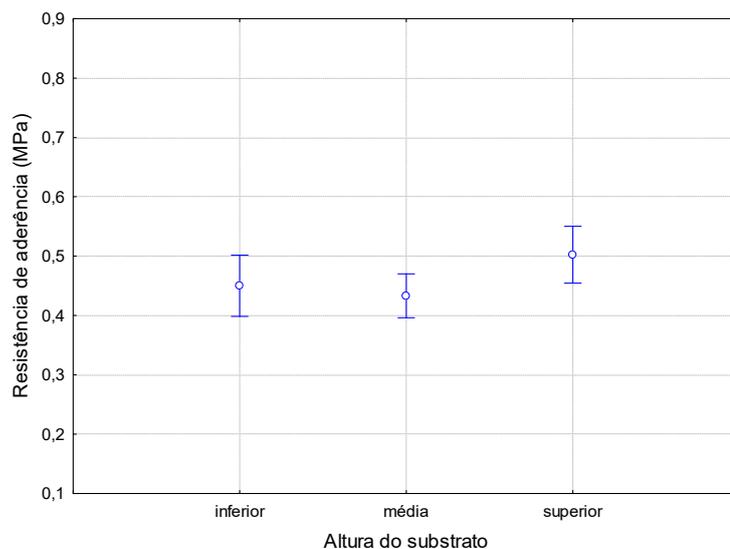
Através de pesquisa bibliográfica sobre a variável, de acordo com Crescêncio *et al.* (2000), a projeção deve ser realizada na forma de filetes contínuos, com passes horizontais de cima para baixo. O fabricante da argamassa 1 (A1) utilizada nesta pesquisa também recomenda, na ficha técnica do produto, o mesmo sentido de aplicação, de cima para baixo. Entretanto, Costa e Carasek (2009) ao verificarem a influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa realizaram a projeção mecânica para os ensaios no sentido de baixo para cima. Além disso, através da “Etapa 1 - Em campo”, também se verifica predominância de execução no sentido de baixo para cima.

Inexistem estudos relacionados ao sentido de aplicação, entretanto, observa-se que no sentido de “baixo para cima” ocorrem, em média, resultados superiores de resistência de aderência à tração, ou seja, em sentido oposto do que é solicitado pelo fabricante. O comportamento verificado pode ter ocorrido em decorrência de que, no sentido de “baixo para cima”, o filete (ou cordão) imediatamente abaixo, já aderido no substrato, auxilia na fixação do filete (ou cordão) projetado posteriormente, gerando menor incorporação de ar e maior possibilidade de adesão inicial.

### 5.3.1.3 Influência da altura de aplicação no substrato

Verificam-se através da Figura 68, analisando somente a altura da parede e a variável de resposta, que os maiores resultados médios localizam-se na parte superior da parede.

Figura 68: influência da altura do substrato na resistência de aderência à tração



(fonte: elaborado pela autora)

Através da comparação múltipla de médias pelo método de Fisher, apresentada na Tabela 41, é possível observar que os resultados são estatisticamente diferentes entre a parte média e a altura superior da parede, possivelmente devido ao coeficiente de variação elevado do ensaio. Entretanto, a parte inferior apresenta resultados iguais comparando-se as demais alturas.

Tabela 41: análise múltipla de médias do efeito isolado da altura do substrato sobre a resistência de aderência à tração

Altura do substrato	1 (inferior)	2 (médio)	3 (superior)
1 inferior		0,601418	0,144357
2 médio	0,601418		0,025097
3 superior	0,144357	0,025097	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

Gonçalves e Bauer (2005) avaliaram a influência da altura em revestimento com argamassa industrializada, com aplicação manual. Os autores notaram que a resistência de aderência à tração não ocorre de maneira homogênea em todo o plano do revestimento, os coeficientes de variação atingiram até 60% e houve predominância de ruptura "A" (interface do revestimento com o substrato). Acrescenta-se a isso que a ergonomia do operário que aplica a argamassa influencia fortemente na aderência, visto que os resultados foram mais elevados na altura próxima a 1,30 m, ou seja, na altura média da parede, com resultado médio de, no máximo, 0,27 MPa.

Silva *et al.* (2005) e Duailibe, Cavani e Oliveira (2005) estudaram a comparação entre a aplicação manual e mecanizada e verificaram valores de resistência superiores quando a execução é realizada mecanicamente. Silva *et al.* (2005) observaram predominância de rupturas ocorridas no corpo da argamassa, ou seja, predominância de ruptura “C” (na argamassa), corroborando a mesma forma encontrada no trabalho em questão. Além disso, os autores consideraram o fato de que a mecanização reduziu a influência da habilidade e destreza do operário no desempenho do revestimento, em comparação com o lançamento manual, o que pode ser verificado a partir dos maiores níveis de resistência. Nos resultados deste trabalho, também pode-se observar valores elevados de resistência de aderência à tração, com resultado médio mínimo de 0,30 MPa, atingindo valores elevados de 0,73 MPa.

O resultado confirma a afirmação de Antunes e John (2007), Fernandes *et al.* (2007) e Fernandes *et al.* (2009) de que a energia de lançamento é constante, o que potencializa a adesão inicial, principalmente pela eliminação dos vazios, o que é fundamental para o desenvolvimento da aderência do revestimento ao substrato. Através disso, pode-se comprovar que a aplicação mecanizada proporciona maior homogeneidade na energia de impacto, bem como baixa influência da ergonomia do operador.

Ao avaliar a projeção mecânica, Silva *et al.* (2005) obtiveram maiores valores no plano central (altura média da parede), pelo fato do lançamento ocorrer na direção normal ao plano da base, o que tende a incrementar a aderência e o contato com a parede já que não há perda de energia devido ao ângulo de lançamento. Entretanto, pode-se observar, durante a aplicação da argamassa, através da Figura 69 (a) e Figura 69 (b), que o bico projetor tem um ângulo que facilita a projeção, o qual permite manter a direção perpendicular à parede em toda a extensão, sem a necessidade de andaime ou qualquer outra forma de elevação. Além disso, para a realização da parte inferior da parede, o operador manteve-se em posição curvada, de cócoras, a fim de manter o mesmo ângulo. Isto é, na totalidade das alturas foi mantida a direção normal ao plano da base. Em decorrência disso, pode ter ocorrido, possivelmente, maior homogeneidade nos resultados ou redução de variabilidade fixando-se o ângulo de projeção.

Figura 69: execução da projeção em parede teste com bico de projeção perpendicular. (a) na parte superior e (b) na parte inferior



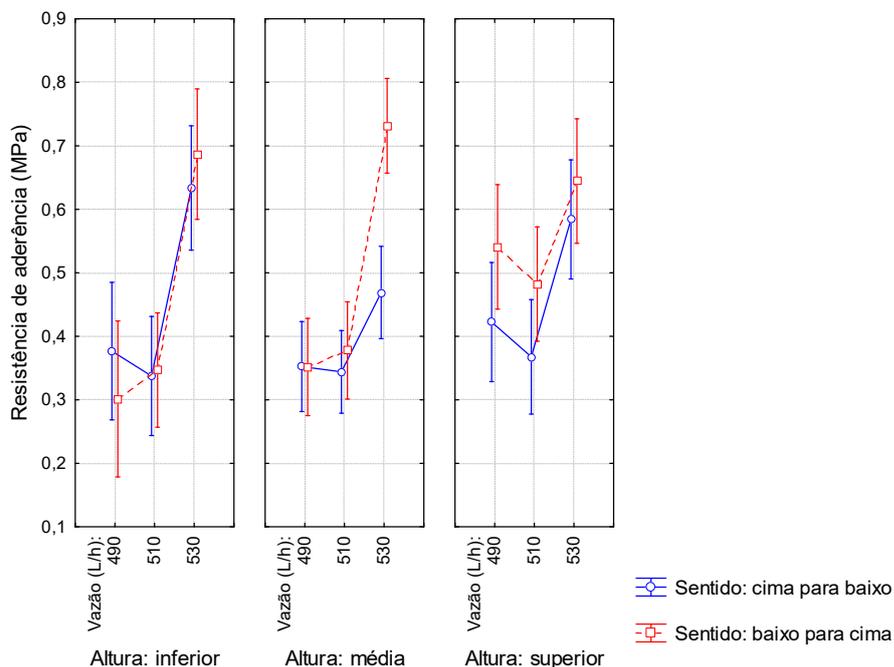
(fonte: elaborado pela autora)

#### 5.3.1.4 Influência da interação entre vazão, sentido de aplicação e altura de aplicação no substrato

Na Figura 70, pode-se observar uma tendência de aumento de resistência de aderência à tração com o incremento da vazão de entrada de água. Além disso, é possível constatar também que, em sua maioria, os resultados mais elevados da variável de resposta ocorreram quando foi executada a projeção no sentido de baixo para cima. Em relação à altura do substrato, verifica-se aumento de resistência de aderência na parte superior da parede, ou seja, acima de 1,50 metros de altura, para as vazões de 490 e 510 L/h. Quanto à maior vazão, de 530 L/h, nota-se comportamento variável sem existência de tendência, visto que depende do sentido de aplicação. Se considerarmos o sentido de baixo para cima, os resultados mais elevados são com a altura média, e no sentido de cima para baixo, na altura inferior.

Pode-se notar também, através da Figura 70, resultados com maior proximidade comparando-se 490 e 510 L/h e menor coeficiente de variação dos resultados na altura média da parede.

Figura 70: influência das variáveis controláveis em relação à variável de resposta (resistência de aderência à tração)



(fonte: elaborado pela autora)

A comparação múltipla de médias pelo método de Fisher é apresentada na Tabela 42. Com o objetivo de facilitar o entendimento e compreensão da influência da interação, a análise dos resultados será, separadamente, em relação à vazão, sentido de aplicação e altura do substrato.

Tabela 42: análise múltipla de médias da interação dos fatores controláveis sobre a resistência de aderência à tração

