

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS DE FACHADA COM APLICAÇÃO  
MECÂNICA E MANUAL DE ARGAMASSA**

**Sandra Paravisi**

Porto Alegre  
março 2008

**SANDRA PARAVISI**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS DE FACHADA COM APLICAÇÃO  
MECÂNICA E MANUAL DE ARGAMASSA**

Dissertação 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

Porto Alegre  
março 2008

P337a Paravisi, Sandra

Avaliação de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa / Sandra Paravisi. – 2008.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2008.

Orientação da Prof<sup>ª</sup>. Dra. Angela Borges Masuero.

1. Revestimento de argamassa 1. 2. Sistemas de produção 2. 3. Gestão 3. I. Masuero, Angela Borges, orient. II. Título.

CDU–691.53(043)

**SANDRA PARAVISI**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS DE FACHADA COM APLICAÇÃO  
MECÂNICA E MANUAL DE ARGAMASSA**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 12 de março de 2008

Prof.<sup>a</sup>. Angela Borges Masuero  
Dr.<sup>a</sup>. pela UFRGS  
Orientador

Prof. Eduardo Luís Isatto  
Dr. pela UFRGS  
Colaborador

Prof. Luis Carlos Bonin  
Msc. pela UFRGS  
Colaborador

Prof. Fernando Schnaid  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof.<sup>a</sup>. Mércia Maria Semensato Bottura de Barros (USP)**  
Dr.<sup>a</sup> pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Prof. Carlos Torres Formoso (UFRGS)**  
Ph.D. pela Salford University, Grã Bretanha

**Prof.<sup>a</sup>. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)**  
Dr.<sup>a</sup>. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

**Prof.<sup>a</sup>. Fernanda Macedo Pereira (ULBRA/CIENTEC)**  
Dr.<sup>a</sup>. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Ana e Ivo.

## **AGRADECIMENTOS**

À Comunidade da Construção de Porto Alegre, aos parceiros, às empresas e às instituições participantes, por oportunizarem o desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço aos engenheiros, gerentes e operários das empresas que colaboraram com essa pesquisa, em especial aos operários, os quais tornaram esse estudo menos árduo.

Agradeço a minha família (pai, mãe, mano Marcelo e futura cunhada Bruna) pelo companheirismo e por estarem sempre presentes, mesmo com a distância. Sem eles não seria possível. Agradeço também à vó Hilda, a tia Vanda e a madrinha Tê pelo carinho e disposição em ajudar.

Ao Kuki (Luís Felipe), namorado compreensivo e participativo (obrigada pelas “traduções literais”) e aos seus pais e irmãos por proporcionarem momentos em família.

Agradeço a professora Angela, orientadora dessa pesquisa, pelos conselhos. Aos professores colaboradores, Prof. Bonin e Prof. Isatto, que se esforçaram para participar e foram fundamentais no desenvolvimento dessa pesquisa. Agradeço também aos demais professores do NORIE/UFRGS, que, mesmo com poucos recursos, dedicam-se para manter os grupos de pesquisa e para colaborar com o aprendizado dos alunos.

Ao futuro engenheiro Cássio, estudante de engenharia civil da PUC-RS, exemplo de dedicação e otimismo, pela grande ajuda no desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço a Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC, à Eng. Fernanda e ao Eng. Felipe (agora também colega de NORIE) pelo apoio nos ensaios realizados.

Aos laboratoristas Airton e Éderson pela participação ativa e bem humorada nas atividades dessa pesquisa. À Simone, funcionária do NORIE, sempre atenciosa.

Agradeço aos meus colegas de faculdade e grandes amigos, Dani, Guto, Vivi, Mari, Lu, Ju, Beta, Caróis, Grazi, Jean, Gigio e Lucas, por proporcionarem momentos de descontração.

Finalmente, agradeço aos meus colegas de NORIE, alunos das áreas de materiais, de gerenciamento e de sustentabilidade, pelo respeito, acolhimento e esforço de integração. Agradeço especialmente ao Rodrigo Lameiras e Fábio Schramm pelo importante auxílio nesse estudo. A minha turma de mestrado, Cíntia, Cristiane, Ingrid, Ivo, Karina, Lisiane, Márcia, Patrícia e Valcir, em especial à Cris, pesquisadora dedicada e companheira de muitas lágrimas e gargalhadas, e à Márcia, querida colega que colaborou com muitas bibliografias.