Vazão(L/h)	Sentido de aplicação	Altura do substrato	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	cima para baixo	inferior	0,711956	0,529074	0,36167	0,71069	0,027637	0,590626	0,610786	0,900225	0,677801	0,986945	0,140884	0,000624	0,164303	0,004703	0,000068	0,000000	0,000000	0,000368
		média	0,711956	0,241132	0,479633	0,989251	0,002376	0,925254	0,632024	0,026501	7,00E-06	0,024604	0,000133	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000003
2	cima para baixo	superior	0,529074	0,241132	0,123962	0,250211	0,086682	0,207947	0,176521	0,407209	0,253393	0,467748	0,365536	0,002409	0,440711	0,017096	0,000225	0,000001	0,000001	0,001432
		média	0,529074	0,241132	0,123962	0,250211	0,086682	0,207947	0,176521	0,407209	0,253393	0,467748	0,365536	0,002409	0,440711	0,017096	0,000225	0,000001	0,000001	0,001432
3	cima para baixo	inferior	0,366167	0,479633	0,123962	0,494654	0,002952	0,645964	0,546585	0,382204	0,565743	0,299864	0,020122	0,000043	0,021819	0,000038	0,000004	0,000000	0,000000	0,000025
		média	0,366167	0,479633	0,123962	0,494654	0,002952	0,645964	0,546585	0,382204	0,565743	0,299864	0,020122	0,000043	0,021819	0,000038	0,000004	0,000000	0,000000	0,000025
4	cima para baixo	superior	0,71069	0,989251	0,250211	0,494654	0,002999	0,817877	0,880569	0,789688	0,93707	0,635165	0,030489	0,000012	0,029487	0,000196	0,000001	0,000000	0,000000	0,000006
		média	0,71069	0,989251	0,250211	0,494654	0,002999	0,817877	0,880569	0,789688	0,93707	0,635165	0,030489	0,000012	0,029487	0,000196	0,000001	0,000000	0,000000	0,000006
5	cima para baixo	inferior	0,590626	0,610786	0,207947	0,645964	0,817877	0,00344	0,910723	0,64781	0,886607	0,512824	0,029227	0,000025	0,029843	0,000306	0,000001	0,000000	0,000000	0,000013
		média	0,590626	0,610786	0,207947	0,645964	0,817877	0,00344	0,910723	0,64781	0,886607	0,512824	0,029227	0,000025	0,029843	0,000306	0,000001	0,000000	0,000000	0,000013
6	cima para baixo	superior	0,610786	0,853813	0,176521	0,546585	0,880569	0,001114	0,910723	0,674721	0,958698	0,508183	0,014890	0,000002	0,012116	0,000047	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001
		média	0,610786	0,853813	0,176521	0,546585	0,880569	0,001114	0,910723	0,674721	0,958698	0,508183	0,014890	0,000002	0,012116	0,000047	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001
7	cima para baixo	inferior	0,900225	0,792887	0,407209	0,382204	0,788688	0,01096	0,64781	0,674721	0,748398	0,866693	0,077657	0,000109	0,069517	0,001197	0,000007	0,000000	0,000000	0,000057
		média	0,900225	0,792887	0,407209	0,382204	0,788688	0,01096	0,64781	0,674721	0,748398	0,866693	0,077657	0,000109	0,069517	0,001197	0,000007	0,000000	0,000000	0,000057
8	cima para baixo	superior	0,677801	0,925354	0,253393	0,556743	0,937070	0,004453	0,886607	0,958698	0,748398	0,607863	0,037389	0,000031	0,038779	0,000396	0,000002	0,000000	0,000000	0,000016
		média	0,677801	0,925354	0,253393	0,556743	0,937070	0,004453	0,886607	0,958698	0,748398	0,607863	0,037389	0,000031	0,038779	0,000396	0,000002	0,000000	0,000000	0,000016
9	cima para baixo	inferior	0,986945	0,632024	0,46748	0,299864	0,635185	0,010336	0,512824	0,508183	0,866693	0,607863	0,082864	0,000068	0,089821	0,000913	0,000003	0,000000	0,000000	0,000034
		média	0,986945	0,632024	0,46748	0,299864	0,635185	0,010336	0,512824	0,508183	0,866693	0,607863	0,082864	0,000068	0,089821	0,000913	0,000003	0,000000	0,000000	0,000034
10	cima para baixo	superior	0,140884	0,02650	0,365836	0,020122	0,030489	0,386547	0,029227	0,01489	0,077657	0,037389	0,082864	0,026007	0,820983	0,124145	0,003482	0,000000	0,000000	0,017092
		média	0,140884	0,02650	0,365836	0,020122	0,030489	0,386547	0,029227	0,01489	0,077657	0,037389	0,082864	0,026007	0,820983	0,124145	0,003482	0,000000	0,000000	0,017092
11	cima para baixo	inferior	0,000624	0,000001	0,002409	0,000043	0,000012	0,188501	0,000025	0,000002	0,000109	0,000031	0,000068	0,000007	0,000352	0,473021	0,459622	0,11827	0,876831	
		média	0,000624	0,000001	0,002409	0,000043	0,000012	0,188501	0,000025	0,000002	0,000109	0,000031	0,000068	0,000007	0,000352	0,473021	0,459622	0,11827	0,876831	
12	cima para baixo	superior	0,164303	0,02450	0,440711	0,021519	0,029487	0,246507	0,029943	0,012116	0,085917	0,038779	0,089821	0,820983	0,008352	0,056987	0,000754	0,000001	0,000000	0,004962
		média	0,164303	0,02450	0,440711	0,021519	0,029487	0,246507	0,029943	0,012116	0,085917	0,038779	0,089821	0,820983	0,008352	0,056987	0,000754	0,000001	0,000000	0,004962
13	cima para baixo	inferior	0,004703	0,00013	0,017096	0,000038	0,000196	0,530303	0,000306	0,000047	0,001197	0,0000396	0,000913	0,124145	0,473021	0,056987	0,146578	0,01608	0,381259	
		média	0,004703	0,00013	0,017096	0,000038	0,000196	0,530303	0,000306	0,000047	0,001197	0,0000396	0,000913	0,124145	0,473021	0,056987	0,146578	0,01608	0,381259	
14	cima para baixo	superior	0,000068	0,000000	0,000225	4,00E-06	0,000001	0,043708	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,556247
		média	0,000068	0,000000	0,000225	4,00E-06	0,000001	0,043708	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,556247
15	cima para baixo	inferior	0,000000	0,000000	0,000001	0,000E+00	0,000000	0,002532	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,164881
		média	0,000000	0,000000	0,000001	0,000E+00	0,000000	0,002532	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,164881
16	cima para baixo	superior	0,000368	0,000000	0,001432	0,000006	0,000006	0,141815	0,000013	0,000001	0,000057	0,000016	0,000034	0,017092	0,876831	0,004962	0,381259	0,556247	0,164881	
		média	0,000368	0,000000	0,001432	0,000006	0,000006	0,141815	0,000013	0,000001	0,000057	0,000016	0,000034	0,017092	0,876831	0,004962	0,381259	0,556247	0,164881	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

Analisando apenas as diferentes vazões, é possível verificar que para a vazão de 490 L/h, não há diferença estatística entre os resultados, exceto a vazão de 490 L/h, aplicada de baixo para cima, na altura superior, em comparação com a de 490 L/h, projetada de cima para baixo, bem como a executada no sentido de baixo para cima, ambas na altura inferior e média. Para a vazão de 510 L/h não existe inferência estatística, exceto o revestimento realizado de baixo para cima, na altura superior, em relação ao de cima para baixo na altura inferior e também média. Além disso, existe diferença estatística significativa em relação à projeção de baixo para cima, na altura inferior. Em relação à vazão de 530 L/h, verifica-se diferença estatística significativa entre a vazão de 530 L/h, de cima para baixo, na altura inferior e média. Quanto ao revestimento executado de cima para baixo, na altura média, existe inferência estatística em relação à todos os resultados, exceto se comparado ao 530 L/h, executado de cima para baixo, na altura superior. Além disso, para a mesma vazão, também existe diferença quando avaliada à execução de cima para baixo, na altura superior, em relação à aplicação de baixo para cima, na altura média.

Quanto ao sentido de aplicação, primeiramente analisando apenas a execução de cima para baixo, verifica-se diferença estatística significativa entre os resultados de: vazão de 490 L/h, independentemente da altura de aplicação do substrato, em relação à vazão de 530 L/h, na altura inferior e também superior. Além deste, há inferência estatística entre: vazão de 490 L/h, de cima para baixo, na altura média, e 530 L/h, com o mesmo sentido e altura de aplicação no substrato. Observa-se diferença estatística também comparando a vazão de 510 L/h, tanto na altura inferior e média, em relação à vazão de 530 L/h, independentemente da altura de aplicação, bem como a vazão de 510 L/h, na altura superior, comparando a vazão de 530 L/h, na altura inferior e superior. Por fim, no sentido de aplicação de cima para baixo, pode-se afirmar que há inferência estatística entre resultados com vazão de 530 L/h, na altura inferior e média.

Em relação à aplicação em cordões de baixo para cima, verifica-se diferença estatística entre 490 L/h, na altura inferior, em relação a mesma vazão na altura superior, bem como com vazão de 510 L/h, na altura superior, e 530 L/h, independentemente da altura de aplicação. Na altura média, a vazão de 490 L/h, também apresenta inferência estatística em relação à mesma vazão na altura superior, e 530 L/h, independentemente da altura de aplicação. Na altura superior, verifica-se diferença estatística comparando-se com as vazões de 490, 510 e 530 L/h, para as alturas inferiores e médias. Quanto à vazão de 510 L/h, na altura inferior, nota-se diferença estatística entre: 490 L/h e 510 L/h, na altura superior, bem como em relação à 530 L/h, independentemente da altura. Na altura média, verifica-se inferência estatística em relação à: 490 L/h, na altura superior e 530 L/h, independentemente da altura. Quanto à altura superior,

pode-se inferir diferença em relação à: 490 L/h, na altura inferior e média, 510 L/h, na altura média e 530 L/h, independentemente da altura. Por último, para a vazão de 530 L/h, verifica-se na altura inferior, diferença estatística em relação à todos os resultados, exceto para a vazão de 530 L/h na altura média e superior. Na altura média, o mesmo comportamento ocorre, entretanto são iguais, estatisticamente, para a vazão de 530 L/h, na altura inferior e superior. Em relação à altura superior, verifica-se diferença relacionando a totalidade dos resultados, exceto para o revestimento executado com vazão de 490 L/h, na altura superior e 530 L/h, na altura inferior e média.

Em relação à influência da altura, analisando apenas a altura inferior, pode-se constatar diferença estatística significativa comparando-se a vazão de 490 L/h, com aplicação de cima para baixo, em relação à 530 L/h, na altura inferior, em ambos os sentidos de aplicação (de cima para baixo e de baixo para cima). As mesmas diferenças estatísticas são encontradas para o revestimento executado com vazão de 490 L/h, de baixo para cima e também 510 L/h, independentemente do sentido de aplicação. Para a vazão de 530 L/h, verifica-se diferença estatística em relação à totalidade dos resultados, exceto em comparação à vazão de 530 L/h, com os dois sentidos de aplicação. Na altura média, verifica-se diferença estatística significativa comparando-se a vazão de 490 L/h, com aplicação de cima para baixo, em relação à 530 L/h, de cima para baixo, bem como de baixo para cima, na altura média do substrato. As mesmas diferenças estatísticas são encontradas para o revestimento executado com vazão de 490 L/h, no sentido de baixo para cima, e também 510 L/h, no sentido de cima para baixo. Além destes, há inferência estatística entre resultados com vazão de 510 L/h e 530 L/h, ambos no sentido de baixo para cima. Em relação à vazão de 530 L/h, verifica-se que no sentido de cima para baixo, os resultados são estatisticamente distintos em relação aos demais, exceto, comparando-se a vazão de 510 L/h, no sentido de baixo para cima. Quanto ao sentido de baixo para cima, nota-se inferência estatística sobre a totalidade dos resultados, na mesma altura (média). Por fim, na altura superior, pode-se afirmar que a diferença estatística significativa ocorre entre os seguintes resultados: vazão de 490 L/h e 530 L/h, de cima para baixo, e 530 L/h, de baixo para cima. Em relação à vazão de 490 L/h, no sentido de baixo para cima, a inferência estatística é apenas relacionada à vazão de 510 L/h, no sentido de cima para baixo. Para a vazão de 510 L/h, de cima para baixo, verifica-se diferença estatística comparando-se à 490 L/h e 530 L/h, de baixo para cima, e também 530 L/h, de cima para baixo. Em contrapartida, ao analisarmos a mesma vazão (510 L/h), de baixo para cima, pode-se notar inferência estatística apenas relacionada à vazão de 530 L/h, de baixo para cima. Para a maior vazão regulada no equipamento, 530 L/h, no sentido de cima para baixo, verifica-se diferença em relação à vazão de 490 L/h e 510 L/h, ambos no sentido de cima para baixo. No sentido de

baixo para cima, com vazão de 530 L/h, nota-se as mesmas inferências estatísticas, incluindo a vazão de 510 L/h, de baixo para cima.

### 5.3.2 Permeabilidade pelo método do cachimbo

Na Tabela 43, pode-se verificar a média dos resultados do ensaio de permeabilidade. A totalidade dos resultados será apresentada no APÊNDICE B.

Tabela 43: permeabilidade média pelo método do cachimbo

Resultados médios				
Identificação	Sentido de aplicação	Vazão (L/h)	Altura	Coefficiente de permeabilidade (ml.min)
490 L/h (CB)	Cima para baixo	490	Inferior	2,16
			Média	1,85
			Superior	1,01
510 L/h (CB)	Cima para baixo	510	Inferior	1,24
			Média	1,09
			Superior	0,38
530 L/h (CB)	Cima para baixo	530	Inferior	0,86
			Média	0,29
			Superior	0,38
490 L/h (BC)	Baixo para cima	490	Inferior	1,38
			Média	1,27
			Superior	3,53
510 L/h (BC)	Baixo para cima	510	Inferior	1,09
			Média	0,98
			Superior	0,09
530 L/h (BC)	Baixo para cima	530	Inferior	1,01
			Média	0,98
			Superior	0,50

(fonte: elaborado pela autora)

Visando analisar a interação e a influência de cada uma das variáveis estudadas, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) através. Na Tabela 44 pode-se observar o efeito das variáveis controláveis propostas neste trabalho, vazão, sentido de aplicação e altura da parede, sobre a variável de resposta.

Tabela 44: análise de variância (ANOVA) dos efeitos das variáveis controláveis em relação à permeabilidade

	SQ	GDL	MQ	Fcalc	Fator p	Significativo
Vazão	16,840	2	8,42	14,33	0,00	Sim
Sentido de aplicação	0,447	1	0,45	0,76	0,39	Não
Altura do substrato	1,009	2	0,50	0,86	0,43	Não
Vazão*Sentido de aplicação	0,940	2	0,47	0,80	0,45	Não
Vazão*Altura do substrato	3,819	4	0,95	1,63	0,18	Não
Sentido de aplicação*Altura do substrato	2,212	2	1,11	1,88	0,16	Não
Vazão*Sentido de aplicação*Altura do substrato	6,693	4	1,67	2,85	0,03	Sim
Erro	31,721	54	0,59			

SQ: Soma quadrática; GDL: graus de liberdade; MQ: média quadrada; Fcalc: valor calculado de F

(fonte: elaborado pela autora)

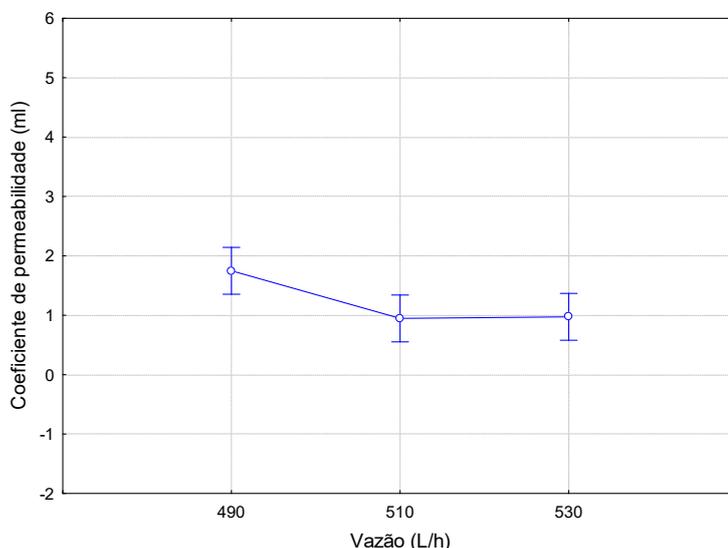
A análise da Tabela 44 permite identificar que apenas a vazão exerce influência estatisticamente significativa sobre a permeabilidade. O resultado encontrado, de que a altura do substrato não tem influência sobre a variável de resposta, também pode ser verificado através de Dias e Carasek (2003), que realizaram estudo comparando resultados em diferentes regiões de aplicação do revestimento como, por exemplo, a parte superior da parede com a parte inferior, ou o lado esquerdo, o de maior incidência solar, com o lado direito. Porém, não mostrou nenhuma tendência do ensaio do cachimbo devido às condições de aplicação. Isto porque dentro de uma mesma região analisada houve grande oscilação nos valores de permeabilidade.

Além disso, foi possível identificar influência estatística significativa no efeito combinado dos três fatores controláveis propostos: vazão, sentido de aplicação e altura de aplicação no substrato. A seguir, serão analisadas separadamente a influência das variáveis significativas estatisticamente.

#### 5.3.2.1 Influência da vazão

Verifica-se através da Figura 71, analisando somente a vazão e a variável de resposta, redução da permeabilidade com o incremento da vazão (quantidade de água).

Figura 71: influência da vazão na permeabilidade do revestimento



(fonte: elaborado pela autora)

Através da comparação múltipla de médias pelo método de Fisher, apresentada na Tabela 45, é possível observar que os resultados são estatisticamente iguais para as vazões de 510 e 530 L/h e existe inferência estatística para a vazão de 490 L/h em relação às demais.

Tabela 45: análise múltipla de médias do efeito isolado da vazão sobre a permeabilidade

	Vazão(L/h)	1 (490)	2 (510)	3 (530)
1	490		0,001204	0,000037
2	510	0,001204		0,304379
3	530	0,000037	0,304379	

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

Através dos resultados encontrados pode-se constatar aumento da vazão (quantidade de água) e tendência de redução da permeabilidade. Baía e Sabbatini (2000) citam que a permeabilidade de um material depende da natureza da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, espessura da camada e acabamento final. Em decorrência disso, pode-se constatar que a dosagem, através da alteração da quantidade de água, influencia na macroestrutura do material, em vista da facilidade à penetração de água.

Porém, acrescenta-se também que, existem propriedades da microestrutura que são decisivas, tais como a porosidade. A porosidade das argamassas pode também estar associada ao teor de ar incorporado ou aprisionado. O aumento da porosidade provoca, em argamassas, uma maior absorção de água e diminui sua resistência mecânica (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995). Nesta etapa do trabalho, pode-se constatar esta ocorrência, visto que argamassas com maior teor de ar incorporado, conforme caracterização verificada na tabela 6, apresentaram maior permeabilidade (aumento do coeficiente de permeabilidade) e também resistências mecânicas, compressão e tração na flexão, inferiores, conforme tabela 7.

Ainda, Neville (1997) afirma que a permeabilidade depende das dimensões, distribuição, forma, tortuosidade e continuidade dos poros existentes no material. Ou seja, um material poroso precisa ter uma rede aberta para permitir o transporte de líquidos em seu interior. Paulo (2006) encontrou redução da permeabilidade com o aumento da incorporação de ar, visto que as bolhas de ar cortam os capilares, reduzindo a conectividade dos poros. Entretanto, este comportamento verificado é para ocorrência de formação de microbolhas. Nesta etapa, observa-se comportamento inverso, sendo necessário analisar a dimensão e distribuição dos poros de cada revestimento executado a fim de justificar o comportamento.

### 5.3.2.2 Influência da interação entre vazão, sentido de aplicação e altura do substrato

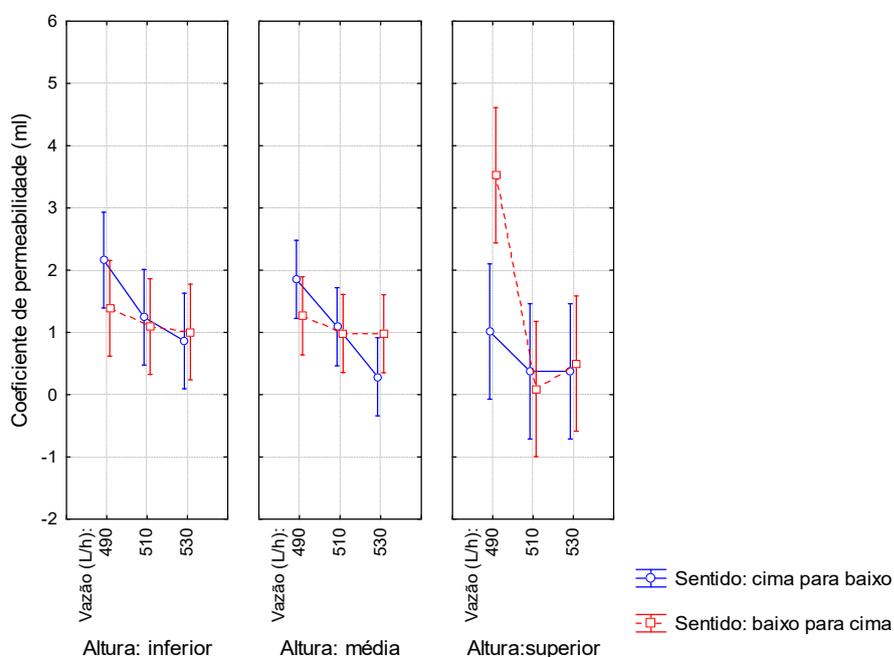
Na Figura 72, pode-se novamente observar uma tendência de redução do coeficiente de permeabilidade com o incremento de vazão de entrada de água. Além disso, é possível constatar também que, em grande parte, foram maiores os resultados, independentemente do sentido de aplicação, na altura inferior da parede, exceto o coeficiente de permeabilidade na vazão de 490 L/h, na altura superior, com o sentido de baixo para cima. Entretanto, essa

constatação é apenas uma tendência, visto que a análise estatística (ANOVA) não mostrou inferência estatística desta variável controlada analisada individualmente.

Analisando apenas as diferentes vazões, é possível identificar as seguintes constatações: que para a vazão de 490 L/h, no sentido de baixo para cima, na altura superior é diferente, estatisticamente, em relação aos demais resultados com a mesma vazão. Em relação às vazões de 510 L/h e 530 L/h não há inferência estatística entre os resultados.

No que diz respeito à altura do substrato, para a altura inferior da parede, nota-se diferença significativa apenas para as vazões de 490 L/h e 530 L/h, ambos com aplicação de cima para baixo, e 530 L/h, com aplicação de baixo para cima. Na altura média, a diferença é estatisticamente significativa entre 490 L/h, de cima para baixo, em relação a 530 L/h, no mesmo sentido. Além disso, ainda no que concerne a altura média, a vazão de 530 L/h, no sentido de cima para baixo, também apresenta inferência estatística comparando-se com a vazão de 490 L/h, no sentido de baixo para cima. Quanto à altura superior da parede, os resultados não apresentam diferença significativa, exceto a argamassa produzida com vazão de 490 L/h e aplicada no sentido de baixo para cima que apresenta inferência estatística em relação a todos os resultados.

Figura 72: interação das variáveis controláveis em relação à variável de resposta (permeabilidade)



(fonte: elaborado pela autora)

A comparação múltipla de médias através do método de Fisher no programa Statistica 8 é apresentada na Tabela 46. A fim de facilitar o entendimento e compreensão da influência da interação, a análise dos resultados da interação será realizada, separadamente, em relação à vazão, sentido de aplicação e altura do substrato.

Em relação ao sentido de aplicação, podemos verificar, primeiramente no sentido de cima para baixo, que a argamassa com vazão de 490 L/h na parte inferior da parede apresenta diferença significativa em relação a 510 L/h na altura média e superior, bem como 530 L/h, independentemente da altura do substrato. Na parte média da parede, a diferença dos resultados é significativa com a vazão de 510 L/h, na altura superior, e também 530 L/h na parte média e superior da parede. Quanto à parte superior, não houve inferência estatística significativa. Quanto a vazão de 510 L/h, na parte inferior, também não existe diferença significativa, sendo que na altura média a diferença é apenas em relação a argamassa produzida com 490 L/h, com altura inferior. Na parte superior, a diferença significativa é em relação à vazão de 490 L/h, na altura inferior e média da parede. Com a vazão de 530 L/h, na parte inferior da parede, a diferença é significativa somente em relação à 490 L/h na mesma altura. Na parte média da parede, é diferente em relação à argamassa produzida com vazão de 490 L/h na parte inferior e também com altura média. Quanto à altura superior, existe inferência estatística em relação à vazão de 490, tanto na altura inferior quanto média.

Em relação ao sentido de aplicação, pode-se constatar que no sentido de baixo para cima, existe diferença significativa, comparando a vazão de 490 L/h na parte inferior e também superior, bem como na altura média e superior. A argamassa produzida com vazão de 490 L/h, aplicada na parte superior da parede apresenta inferência estatística em relação a todos os resultados, independentemente da vazão e altura do substrato. Em relação a vazão de 510 L/h, para a altura inferior, média e superior, existe diferença significativa em relação à argamassa produzida com vazão de 490 L/h, executada na altura superior. O mesmo comportamento pode ser verificado para a vazão de 530 L/h.