## RESUMO

PARAVISI, S. **Avaliação de Sistemas de Produção de Revestimentos de Fachada com Aplicação Mecânica e Manual de Argamassa**. 2007. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

A falta de uma gestão mais efetiva e de uma visão sistêmica e os baixos níveis de racionalização e industrialização da produção de revestimento de argamassa no Brasil têm sido responsáveis pela alta variabilidade na produção, por índices insatisfatórios de produtividade e perdas e por problemas de qualidade do produto. Uma das etapas desse processo que permanece muito dependente da mão-de-obra é a aplicação de argamassa. Embora alguns autores sustentem que o uso da projeção mecânica para essa atividade introduza aumentos de qualidade do produto em relação ao método convencional, ainda é reduzido o número de empresas que a utiliza. Ao mesmo tempo, poucos são os estudos que abordam de forma sistêmica os possíveis ganhos em eficiência proporcionados pela mecanização dessa atividade. Essa pesquisa tem como objetivo identificar as dificuldades e os benefícios do uso de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa através de dois estudos de caso. Para tanto, foi aplicado um método de avaliação da produção, com o qual os dois sistemas foram analisados e obtiveram-se índices de produtividade e de perdas, bem como dados referentes aos custos de produção e à qualidade do produto. Além disso, o método possibilitou a identificação de oportunidades de melhoria e de barreiras à utilização de sistemas com aplicação mecânica de argamassa e aspectos relevantes à sua implantação. Os resultados apontaram que o sistema mecanizado gerou ganhos de qualidade do produto e redução nas perdas de argamassa, aumentando a confiabilidade da produção nesses aspectos. Por outro lado, o uso desse sistema não representou ganhos de produtividade na empresa. No entanto, verificou-se ainda a existência de um grande potencial de melhoria de desempenho, que poderia ser obtido com maior esforço na organização do trabalho. Apesar disso, o levantamento de custos revelou que o sistema é viável economicamente em relação ao sistema manual, principalmente em função da redução de perdas de argamassa. Pode-se concluir também que as principais barreiras à utilização de sistemas com aplicação mecânica de argamassa são a falta de visão sistêmica, a ausência ou ineficiência de projeto e de planejamento do sistema de produção e o despreparo da mão-de-obra.

Palavras-chave: revestimento de argamassa, aplicação mecânica, gestão de sistemas de produção, avaliação da produção.

## **ABSTRACT**

**PARAVISI, S. Avaliação de Sistemas de Produção de Revestimentos de Fachada com Aplicação Mecânica e Manual de Argamassa.** 2007. Dissertação (Mestrado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

### **Production Evaluation of Rendering Façade with Mechanical and manual Application of Mortar**

The high amount of production variability and materials waste and the low productivity and quality level of rendering in Brazil are a consequence from the lack of effective management and systemic approach in the production process allied with low levels of rationalization and industrialization. The projection of mortar is still handmade and greatly influenced by labor skills. The mechanical projection has shown a great potential to increase rendering quality when compared to handmade conventional projection. Thus, a few constructors are using mortar pumps, leading to the development of studies about the feasibility and efficiency of mechanized production systems. The case studies shown in this work were done by applying an evaluation method to handmade and mechanical projection systems of rendering production to analyze cost, productivity, waste and quality levels and identify improvement opportunities. Relevant aspects of mechanical projection system implementation and its difficulties were studied. The results show that the best benefits of mechanical projection systems were the potential to increase quality and reduce the waste of mortar, thus contributing to cut the costs. However, better planning of the production system is necessary to improve the production level, even though there was a great potential to increase performance. The barriers to the use of this production technology are the lack of systemic approach, production design and management and well-trained manpower.

**Keywords:** mortar rendering, mechanical projection, production system management, production evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: sistema de vedação e revestimento com argamassa.....	23
Figura 2: exemplo de processo de produção com argamassa feita em obra .....	38
Figura 3: exemplo de processo de produção com argamassa industrializada .....	39
Figura 4: projetor com recipiente acoplado – pistola (a) e caneca (b) .....	43
Figura 5: bomba de argamassa (a) e mangote e pistola de projeção (b).....	44
Figura 6: bomba de argamassa com eixo helicoidal .....	45
Figura 7: bomba de argamassa com pistão .....	45
Figura 8: Modelo de conversão .....	53
Figura 9: Fases da produção de revestimentos .....	56
Figura 10: exemplo de diagrama de processos.....	64
Figura 11: exemplo de mapofluxograma .....	65
Figura 12: exemplo de mapa de fluxo de valor .....	68
Figura 13: etapas do mapeamento do fluxo de valor .....	69
Figura 14: esquema de metodologia de pesquisa .....	74
Figura 15: método de Costa para avaliação do processo de execução de revestimentos de fachada de argamassa .....	75
Figura 16: índices e dados levantados .....	77
Figura 17: ferramentas de avaliação.....	78
Figura 18: modelo de cartão de produção .....	80
Figura 19: exemplo de representação gráfica da produção .....	82
Figura 20: perdas conforme etapas do diagrama de processo .....	83
Figura 21: planilha de registro de perdas de argamassa .....	84
Figura 22: corte da fachada com pontos de medição de espessura .....	85
Figura 23: modelo de planilha de amostragem de trabalho.....	86
Figura 24: equipamento de ensaio (a) e de corte dos corpos-de-prova (b).....	89
Figura 25: ensaio com o "método do cachimbo" .....	90
Figura 26: cachimbo original (a) e cachimbo novo com aba móvel (b).....	91
Figura 27: síntese do método de avaliação do processo de produção .....	93
Figura 28: fachadas acompanhadas no estudo.....	95
Figura 29: central de argamassa (a) e projeção de argamassa (b) .....	96
Figura 30: seqüência de preparação e produção do revestimento .....	97
Figura 31: corte das saliências (a) e aplicação de zarcão (b).....	98
Figura 32: escovação da estrutura (a) e limpeza da fachada (b).....	98