Tabela 46: análise múltipla de médias da interação dos fatores controláveis sobre a permeabilidade

Vazão(L/h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	cima para baixo	inferior	0,532463	0,089557	0,158471	0,075744	0,044958	0,095784	0,034867	0,009412	0,053735	0,020697	0,002881	0,019834	0,000381	0,009412	0,037642	0,020274	0,015306
		média	0,532463	0,186835	0,352308	0,19173	0,009896	0,224481	0,091616	0,021935	0,131365	0,054865	0,006792	0,050607	0,000846	0,021935	0,093695	0,065377	0,0395235
2	cima para baixo	superior	0,089557	0,186835	0,576979	0,689155	0,001849	0,731709	0,902948	0,407376	0,905998	0,959829	0,232735	0,81915	0,250132	0,407376	0,991026	0,954549	0,504484
		média	0,158471	0,352308	0,576979	0,80797	0,00217	0,79183	0,55236	0,13299	0,590031	0,41755	0,055791	0,337002	0,030391	0,13299	0,486206	0,412795	0,186796
3	cima para baixo	inferior	0,075744	0,19173	0,689155	0,80797	0,000673	0,963223	0,694047	0,15995	0,728061	0,524685	0,065467	0,41755	0,031159	0,15992	0,602523	0,518629	0,225848
		média	0,044958	0,009896	0,001849	0,00217	0,000673	0,00114	0,000278	0,000135	0,000569	0,000159	0,000039	0,000187	0,000003	0,000135	0,000378	0,000155	0,000231
4	cima para baixo	superior	0,095784	0,224481	0,731709	0,79183	0,963225	0,00114	0,759716	0,196128	0,783007	0,600779	0,08787	0,48478	0,058503	0,196128	0,664628	0,594981	0,267448
		média	0,034867	0,091616	0,902948	0,55236	0,694047	0,000278	0,759716	0,257168	0,996656	0,807523	0,115291	0,645071	0,074718	0,257168	0,865547	0,800278	0,348629
5	cima para baixo	inferior	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
		média	0,053735	0,131365	0,905998	0,590031	0,728061	0,000569	0,783007	0,996656	0,283681	0,824233	0,136303	0,671294	0,10899	0,283681	0,874146	0,817718	0,375004
6	cima para baixo	superior	0,020697	0,054865	0,959829	0,41755	0,524685	0,000159	0,600779	0,807523	0,335333	0,824233	0,159185	0,80797	0,121675	0,335333	0,961221	0,992522	0,44327
		média	0,002881	0,006792	0,232735	0,055791	0,065467	0,000039	0,08787	0,118291	0,711458	0,136303	0,159185	0,249605	0,753522	0,711458	0,172571	0,161103	0,594883
7	cima para baixo	inferior	0,019834	0,050607	0,81915	0,337002	0,41755	0,000187	0,48478	0,465844	0,671294	0,80797	0,249805	0,250245	0,465844	0,790063	0,814465	0,58722	0,735497
		média	0,000381	0,000846	0,250132	0,030391	0,031159	0,000003	0,058503	0,074718	0,88932	0,10899	0,121675	0,753522	0,250245	0,88932	0,151385	0,123874	0,735497
8	cima para baixo	superior	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
		média	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
9	cima para baixo	inferior	0,053735	0,131365	0,905998	0,590031	0,728061	0,000569	0,783007	0,996656	0,283681	0,824233	0,136303	0,671294	0,10899	0,283681	0,874146	0,817718	0,375004
		média	0,020697	0,054865	0,959829	0,41755	0,524685	0,000159	0,600779	0,807523	0,335333	0,824233	0,159185	0,80797	0,121675	0,335333	0,961221	0,992522	0,44327
10	cima para baixo	superior	0,002881	0,006792	0,232735	0,055791	0,065467	0,000039	0,08787	0,118291	0,711458	0,136303	0,159185	0,249605	0,753522	0,711458	0,172571	0,161103	0,594883
		média	0,019834	0,050607	0,81915	0,337002	0,41755	0,000187	0,48478	0,465844	0,671294	0,80797	0,249805	0,250245	0,465844	0,790063	0,814465	0,58722	0,735497
11	cima para baixo	inferior	0,000381	0,000846	0,250132	0,030391	0,031159	0,000003	0,058503	0,074718	0,88932	0,10899	0,121675	0,753522	0,711458	0,172571	0,161103	0,594883	0,735497
		média	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
12	cima para baixo	superior	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
		média	0,009412	0,021935	0,407376	0,13299	0,15995	0,000135	0,196128	0,257168	0,283681	0,335333	0,711458	0,465844	0,88932	1,000000	0,344877	0,338625	0,871054
13	cima para baixo	inferior	0,037642	0,093695	0,991026	0,486206	0,602523	0,000378	0,684628	0,865547	0,344877	0,874146	0,961221	0,172571	0,790063	0,151385	0,344877	0,954541	0,447841
		média	0,020274	0,05377	0,954549	0,412795	0,518629	0,000155	0,594981	0,800278	0,338625	0,817718	0,992522	0,161103	0,814465	0,123874	0,338625	0,954541	0,447189
14	cima para baixo	superior	0,015306	0,035235	0,504484	0,186796	0,225848	0,000231	0,267448	0,348629	0,871054	0,375004	0,44327	0,594883	0,58722	0,735497	0,871054	0,447189	0,447189
		média	0,015306	0,035235	0,504484	0,186796	0,225848	0,000231	0,267448	0,348629	0,871054	0,375004	0,44327	0,594883	0,58722	0,735497	0,871054	0,447189	0,447189

\*Os itens sombreados correspondem aos valores com diferença significativa.

(fonte: elaborado pela autora)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio desta pesquisa percebeu-se que o tema de argamassa de projeção é abordado, na maioria das vezes, de forma tecnológica e de gestão, sendo poucas as pesquisas que contemplam as condições variáveis existentes em canteiros de obra, com a abordagem de comportamento do revestimento, as quais podem influenciar no desempenho. É importante ressaltar que a busca por referências internacionais representou uma dificuldade e necessidade de cautela, visto que os termos utilizados para concreto e argamassa projetada são os mesmos. Além disso, verificou-se que as normativas, internacionalmente e no Brasil, são inexistentes e/ou incompletas e vagas.

A escolha das variáveis que contemplam a “Etapa 1 – Em laboratório” e a “Etapa 2 – Em laboratório” foi definida a partir da “Etapa 1 – Em campo”, com a realização de visitas técnicas, as quais permitiram contato direto com a mão de obra, através da vivência prática do sistema. A vazão foi escolhida pelo fato de que na totalidade das obras constatou-se empirismo na regulação do rotâmetro e não observância da dosagem conforme a recomendação do fabricante. Acrescenta-se a isso, o fato de que se verificou diversos sistemas e fabricantes distintos com ordem e tempo de mistura distintos, bem como, possivelmente, energias de mistura diferentes. Além disso, verificou-se que o sentido de aplicação, na execução do revestimento, é extremamente variável.

Os resultados obtidos e as conclusões apresentadas, apesar de estarem em consonância com a maior parte da bibliografia existente, não devem ser tomados como forma absoluta, uma vez que dizem respeito única e exclusivamente às argamassas utilizadas neste trabalho, com os materiais e métodos mencionados no programa experimental. A representatividade do comportamento dos materiais aqui estudados deve ser firmada com a realização de novas pesquisas a fim de ratificar e/ou complementar os dados obtidos.

Ressalta-se também as dificuldades em obter uma avaliação conclusiva e precisa, uma vez que não se teve acesso às informações quanto à composição das argamassas, adições e aditivos, bem como informações precisas sobre a idade e alteração do rotor e estator dos equipamentos utilizados.

## 6.1 CONCLUSÕES

A seguir, serão citadas, separadamente, as conclusões de cada etapa, “Etapa 1 – Em laboratório” e “Etapa 2 – Em laboratório”.

### 6.1.1 Etapa 1 – Em laboratório

Através do programa experimental foi possível verificar a influência da mistura em propriedades no estado fresco e endurecido da argamassa, através de sistemas distintos, neste caso, com abastecimento via seca e via úmida, através do equipamento 1 (A1E1Q450) e equipamento 2 (A1E2Q450), respectivamente. Quanto às propriedades no estado fresco, pode-se verificar que o sistema apresentou influência no índice de consistência com o ensaio realizado aos 50 minutos e no ensaio de retenção de água (adaptação através da quantidade de água perdida em 15 minutos). Além disso, a argamassa produzida no equipamento 2 (A1E2Q450) necessita maiores cargas para deformação do material. Isto é, apesar de tratar-se da mesma argamassa e vazão, são produzidas argamassas com reologias distintas. No estado endurecido, o equipamento influencia nos resultados da resistência à tração na flexão e coeficiente de capilaridade. Nos resultados dos ensaios de teor de ar incorporado e resistência à compressão não houve inferência estatística entre os equipamentos, possivelmente devido aos coeficientes de variação elevados, que podem ter prejudicado a análise.

Quanto à influência da vazão, foi possível verificar, através da argamassa 2 (A2) as tendências do comportamento de cada propriedade mediante o aumento da quantidade de água inserida na argamassa. Em geral, pode-se perceber no estado fresco, aumento no índice de consistência, densidade de massa e perda de água, com o acréscimo da vazão, sendo o teor de ar incorporado inversamente proporcional. O ensaio que avalia a reologia, *squeeze-flow*, apesar de, no geral, não apresentar relação entre a vazão de entrada de água e comportamento reológico da argamassa, em alguns casos mostrou que as argamassas com vazão de 400 L/h e 450 L/h necessitam maior carga para o mesmo deslocamento. Isto é, apresentam maior resistência devido à menor fluidez e, conseqüentemente, podem desencadear maior probabilidade de entupimento/obstrução do mangote. Em relação ao estado endurecido, pode-se perceber tendência de aumento nos resultados de todas as propriedades estudadas (módulo de elasticidade, resistência à tração na flexão, resistência à compressão, densidade aparente e coeficiente de capilaridade), frente ao acréscimo da vazão de entrada de água.

Através da classificação das argamassas pela NBR 13281 (ABNT, 2005), é possível inferir elevada desconformidade comparando-se à especificação conforme o fabricante, argamassa

referência (LabA1 e LabA2) e coletas de argamassa produzida em obra (E1,E2 e E3), principalmente em relação ao coeficiente de capilaridade e também as resistências à compressão e tração na flexão da argamassa 2 (A2). Através do enquadramento das classes nas faixas, pode-se verificar que se esperavam resistências muito superiores e também menor permeabilidade, conforme informação técnica do produto.

Embora nas fichas técnicas dos produtos, fornecidas pelos fabricantes da argamassa, sejam informadas que as mesmas podem ser produzidas e aplicadas através de qualquer equipamento de projeção, verificou-se nesta pesquisa que esta não é uma afirmação absoluta. Através deste estudo, é possível constatar que é necessária uma compatibilidade entre argamassa e diferentes sistemas e/ou equipamentos, os quais apresentam características distintas.

### 6.1.2 Etapa 2 – Em laboratório

Através do programa experimental desta etapa espera-se que haja atenção e cautela dos participantes da cadeia produtiva, sobre a necessidade de especificação correta, não apenas para a definição do sistema, mas também sobre a necessidade de controle de fatores que geralmente não são monitorados.

Em relação ao ensaio de resistência de aderência à tração, verifica-se que a os fatores controláveis estudados, vazões, sentido de aplicação e altura do substrato, analisados isoladamente, influenciaram significativamente a variável de resposta. Considerou-se também interação significativa com uma confiabilidade de 93%, fator p de 0,07, a vazão x sentido de aplicação x altura do substrato, visto que ficou muito próximo a 0,05. Quanto à vazão, pode-se afirmar que o acréscimo de água proporcionou tendência de aumento da resistência de aderência. Em relação ao sentido de aplicação, de baixo para cima, contrariamente a recomendação do fabricante, proporcionou resultados mais elevados. Em relação à altura de aplicação no substrato, o ensaio apresentou inferência estatística apenas entre a altura média e superior.

Na avaliação da permeabilidade, verifica-se que apenas a vazão e o efeito combinado da interação entre fatores controláveis são significativos na variável de resposta. Em relação à vazão, verifica-se redução da permeabilidade com o aumento da vazão de entrada de água.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a definição dos objetivos do trabalho e cumprimento do programa experimental verificou-se limitação às variáveis controláveis propostas, sendo que durante a realização do trabalho, alguns novos questionamentos surgiram. Em pesquisas futuras, são recomendados alguns assuntos e temas, tais como:

- a) ampliação da amostragem das coletas realizadas em obra com os mesmos sistemas, equipamentos e vazões, nas propriedades, no estado fresco e endurecido, da argamassa de projeção;
- b) influência de outros sistemas e equipamentos, bem como vazões distintas, nas propriedades, no estado fresco e endurecido, da argamassa de projeção;
- c) caracterização das argamassas em relação às propriedades, no estado fresco e endurecido, da argamassa, associados à ensaios de aderência à tração e permeabilidade, em obra;
- d) compatibilização entre diferentes equipamentos e argamassa;
- e) estudo de outras variáveis intrínsecas ao processo ou pouco monitoradas em canteiros de obras, como por exemplo, comprimento da mangueira de projeção, tempo de raspagem e acabamento, idade do equipamento, alteração de rotor e estator do equipamento;
- f) relação entre extensão de aderência e permeabilidade, através da caracterização da porosidade com diferentes vazões de entrada de água;
- g) ampliação de ensaios que avaliam o comportamento para verificação do desempenho do revestimento executado frente aos mesmos fatores controláveis utilizados nesta pesquisa: vazão de entrada de água, altura do substrato e sentido de aplicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V.; SOUZA, U.E.L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Alternativas para a redução de desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final**. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

ALVES, N.J.D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassa de revestimento**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2002, 174 p.

ALVES, N.J.D; do Ó, S.W. Aditivos incorporadores de ar e retentores de água. In: BAUER, E. (Coord.). *Revestimento de argamassa: características e peculiaridades*. Brasília: Sinducon/DF, 2005.

ALVES, S.M.A. WWW.PATORREB.COM – Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

ALVES, T.C.L. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudos de caso**. Porto Alegre, 2000. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 506 R-16: Guide to shotcrete**. Detroit, Michigan, Estados Unidos, 2016, 52 p.

\_\_\_\_\_. **ACI 506.2: Specification for Shotcrete**. Detroit, Michigan, Estados Unidos, 2013, 12 p.

\_\_\_\_\_. **ACI 506.4R: Guide for the evaluation of shotcrete (Reapproved 2004)**. Detroit, Michigan, Estados Unidos, 1994, 12 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67: Standard test methods for sampling and testing brick and structural clay til**. Pensilvânia. 2016. 15 p.

\_\_\_\_\_. **ASTM C1140: standard practice for preparing and testing specimens from shotcrete test panels**. Pensilvânia, 2011. 3 p.

\_\_\_\_\_. **ASTM C1385: standard practice for sampling materials for shotcrete**. Pensilvânia, 2010. 2 p.

\_\_\_\_\_. **ASTM C1436: standard specification for materials for shotcrete**. Pensilvânia, 2013. 2 p.

\_\_\_\_\_. **C-06: Application and Use of Shotcrete**. Detroit, Michigan, Estados Unidos, 1981, 92 p.

ANTUNES JUNIOR, J.A.V. **Em direção a uma teoria geral do processo na administração da produção: uma discussão sobre a possibilidade de unificação da teoria das restrições e da teoria que sustenta a construção dos sistemas de produção com estoque zero**. Porto Alegre, 1998, 399p. Tese de Doutorado em Administração - Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ANTUNES, G.R., STOLZ, C.M., MASUERO, A.B. Análise da influência do equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração. In: 4º Congresso Português de argamassas e ETICS, 2012, Coimbra. 4º Congresso Português de argamassas e ETICS. Lisboa, APFAC, 2012.

ANTUNES, R.P.N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2005. 187p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANTUNES, R.P.N.; JOHN, V.; PILEGGI, R.G. **Influência da sequência de mistura nas propriedades reológicas de argamassas avaliada por squeeze-flow**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6º., Florianópolis, 23 a 25 de maio de 2005. Anais. Florianópolis, 2005, p. 158-179.

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**). Departamento de Engenharia de Construção Civil. BT/PCC/455

ARAÚJO JUNIOR, J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, Brasília – DF.

ARAÚJO, G.S. **Estudo de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Espírito Santos, UFES, Vitória/ES, 2001, 104 p.

ASANO, N. E. **Tecnologia construtiva de revestimento externo de argamassa com projeção contínua**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-24062016-151136/>>. Acesso em: 2016-09-05.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 47: 02**: Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressiométrico. [s. l.], 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Sistemas construtivos racionalizados permitem obras mais rápidas e eficientes. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/sistemas-construtivos-racionalizados-permitem-obras-mais-rapidas-e-eficientes>. Acesso em: 09 jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 13070**: Moldagem de placas para ensaio de argamassa e concreto projetados. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **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: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 13755:** Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 14026:** Concreto projetado - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 14279:** Concreto projetado – Aplicação por via seca - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 15839:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. **NF EN 14487-1:** Béton projeté. Partie 1: Définitions, spécifications et conformité. Brussels, France, 2005. 40 p.

\_\_\_\_\_. **NF EN 14487-2: Béton projeté. Partie 2: exécution.** Brussels, France, 2006. 40 p.

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. Capítulo 1, p 1-6.

AUSTIN, S.A.; ROBINS P.J.; GOODIER, C.I. **The rheological performance of wet-process sprayed mortars.** In: *Magazine of Concrete Research*, Vol. 51, nº 5, 1999, p. 341-352

BAÍA, L..L..M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa.** São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 82 p. (Coleção Primeiros Passos da Qualidade no Canteiro de Obras).

\_\_\_\_\_. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** O Nome da Rosa, São Paulo, 2004.

BAILER C.; TOMITCH, L. M. B., D'ELY, R. C. S. **Planejamento como processo dinâmico: a importância do estudo piloto para uma pesquisa experimental em linguística aplicada.** *Revista Intercâmbio*, v. XXIV: 129-146, 2011. São Paulo: LAEL/PUCSP.

BALLARD, G.; HOWELL, G., *Toward construction JIT.* In: ALARCÓN, L. (Ed.). *Lean construction.* Rotterdam: A.A. Balkema,, 1997. p.291-300.

BANFILL, P.F.G. *Rheology of fresh cement and concrete: A review*, 11th International Cement Chemistry Congress, Durban, May, 2003.

BARBOSA, W. da S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada sobre substratos porosos.** 2010. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

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.

BASTOS, P.K.X. **Módulo de deformações de argamassas: conceitos e métodos de determinação.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003. São Paulo. **Anais..** São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003, 40 f.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa – características e peculiaridades.** Brasília: LEM-UnB; Sinduscon, 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. 12p.

BAUER, E; FEITOSA, C.P; FILHO, H.R; ALMEIDA, P.O de. **Análise das argamassas de revestimento (industrializada e usinada), empregadas em obra do Distrito Federal, quanto aos requisitos de desempenho.** In: IX CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUCTURAS, 2003, João Pessoa. **Anais...** Paraíba, CINPAR, 2013.

BAUER, R.J.F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, II, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA / ANTAC, 1997.

BECERE, O.H. **Revestimentos de ligantes sintéticos: proposta de métodos de ensaios para avaliação de desempenho**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

BONIN, L.C.; CINCOTTO, M.A.; CARNEIRO, A.M. **Propostas conceituais que fundamentaram o texto do projeto de norma – revestimentos de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – execução**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador. ANTAC, 1997. P. 399-411.

BOSCOV, P. *Shotcrete Development In Brazil, Shotcrete for Underground Support VIII, ASCE*. 1999.

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

CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

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.

CANHOTA, C. **Qual a importância do estudo piloto?** In: SILVA, E. E. (Org.). *Investigação passo a passo: perguntas e respostas para investigação clínica*. Lisboa: APMCG, 2008. p. 69-72.

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 em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

CARASEK, H. **Apostila da disciplina Tecnologia das Argamassas**. Goiânia: Curso de Mestrado UFG, 2005.

CARASEK, H. **Patologia das argamassas de revestimento. Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. IBRACON, São Paulo, v.1, 2007.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: SBTA, 2001.

CARDOSO, F. A., *et al.* **Influência do tipo de mistura no comportamento reológico de argamassas avaliado por Squeeze-flow**. In VII SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007. VII SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Porto Alegre : ANTAC, 2007.

CARDOSO, F.A., PILEGGI, R.G., JOHN, V.M. **Caracterização reológica de argamassas através do método de squeeze-flow**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, VI, In: **Anais**, ANTAC, Florianópolis, 2005. p 121-143.

CARNEIRO, A.M.P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia – Sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre**, 1993. 136 p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

CARNEIRO, A.M.P.; CINCOTTO, M.A. **Requisitos e critérios de desempenho para revestimento de camada única em argamassa de cimento e cal**. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Goiânia, 1995, **Anais...Goiânia**, 1995, p. 326-337.

CARVALHO, A.; CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CAMPOS, C.O. **Argamassa industrializada: influência do tipo de misturador, quantidade de água e tempo de mistura nas características e propriedades no estado fresco e endurecido**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, X. In: **Anais**, ANTAC, São Paulo, 2004.

CASALI, J.M; *et al.* **Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassas para assentamento de alvenaria estrutural**. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, In: **Anais**, ANTAC, Brasília, 2001. PP 435-443.

*CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Masonry Bond strength. Data sheet*, p. 1-4, 2003.

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 Habitare*, v.1. 96 p.

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. 2010.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e método de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. (Boletim 68).

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H.; **Recomendações para a execução do ensaio de resistência de aderência à tração em revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba.

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, F.N. **Processo de produção de revestimento de fachada de argamassa: problemas e oportunidades de melhoria**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

COUTINHO, S.A., *Fabrico e Propriedades do Betão*, Volume I, Ed. Laboratório Nacional Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

CRESCÊNCIO, R M.; PARSEKIAN, G.A.; BARROS, M.S.B.; SABBATINI, F.H. **Execução de revestimentos com argamassa projetada**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., Salvador, 2000. *Anais...* Salvador: ANTAC, 2000. v. 2, p. 1067-1074.

CRESCÊNCIO, R.M. **Desempenho do revestimento decorativo monocamada**. 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

DIAS, L. de A. **Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa**. Goiânia, 2003. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

DIAS, L. de A.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003. São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2003. p. 519- 531.

DO Ó, S. W. **Análise da Retenção de Água em Argamassas de Revestimento Aditivadas**. Brasília, 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

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., Florianópolis, 2005. *Anais...* Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 508-517.

EFNARC. *European specification for sprayed concrete: Execution of spraying*. Surrey, 1999.

*European Mortar Industry Organization. Technical dictionary*. 3ed. 22p. 2001.

FERNANDES, H.C. **Estimativa de energia de lançamento das argamassas projetadas por spray a ar comprimido**. 95 f. São Paulo, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FERNANDES, H. C. *et al.* **Influência da forma de aplicação e da reologia da argamassa nas propriedades mecânica dos revestimentos**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8, 2009, Curitiba, PR.

\_\_\_\_\_. **Fatores que influenciam a energia de lançamento da argamassa na projeção por spray a ar comprimido**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7., Recife, 2007. *Anais...* Porto Alegre: ANTAC, 2007. v. 1.

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

FERNANDES, W. L. **Desempenho mecânico de revestimento interno de parede produzido com argamassa projetada aplicado sobre blocos cerâmicos lisos**. 2012. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FERREIRA, B.B.D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2010. 192 p.

FILHO, H.R. **Avaliação dos requisitos normativos das argamassas industrializadas associados à critérios de emprego e utilização**. Dissertação de Mestrado em Construções Cívicas. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013. 198 p.

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

GONÇALVES, S.R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. Brasília, 2004. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de pós-graduação em Estrutura e Construção Civil, Universidade de Brasília.

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

HANSKAT, C.. *Shotcrete Testing—Who, Why, When and How*. *Shotcrete*, V. 13, No. 3, Summer 2011, pp. 8-12.

HANZIC, L.; ILIC, R. *Relationship between liquid sorptivity and capillarity in concrete*, **Cement and Concrete Research**, v.33, p. 1385-1388, 2003.

LINARD, R.S.S.; HEINECK, L.F.M. e NUNES, F.R.M. Racionalização no processo de produção e distribuição de argamassas na construção civil, XXVI Encontro nacional de Engenharia de Produção, 09 a 11 de Outubro/ 2006 – Fortaleza, CE.

MACIEL, L.L; BARROS, M.M.S.B; SABBATINI, F.H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e externas e tetos**. São Paulo: EPUSP, 1998. (Apostila do programa de construção civil)

MACKEY, A.; GASS, S. *Common data collection measures*. In: \_\_\_\_\_. *Second language research: methodology and design*. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2005. p. 43-99.

MAIDL, B. R. *Equipment for the Production of Sprayed Concrete*. In: AUSTIN, S. A.; ROBINS, P. J. (Eds.). **Sprayed Concrete: properties, design and application**. New York: McGraw-Hill, 1995.

MASSETTO, L.T.; SILVA, F.B. da; BARROS, M.M.S.B et al.. **Novas tecnologias de produção de revestimentos verticais de argamassa: organização da produção e produtividade**. Florianópolis, SC. 1998, v.1. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

MATTANA, A.J; MEDEIROS, M.H.F de; DA SILVA, N.G. da; COSTA, M. do R. de M.M da. **Análise hierárquica para escolha entre agregado natural e areia de britagem de rocha para confecção de argamassas de revestimentos**. Revista Ambiente Construído, v.12, n.4, 2012.

MELLES, B.; WAMELINK, J. *Production control in construction*. Netherlands: Delft University Press, 1993.

MOURA, C .B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco**. 2007. 234 p. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MÜLLER, M.S.K.; BUCHER, H.R.E. **Argamassas industrializadas para revestimento de superfície e assentamento de alvenaria**. In: Argamassas industrializadas – Usos e desempenho, São Paulo, 1993. **Anais...** São Paulo, 1993.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. São Paulo. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, n. 359, 2004.

NAKAKURA, E.H.; CINCOTTO, M. A. **Análise e classificação das argamassas industrializadas segundo a NBR 13281 e a MERUC**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2003. São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP – PCC/ANTAC, p. 129-136.

NAKAKURA, E.H., CINCOTTO, M.A. **Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra**. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 4, Brasília, 2001. Anais. Brasília, PECC/ANTAC, 2001. P. 387-94.

NAKAKURA, E.H; VIEIRA, G. **Ferramenta de viabilidade (App)**. Pocket book. 1.ed. São Paulo, 2015. 28p.

NAKAMURA, J. Desafios de 2013: Produtividade. Construção Mercado. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/138/artigo284087-1.aspx>> Acesso em: 02 fev. 2017.

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. 2.ed. Tradução Salvador E. Giammusso – São Paulo: Pini, 1997.

PAIVA, H.M. **Caracterização reológica de argamassas**. Dissertação de mestrado. Ciência dos Materiais, UA, Aveiro, 2005.

PARAVISI, S. **Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

PARK, K. B.; PLAWSKY, J. L.; LITTMAN, H.; PACCIONE, J. D. *Mortar properties obtained by dry premixing of cementitious materials and sand in a spout-fluid bed mixer*. **Cement and Concrete Research**, v. 36, p. 728 – 734, 2006.

PAULO, R.S.V.M.N. **Caracterização de argamassas industriais**. 2006. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cerâmica e do Vidro) – Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

PILEGGI, R.G., STUDART, A.R., GALLO, J., PANDOLFELLI, V.C. *How mixing affects the rheology of refractory castables, Parts I and II*. *American Ceramic Society Bulletin*. v. 80 (6) p. 2731, (7) p. 38-42, 2001.

POLISSENI, A.E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimento de parede**. 140 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

RAGO, F. **Características reológicas de pastas de cales hidratadas normalizadas e de cimento**. São Paulo, 1999. 206 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo Argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2008. 192 p.

\_\_\_\_\_. **Conhecendo Argamassa**. 2ª Ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. 188 p.

REGGATTIERI, 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.

RIBEIRO, J. L. D.; TEN CATEN, C.. Projeto de Experimentos. Porto Alegre. PPGE/UFGRS, 2000. 130p.

\_\_\_\_\_. Controle Estatístico do Processo. Porto Alegre. 2003.

ROMANO, R. C. O., SCHREURS, H., SILVA, F. B., CARDOSO, F. A., BARROS, M. M. S. B., PILEGGI, R. G., JOHN, V. M. **Sensibilidade de argamassas de revestimento ao procedimento de mistura**. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, ANTAC, Curitiba – PR, 2009.

RUDUIT, F. R. **Influência da cura de chapiscos na aderência em substratos de concreto**. 2009. 177p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SABBATINI, F. H. **Tecnologia de Execução de Revestimentos de Argamassa**. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DO CONCRETO, 13., Campinas, SP, 1990. **Anais...** Campinas, 1990.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de Projetabilidade Para as Argamassas Industrializadas de Revestimento Utilizando Bomba de Argamassa Com Eixo Helicoidal**. 138 f. Brasília, DF, 2003. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2003.

SANTOS, C.C.N.; RAMOS, D.V.M. **Aspectos das argamassas projetadas**. In: **BAUER, E. (Coord). Revestimento de argamassa: características e peculiaridades**. Brasília: Sinduscon/DF, 2005. P. 51-55.

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 DAS 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.

SCHALLOM III, R. *What You need to Know before Selecting a Wet-Mix Shotcrete Pump.* Shotcrete, V. 11, No. 3, Summer 2009, pp. 6-8

SCHRAMM, F.K.; FORMOSO, C.T. **Uso da simulação interativa visual no projeto de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil.** In: III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil, Porto Alegre, 2007. *Anais...* Porto Alegre, 2007.

SELMO, S.M.S. **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989, 227p.

SILVA, A. J. C.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R. **Avaliação da influência da altura na resistência de aderência de argamassas de revestimento aplicadas por projeção mecânica.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2013, Fortaleza, 13p.

SILVA, F. G. S. **Proposta de Metodologias Experimentais Auxiliares à Especificação e Controle das Propriedades Físico-Mecânicas dos Revestimentos em Argamassa.** 2006b. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. 266p.

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

SILVA, N. G. **Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica.** Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 329p

SILVA, N. G.; COLLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; GLEIZE, P. H. P. **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areia.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 51, Curitiba-PR. *Anais...* IBRACON, 2009, 14 p.

SILVA, R.P.; BARROS, M.S.B.; PILLEGI, R.G.; JOHN, V. M. **Avaliação do comportamento da argamassa no estado fresco através dos métodos de consistência, dropping ball e squeeze flow.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2005, Florianópolis, 15p.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Resultados preliminares (Maio/2017).** Rio de Janeiro, 2017.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle.** 1993. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco**. 2005. 233p. Tese de Doutorado, Publicação E.TD 010A/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

STOLZ, C.M. **Interação entre parâmetros reológicos de argamassas e a rugosidade de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. 2011.162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TANNER, R.J., WALTERS, K. *Rheology: An historical perspective*. 1ª Ed. 1998. Elsevier Science. 268 p.

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

TRISTÃO, F.A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1995.

YOGGY, G. D., *History of Shotcrete Part 1*. Shotcrete, V. 2, No. 4, Fall 2000, pp. 28.

YOSHIDA, A. T.; BARROS, M. M. S. B. de. **Caracterização de argamassas no estado fresco – Peculiaridades da análise de argamassas industrializadas**. In: Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas, 1, 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBTA, 1995.

YOUNG, F.J; MINDESS, S; GRAY, R.J; BENTUR, A., *The Science and Technology of Civil Engineering Materials*, Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey, 1998.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da Influência da Técnica de Execução no Comportamento dos Revestimentos de Argamassa Aplicados Com Projeção Mecânica Contínua**. 122 f. São Paulo, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

APÊNDICE A: resultados de resistência de aderência à tração da  
Etapa 2 – Em laboratório

Q: 490 L/h

Sentido: cima para baixo

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	Formas de ruptura				
								A	B	C	D	E
3	1	0,43	53,78	53,59	53,77	19,76	19,08			100%		
	2	0,24	54,11	53,98	53,75	19,12	19,01			100%		
	3	0,11	54,97	54,82	54,88	19,38	18,24			100%		
	4	0,43	54,02	54,03	53,82	19,93	20,16			100%		
	5	0,56	54,93	54,86	54,84	20,09	19,83			100%		
	6	0,52	53,71	53,77	53,91	20,71	17,96			100%		
	7	0,33	53,54	53,61	53,79	21,1	21,06			100%		
	8	0,42	53,7	53,52	53,97	21,89	21,2			100%		
	9	0,68	53,84	53,2	53,74	21,39	23,45			100%		
	10	0,39	53,24	53,39	53,8	23,3	23,07			100%		
	11	0,31	53,6	53,52	53,63	23,11	23,16			100%		
	12	0,65	53,81	53,76	53,91	23,49	23,75			100%		
2	13	0,45	54,38	54,18	53,62	23,44	23,1			100%		
	14	0,31	54,14	53,94	54,09	22,77	22,84			100%		
	15	0,34	53,63	53,66	53,94	2,99	6,18			100%		
	16	0,19	53,83	53,45	53,75	24,49	24,89			100%		
	17	0,42	54,15	53,99	54,05	23,58	22,98	10%		90%		
	18	0,44	54,56	53,35	53,73	24,11	23,73	10%		90%		
	19	0,46	53,74	53,58	53,85	15,5	14,38			100%		
	20	0,31	52,74	53,35	52,88	22,02	23,46			100%		
	21	0,16	53,71	53,58	53,43	25,71	25,59			100%		
	22	0,13	53,26	53,81	53,84	25,89	24,44			100%		
	23	0,17	53,7	53,79	53,59	26,28	28,15			100%		
	24	0,43	53,52	53,13	53,22	25,48	24,8			100%		
	25	0,48	54,85	54,6	54,77	26,95	26,7			100%		
	26	0,38	53,5	53,7	53,46	27,82	27,77			100%		
	27	0,19	53,48	53,74	53,71	28,43	28,09			100%		
	28	0,38	53,9	53,84	53,69	27,97	28,01			100%		
	29	0,62	54,08	53,76	53,73	29,22	28,69			100%		
	30	0,4	51,38	51,44	51,9	28,05	28,82			100%		
	31	0,12										
	32	0,17								100%		
33	0,3	54,28	53,84	54,13	26,15	27,13			100%			
34	0,29	54,36	54,41	54,61	28,06	29,1			100%			
35	0,55	51,54	51,73	51,7	28	27,99			100%			
1	36	0,48	54,4	54,02	54,64	27,8	27,35			100%		
	37	0,45								100%		
	38	0,52	54,46	54,45	54,37	29,95	27,71			100%		
	39	0,26	54,58	54,29	55,14	29,84	29,96			100%		
	40	0,45	54,94	54,8	54,83	30,51	30,05			100%		
	41	0,51	54,56	54,57	54,62	28,74	28,1			100%		
	42	0,4	54,43	54,3	54,51	28,6	29,1			100%		
	43	0,31								40%	60%	
	44	0,15	54,93	54,8	54,62	30,53	28,6			100%		
	45	0,17	54,74	54,34	54,39	27,83	29,68			100%		
	46	0,45	54,77	54,38	55,07	28,82	28,68			100%		

Q: 490 L/h

Sentido: baixo para cima

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	Formas de ruptura				
								A	B	C	D	E
3	47	0,67	54,44	54,49	54,55	20,95	20,65	70%		30%		
	48	0,76	54,56	54,78	54,32	21,12	21,78		5%	95%		
	49	0,6	54,65	54,64	54,12	24,65	24,45		8%	92%		
	50	0,69	54,41	54,37	54,08	10,6	7,41			100%		
	51	0,57	54,58	54,63	54,32	25,37	22,14	5%		95%		
	52	0,59	54,42	54,49	54,66	22,67	23,54	5%		95%		
	53	0,68	54,61	54,77	54,88	24,14	24,29			100%		
	54	0,27	54,59	54,68	54,56	24,62	24,37			100%		
	55	0,47	54,95	54,8	55,14	24,84	25,32			100%		
	56	0,3	54,8	55,13	55,02	23,31	23,71			100%		
2	57	0,35	54,77	54,64	54,5	23,81	23,28			100%		
	58	0,2	COLA							100%		
	59	0,39	54,11	54,34	54,22	22,31	22,5			100%		
	60	0,16	54,4	54,15	54,33	23,82	22,82			100%		
	61	0,39	COLA							100%		
	62	0,32	54,16	54,3	55,75	23,58	21,03			100%		
	63	0,54	54,73	54,63	54,68	23,48	23,27			100%		
	64	0,21	54,11	54,31	53,97	24,79	25,33			100%		
	65	0,54	COLA							100%		
	66	0,2	54,55	54,54	54,08	26,66	26,26	5%		95%		
	67	0,56	54,41	54,5	54,36	27,05	24,04			100%		
	68	0,88	54,63	54,24	54,16	29,26	29,1			100%		
	69	0,71	54,08	54,14	53,94	29	28,78			100%		
	70	0,16	55,25	54,45	54,4	28,55	28,63			100%		
	71	0,25	54,25	54,5	50,37	29,38	29,3	10%		90%		
	72	0,4	54,45	54,58	54,38	30,23	28,99			100%		
	73	0,39	54,17	54,3	54,54	27,27	29,37			100%		
	74	0,48	54,15	54,28	54,17	27,74	27,44			100%		
	75	0,61	53,86	54,42	54,27	26,93				100%		
76	0,46	54,39	54,09	53,89	31,13	31,87	5%		95%			
77	0,14	55,14	54,52	54,84	22,51	22,6			100%			
78	0,22	55,35	55,92	55,51	25,76	29			100%			
79	0,13	55,72	55,26	55,2	31,16	30,54			100%			
1	80	0,69	54,87	54,31	54,38	29,13	29,85	10%		90%		
	81	0,26	54,6	54,53	54,61	29,31	29,24			100%		
	82	0,37	53,98	54,2	54,38	29,41	30,41			100%		
	83	0,23	54,66	54,33	55,02	29,42	28,84			100%		
	84	0,16	COLA									100%
	85	0,31	54,28	54,9	54,23	30,13	28,25			100%		
	86	0,3	54,8	54,68	54,55	31,03	31,08			100%		
	87	0,2	COLA							65%		35%
	88	0,39	COLA							100%		
	89	0,41	54,84	54,8	54,91	30,35	29,91			100%		
90	0,23	55,8	54,88	54,86	33,52	34,23			100%			

Q: 510 L/h

Sentido: cima para baixo

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Formas de ruptura					
									A	B	C	D	E	
3	1	0,52	52,8	53,34	53,08	14,95	13,46	11,85			100%			
	2	0,15	52,92	53,22	52,67	15,17	15,6	15,26			100%			
	3	0,55	53,5	53,88	53,37	16,8	6,11	12,33			100%			
	4	0,43	52,35	53,36	53,01	17,76	16,83	14,02			100%			
	5	0,29	53,43	53,24	53,35	17,47	18,54	9,95			100%			
	6	0,25	52,76	52,59	53,05	9,48	13,48	13,66			100%			
	7	0,28	51,86	51,84	51,5	13,06	11,21	12,7			100%			
	8	0,18	52,36	52,49	52,71	9,72	13,46	14,55			100%			
	9	0,16	COLA								100%			
	10	0,46	53,18	53,1	52,89	15,41	19,06	19,04			100%			
	11	0,46	53,2	52,84	52,94	14,77	14,72	13,96			100%			
	12	0,31	53,09	53,15	52,94	16,81	13,73	16,22			100%			
	13	0,44	52,91	52,51	52,85	16,67	18,28	17,42			100%			
	14	0,46	52,87	51,86	51,89	16,8	18,4	8,98	10%		90%			
2	15	0,48	54,57	54,61	54,46	15,7	16,1	14,97			100%			
	16	0,24	54,87	54,67	54,25	17,65	16,43	16,59			100%			
	17	0,93	54,91	54,42	54,47	20,1	20,04	20,36			100%			
	18	0,39	52,82	52,79	52,66	20,09	20,8	20,21			100%			
	19	0,19	54,68	54,74	54,68	22,92	20,67	14,22			100%			
	20	0,31	54,6	54,48	54,55	15,88	15,09	14,28			100%			
	21	0,3	54,22	54,95	54,91	17,23	17,14	16,59			100%			
	22	0,36	53,27	53,15	52,78	19,56	18,98	20,12			100%			
	24	0,43	52,24	52,12	52,31	24	23,86	21,53			100%			
	25	0,19	54,88	55,07	54,76	13,42	14,18	11,9			100%			
	26	0,23	55,08	54,92	54,6	16,04	15,44	15,63			100%			
	27	0,66	55,13	55,06	55,1	15,18	17,6	18,52			100%			
	28	0,19	54,4	54,84	54,62	23,38	22,82	22,72			100%			
	29	0,31	54,88	55,36	54,84	16,01	15,95	15,88			100%			
	30	0,49	55,4	55,73	55,7	16,57	15,83	17,72			100%			
	31	0,28	55,43	55,4	54,97	5,53	1,98	10,72			100%			
	32	0,58	53,81	53,6	53,23	11,26	12,59	12,03			100%			
	33	0,21	53,14	53,2	53,5	15,8	15,2	20,31			100%			
	34	0,2	53,15	52,72	53,63	15,81	15,22	16,05			100%			
	35	0,25	52,84	53,08	53,1	17,92	16,31	14,77			100%			
	36	0,46	53,35	53,36	53,18	22,17	22,54	20,31	5%		95%			
	37	0,44	53,6	53,56	53,54	13,68	14,43	13,99			100%			
	38	0,19	53,21	53,35	53,79	15,23	14,55	15,66			100%			
	39	0,48	53,26	53,64	53,72	18,38	18,72	18,09			100%			
	40	0,21	53,29	52,64	52,95	18,42	18,55	14,1			100%			
	41	0,53	53,2	52,56	52,78	18,45	18,55	22,1			100%			
	1	43	0,82	53,04	52,97	53,19	15,9	15,24	15,13			100%		
44		0,13	53,9	52,89	53,24	17,35	16,77	17,83			100%			
45		0,17	52,57	52,64	53,02	19,94	19,88	20,57			100%			
46		0,27	53,53	53,26	53,02	19,5	22,54	21,41			100%			
47		0,18	53,03	53,06	53,24	24,44	24,81	24,87			100%			
48		0,31	54,49	53,3	53,28	15,51	16,86	16,25			100%			
49		0,29	53,29	52,38	53,06	13,9	18,56	18,95			100%			
50		0,49	COLA											100%
51		0,24	52,89	52,94	52,55	23,75	23,78	23,42			100%			
52		0,53	52,98	52,73	52,73	15,25	13,51	15,06			100%			
53		0,97	53,39	53,48	53,29	16,1	16,11	15,26			100%			
54		0,49	52,72	53,2	53,2	19,58	18,68	19,07			100%			
55		0,27	49,67	51,21	54,17	5,8	3,13	2,61			100%			
56		0,35	53,4	53,57	54,05	24,35	25,13	23,97			100%			

Q: 510 L/h

Sentido: baixo para cima

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Formas de ruptura					
									A	B	C	D	E	
3	57	0,39	53,02	53,55	53,37	20,63	20,88	15,49			100%			
	58	0,42	53,69	53,21	53,23	19,67	13,54	18,02			100%			
	59	0,24	53,39	53,22	23,4	15,47	20,22	20,33			100%			
	60	0,49	52,76	52,67	52,89	18,02	17	17,83			100%			
	61	0,74	53,35	53,18	53,28	20,06	20,97	20,7			100%			
	62	0,66	53,68	53,62	48,9	16,74	19,76	20,82			100%			
	63	0,46	53,07	53,76	53,48	20,04	19,35	20,63			100%			
	64	0,84	53,94	53,88	54,17	20,36	22,41	21,21			100%			
	65	0,24	53,43	53,68	53,48	22,5	23,11	23,63			100%			
	66	0,66	COLA							100%				
	67	0,18	53,67	53,22	53,15	22,11	22,33	21,06			100%			
	68	0,39	54,07	53,94	54,05	23,9	23,6	23,25			100%			
	69	0,43	53,89	53,73	53,81	22,57	22,23	22,58			100%			
	70	0,79	53,64	53,73	54,1	23,64	24,44	24,22			100%			
2	71	0,46	COLA							100%				
	72	0,67	53,49	53,67	53,48	25,97	25,5	22,08			100%			
	73	0,19	53,68	53,62	53,68	26,92	27,5	27,43			100%			
	74	0,1	53,52	53,65	53,52	25,16	27	26,18			100%			
	75	0,36	53,29	53,49	53,25	28,72	28,86	27,97			100%			
	76	0,25	54,08	53,97	54,03	17,12	15,43	17,31	5%		95%			
	77	0,59	53,66	53,78	54,13	29,06	26,49	28,03			100%			
	78	0,25	53,55	53,68	53,81	23,84	30	29,22	8%		92%			
	79	0,25	53,77	54,18	54,28	27,43	28,45	28,2			100%			
	80	0,21	54,3	54,12	54,2	27,37	28,08	27,51			100%			
	81	0,18	54,09	54,3	54,28	28,28	28,03	28,09			100%			
	82	0,47	53,82	54,07	53,99	27,52	26,71	27,24			100%			
	83	1,04	54,28	54,11	54,13	27,47	27,35	27,12			100%			
	84	0,56	54,29	54,29	53,89	28,07	28,23	28,04			100%			
	85	0,47	54,21	53,81	54,02	26,13	27,81	27			100%			
	86	0,64	54,14	53,83	54,09	24,1	20,93	24,1	5%		100%			
	87	0,54	54,42	54,43	52,84	6,98	10,2	9,06			100%			
	88	0,32	54,19	53,9	54,3	27,69	27,4	24,05			100%			
	89	0,3	COLA											
	90	0,3	53,59	53,79	53,53	27,57	24,32	26,09			100%			
91	0,37	COLA												
92	0,45	53,58	53,16	53,3	28,28	26,71	27,05			100%				
1	93	0,26	53,54	53,61	53,52	23,91	25,99	27,99			100%			
	94	0,2	54,18	53,99	53,97	29,68	30	29,53			100%			
	95	0,23	54,08	53,94	54,04	28,37	30,69	30,03			100%			
	96	0,55	53,8	53,97	53,94	27,67	30,51	29,51			100%			
	97	0,21	53,44	53,6	53,55	27,85	28,71	29,13			100%			
	98	0,66	54,01	53,9	54,05	24,71	26,28	25,02			100%			
	99	0,29	54	53,82	53,99	28,08	25,75	27,22			100%			
	100	0,52	53,78	53,77	53,99	24,62	29,08	28			100%			
	101	0,8	54,06	54,3	53,64	23,58	28,46	24,9			100%			
	102	0,61	54,25	53,86	54,04	22,16	28,56	27,69			100%			
	103	0,33	54,19	53,82	53,98	22,35	25,48	23,58			100%			
	104	0,14	53,84	53,66	53,83	25,92	26,12	25,85			100%			
	105	0,22	54,25	54,17	53,87	25,05	23,73	25,47			100%			
	106	0,29	53,63	54,15	54	21,92	26,12	24,9			100%			

Q: 530 L/h

Sentido: cima para baixo

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Formas de ruptura				
									A	B	C	D	E
1	1	0,21	COLA							100%			
	2	0,32	COLA							95%	5%		
	3	0,46	COLA							100%			
	4	0,57	54,3	53,5		19,77	20,2			100%			
	5	0,59	54,22	53,88		25,62	26,47			100%			
	6	0,85	51,48	53,05		6,42	0			100%			
	7	0,64	54,06	54,36		20,97	18,71			100%			
	8	0,61	54,18	54,27		27,21	22,01			100%			
	9	0,54	COLA							5%			95%
	10	0,57	COLA							15%	80%		5%
	11	0,87	53,26	53,7		17,65	22,12			100%			
	12	0,09	54,26	54,37		20,57	18,75			100%			
	13	0,71	54,41	54,14		17,13	19,5			100%			
	14	0,6	54,23	54,34		23,81	25,67		10%	90%			
	15	0,61	54,5	54,44		22,01	24,1			100%			
	16	0,83	54,38	54,48		17,23	20,53			100%			
2	17	0,23	54,63	54,55		29,23	25,28		20%	80%			
	18	0,64	54,45	54,05		26,74	26,15		5%	95%			
	19	0,4	54,15	54,18		22,9	24,86			100%			
	20	0,81	54,44	54,16		22,41	25			100%			
	21	0,79	53,55	50,7		0	7,62			100%			
	22	0,51	53,73	53,86		24,2	26,75			100%			
	23	0,42	53,96	54,44		24,4	25,08			100%			
	24	0,2	53,9	54,11		22,16	20,7			100%			
	25	0,36	53,72	53,26		28,16	26,71			100%			
	26	0,6	53,84	54,26		24,28	24,64			100%			
	27	0,2	53,86	54,11		21,9	22,42			100%			
	28	0,38	53,92	53,69		18,44	20,01			100%			
	29	0,52	53,86	53,86		22,47	19,37			100%			
	30	0,35	54,29	54,38		19,31	20,37			100%			
	31	0,37	54,12	53,86		14,42	17,71			100%			
	32	0,57	53,96	54,23		20,52	21,2			100%			
	33	0,23	54,2	53,99		20,98	18,39			100%			
	34	0,38	53,79	53,95		19,48	19,11			100%			
	35	0,71	54,44	54,15		17,82	18,44			100%			
	36	0,71	54,3	53,83		14,07	17,64			100%			
3	37	0,43	53,98	54,11		17,74	20,86			100%			
	38	0,46	54,22	54,11		18,42	19,52			100%			
	39	0,68	<b>53,62</b>	<b>53,9</b>		<b>17,1</b>	<b>16,66</b>			100%			
	40	0,48	<b>53,95</b>	<b>54</b>		<b>19,46</b>	<b>20,08</b>			100%			
	41	0,53	54,33	54,18		17,04	21,37			100%			
	42	0,69	53,69	42,04		0	5,35		15%	85%			
	43	0,68	54,07	53,96		13,68	18,66			100%			
	44	0,72	54,61	53,97		12,16	16,5			100%			
	45	0,5	53,7	53,82		16,36	17,65			100%			
	46	0,87	54,02	54,1		17,14	12,71			100%			
	47	0,26	54,03	53,85		17,75	15,31			100%			
	48	0,71	53,83	53,75		16,46	12,41			100%			

Q: 530 L/h

Sentido: baixo para cima

Legenda: 3 – altura superior; 2 – altura média e 1 – altura inferior

Local	Identificação	Resultado (MPa)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	E1 (mm)	E2 (mm)	E3 (mm)	Formas de ruptura				
									A	B	C	D	E
1	49										100%		
	50	0,77	54,35	54,85		9,16	16,87				100%		
	51	0,62	54,09	54,26		12,91	17,3				100%		
	52	0,69	50,93	44,12		0	2,46				100%		
	53	0,58	54,09	45,13		0	4,59				100%		
	54	0,91	54,57	54,4		16,55	17,13				100%		
	55	0,64	54,06	50,85		0	8,34				100%		
	56	0,51	29,57	38,41		0	4,71			70%	30%		
	57	0,4	54,09	54,32		15,3	17,81				100%		
	58	0,85	54,43	54,33		16,37	19,13				100%		
59	0,74				COLA							100%	
60	0,9	54,14	54,65		27,93	24,43				100%			
2	61	0,88	54,28	54,24		11,61	17,65				100%		
	62	1,1	54,63	54,18		16,94	21,12				100%		
	63	0,96	53,77	43,57		0	12,37			10%	90%		
	64	0,84	54	54,94		6,03	14,79				100%		
	65	0,76	53,78	54,04		3,55	7,24				100%		
	66	0,9	53,36	45,09		0	6,86				100%		
	67	0,7	54,1	53,68		22,92	26,03				100%		
	68	0,75	54,39	54,5		14,03	18,54				100%		
	69	0,89	54,4	54,33		16,09	20,17				100%		
	70	0,6	54,56	54,34		22,25	24,81				100%		
	71	0,54	54,28	54,23		13,5	16,4				100%		
	72	0,81	53,85	54,58		18,56	18,92				100%		
	73	0,65	53,49	51,61		0	4,66			5%	95%		
	74	0,62	54,9	53,95		23,02	24,33				100%		
	75	0,61	54,18	54,34		4,58	6,64				100%		
	76	0,72	54,6	54,5		24,25	24,82				100%		
	77	0,56	54,6	54,23		21,51	24,4				100%		
	78	0,35	54,06	54,1		16,34	15,09				100%		
	79	0,59	54,18	54,06		19,31	16,47				100%		
	80	0,72	54,4	54,2		22,07	22,94				100%		
81	0,8	54,31	54,29		28,37	25,79				100%			
3	82	0,42			53,62								100%
	84	0,54	54,04	53,26		2,28	8,74				100%		
	85	0,63	54,49	54,02		2,25	11,53				100%		
	86	0,94	53,87	54,06		23,4	23,42				100%		
	87	0,51	53	43,49		0	3,06				100%		
	88	0,77	52,16	53,25		0	7,05				100%		
	89	0,77	53,86	44,11		0	6,35			5%	95%		
	90	0,7	54,3	54,28		23,16	23,3				100%		
	91	0,63	35,63	31,31		0	5,44			30%	70%		
	92	0,57			45,87							100%	
	93	0,61	45,25	45,3		0	4,85			30%	70%		

APÊNDICE B: resultados de permeabilidade da Etapa 2 – Em  
laboratório

Q: 490 L/h

Sentido: cima para baixo

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1 min	0,15	0,1	0,2	0,1	0,15	0	0	0	0	0,2	0	0
2 min	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,05	0	0,05	0,05	0,4	0,1	0
3 min	0,25	0,2	0,4	0,2	0,4	0,1	0,05	0,15	0,1	0,5	0,2	0
4 min	0,3	0,3	0,5	0,2	0,5	0,2	0,05	0,2	0,1	0,6	0,25	0
5 min	0,3	0,3	0,5	0,2	0,55	0,2	0,05	0,2	0,2	0,7	0,35	0
6 min	0,45	0,4	0,6	0,25	0,6	0,25	0,1	0,25	0,2	0,7	0,4	0
7 min	0,5	0,5	0,6	0,25	0,7	0,25	0,1	0,3	0,25	0,8	0,5	0
8 min	0,6	0,5	0,7	0,3	0,8	0,3	0,1	0,3	0,25	0,9	0,55	0
9 min	0,6	0,55	0,7	0,3	0,9	0,3	0,1	0,3	0,25	1	0,6	0
10 min	0,65	0,6	0,8	0,4	0,95	0,3	0,1	0,3	0,3	1	0,7	0
15 min	0,8	0,7	1	0,5	1	0,4	0,2	0,5	0,4	1,3	1	0,1
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	2,20	2,05	3,10	1,30	3,30	1,18	0,40	1,28	1,00	3,95	2,03	0,00

Q: 490 L/h

Sentido: baixo para cima

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ	KK	LL
1 min	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0,3	0,1
2 min	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0,2	0,1	0	0	0,5	0,2
3 min	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,05	0,3	0,15	0,1	0,1	0,65	0,25
4 min	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,75	0,3
5 min	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5	0,25	0,1	0,1	0,85	0,35
6 min	0,3	0,25	0,35	0,2	0,3	0,1	0,5	0,25	0,15	0,15	0,95	0,4
7 min	0,35	0,3	0,35	0,2	0,3	0,2	0,55	0,3	0,2	0,2	1	0,4
8 min	0,4	0,3	0,4	0,2	0,35	0,2	0,6	0,3	0,25	0,2	1,1	0,5
9 min	0,4	0,3	0,4	0,25	0,35	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	1,1	0,5
10 min	0,45	0,3	0,45	0,3	0,35	0,25	0,65	0,35	0,3	0,25	1,2	0,6
15 min	0,55	0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,8	0,45	0,4	0,3	2	0,8
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	1,65	1,25	1,80	0,85	1,43	0,65	2,65	1,35	0,78	0,75	5,00	2,05

Q: 510 L/h

Sentido: cima para baixo

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
1 min	0,1	0,1	0	0	0	0,2	0	0	0,15	0,15	0	0
2 min	0,15	0,1	0,1	0	0,1	0,2	0	0	0,15	0,15	0	0
3 min	0,25	0,2	0,1	0,05	0,1	0,2	0	0,1	0,15	0,2	0,05	0
4 min	0,3	0,2	0,15	0,05	0,15	0,25	0,1	0,1	0,15	0,25	0,05	0
5 min	0,3	0,3	0,15	0,1	0,15	0,3	0,1	0,1	0,15	0,3	0,1	0
6 min	0,3	0,3	0,15	0,2	0,15	0,3	0,1	0,1	0,15	0,4	0,15	0,05
7 min	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,35	0,1	0,15	0,2	0,4	0,15	0,05
8 min	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,5	0,2	0,1
9 min	0,5	0,35	0,2	0,2	0,2	0,45	0,15	0,2	0,2	0,5	0,25	0,1
10 min	0,55	0,35	0,25	0,25	0,2	0,45	0,2	0,25	0,25	0,5	0,3	0,15
15 min	0,8	0,4	0,25	0,35	0,3	0,55	0,25	0,3	0,4	0,7	0,45	0,2
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	1,88	1,50	0,90	0,70	0,90	1,70	0,45	0,65	0,98	1,88	0,60	0,15

Q: 510 L/h

Sentido: baixo para cima

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	aa	bb	cc	dd	ee	ff	gg	hh	ii	jj	kk	ll
1 min	0	0,05	0,1	0,05	0	0	0	0	0,1	0	0	0
2 min	0	0,1	0,1	0,05	0	0	0	0,05	0,2	0	0	0
3 min	0,05	0,1	0,15	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,3	0,05	0	0
4 min	0,05	0,15	0,2	0,15	0,1	0	0,2	0,15	0,4	0,05	0	0
5 min	0,1	0,2	0,25	0,2	0,1	0,05	0,2	0,15	0,45	0,1	0	0
6 min	0,2	0,2	0,3	0,25	0,1	0,05	0,2	0,2	0,5	0,1	0	0,05
7 min	0,2	0,25	0,3	0,25	0,1	0,1	0,3	0,2	0,5	0,1	0	0,05
8 min	0,25	0,3	0,35	0,3	0,1	0,1	0,3	0,25	0,6	0,1	0,05	0,1
9 min	0,25	0,3	0,35	0,3	0,1	0,1	0,35	0,3	0,65	0,15	0,1	0,1
10 min	0,3	0,35	0,4	0,35	0,1	0,1	0,4	0,3	0,7	0,2	0,1	0,1
15 min	0,35	0,5	0,55	0,45	0,15	0,15	0,5	0,4	1	0,2	0,2	0,2
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	0,73	1,10	1,43	1,13	0,55	0,25	1,15	0,95	2,55	0,45	0,03	0,15

Q: 530 L/h

Sentido: cima para baixo

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	a'	b'	c'	d'	e'	f'	g'	h'	i'	j'	k'	l'
1 min	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
2 min	0	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
3 min	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
4 min	0,2	0,2	0	0,15	0,1	0	0	0	0	0	0	0
5 min	0,3	0,2	0	0,15	0,1	0	0,05	0,1	0,1	0	0,1	0,1
6 min	0,3	0,2	0	0,15	0,1	0	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1
7 min	0,4	0,2	0	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,1	0,1
8 min	0,5	0,2	0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,2
9 min	0,6	0,2	0	0,2	0,1	0,15	0,1	0,15	0,15	0,1	0,1	0,2
10 min	0,7	0,25	0	0,2	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,3
15 min	0,95	0,4	0,1	0,3	0,2	0,3	0,15	0,25	0,3	0,2	0,2	0,4
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	1,55	1,05	0,00	0,85	0,45	0,15	0,25	0,35	0,38	0,15	0,35	0,40

Q: 530 L/h

Sentido: baixo para cima

Tempo/Identif.	Alturas											
	Inferior				Média						Superior	
	aa'	bb'	cc'	dd'	ee'	ff'	gg'	hh'	ii'	jj'	kk'	ll'
1 min	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0,3	0,1	0	0	0,3	0,3
2 min	0,1	0,1	0,15	0,15	0	0	0,3	0,1	0	0,1	0,4	0,3
3 min	0,1	0,1	0,15	0,15	0	0,05	0,35	0,15	0,1	0,1	0,6	0,4
4 min	0,1	0,1	0,2	0,15	0	0,1	0,35	0,2	0,1	0,1	0,7	0,5
5 min	0,15	0,15	0,2	0,2	0	0,1	0,4	0,2	0,1	0,15	0,75	0,5
6 min	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,15	0,15	0,8	0,6
7 min	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,25	0,2	0,2	0,9	0,6
8 min	0,2	0,2	0,25	0,2	0,15	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	1	0,7
9 min	0,25	0,2	0,25	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	1	0,7
10 min	0,25	0,2	0,25	0,2	0,2	0,2	0,45	0,4	0,25	0,22	1,1	0,8
15 min	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,32	0,3	1,4	1
<b>Coefficiente de permeabilidade (A)</b>	0,90	0,90	1,15	1,08	0,28	0,55	2,25	1,20	0,75	0,85	0,40	0,60