Figura 33: aplicação do chapisco (a) e aplicação de tela de aço (b).....	98
Figura 34: execução de taliscas e mestras (a) e projeção de argamassa (b) .....	99
Figura 35: sarrafeamento (a) e aplicação de pastilhas cerâmicas (b) .....	100
Figura 36: mapofluxograma no 15º pavimento .....	101
Figura 37: produtividade de oito empresas e da empresa em estudo .....	103
Figura 38: distribuição de espessuras do revestimento .....	104
Figura 39: distribuição de tempos na produção de revestimento .....	105
Figura 40: distribuição de tempos na execução do chapisco.....	106
Figura 41: perda de mão-de-obra na execução do chapisco (a) e do revestimento (b) .....	107
Figura 42: perda de argamassa .....	109
Figura 43: perda de argamassa ao longo do processo .....	110
Figura 44: descolamento do revestimento (a) e argamassa muito fluida (b).....	111
Figura 45: resistência de aderência à tração nas fachadas leste e sul .....	113
Figura 46: percentual dos custos por recurso .....	117
Figura 47: diagrama do processo na empresa E .....	118
Figura 48: fluxo de argamassa na empresa E com uso de argamassa industrializada e aplicação manual durante o estudo de COSTA (2005) .....	119
Figura 49: planta-baixa e fachadas do bloco de apartamentos padrão .....	120
Figura 50: seqüência de produção do sistema mecanizado .....	122
Figura 51: balanceamento das subequipes da equipe A .....	122
Figura 52: projeção de argamassa (a) e aplicação, sarrafeamento e desempenho (b).....	123
Figura 53: mapofluxograma do sistema mecanizado .....	124
Figura 54: central de argamassa do sistema mecanizado .....	125
Figura 55: seqüência de produção do sistema manual .....	125
Figura 56: balanceamento da equipe C do sistema manual.....	126
Figura 57: central de argamassa (a) e equipe do sistema manual (b) .....	126
Figura 58: mapofluxograma do sistema manual.....	127
Figura 59: produtividade de oito empresas e da empresa em estudo .....	131
Figura 60: distribuição de espessuras do sistema mecanizado (a) e do sistema manual (b)	133
Figura 61: resultado da amostragem do sistema mecanizado.....	133
Figura 62: resultado da amostragem do sistema manual.....	135
Figura 63: perdas de mão-de-obra dos dois sistemas .....	135
Figura 64: perdas de argamassa .....	138
Figura 65: sistema mecanizado (a) e sistema manual (b).....	138
Figura 66: transporte contínuo até o andar (a) e aplicação mecânica (b).....	139

Figura 67: estoque no andar do sistema manual (a) e transporte manual até o andar (b).....	139
Figura 68: perdas de argamassa ao longo do processo.....	140
Figura 69: aplicação, sarrafeamento e desempenho (a) e desentupimento do mangote (b) ...	140
Figura 70: mapeamento do pano 6g e 6c do sistema mecanizado.....	143
Figura 71: aplicação de argamassa muito fluida (a) e argamassa muito fluida escorrendo pela fachada (b) .....	143
Figura 72: resistência de aderência à tração nos pavimentos do pano 6g .....	144
Figura 73: resistência de aderência das equipes B e C.....	144
Figura 74: mapeamento do pano 10g e 10c do sistema manual .....	145
Figura 75: resistência de aderência do sistema manual e mecanizado .....	146
Figura 76: resistência de aderência dos revestimentos da equipe A.....	147
Figura 77: resistência de aderência à tração dos revestimentos das equipes B e C.....	148
Figura 78: permeabilidade do revestimento da equipe A do sistema mecanizado e da B do sistema manual no dia 27/09 (a) e no dia 02/10 (b) .....	150
Figura 79: permeabilidade do revestimento da equipe A .....	151
Figura 80: permeabilidade do revestimento das equipes C e A .....	151
Figura 81: percentual de custos por recurso do sistema mecanizado (a) e manual (b) .....	153
Figura 82: diagrama do processo com aplicação mecânica (a) e manual de argamassa (b). .....	154
Figura 83: simulação do sistema manual no programa Arena.....	156
Figura 84: simulação do sistema mecanizado no Arena.....	156
Figura 85: tempo de uso dos recursos no sistema mecanizado (a) e manual (b).....	157
Figura 86: fluxo de valor no sistema mecanizado .....	158
Figura 87: fluxo de valor no sistema manual .....	160
Figura 88: <i>check list</i> do Sistema de movimentação e armazenamento de materiais .....	160
Figura 89: <i>check list</i> da produção e transporte de argamassa .....	161
Figura 90: condições dos trajetos (a) e do percurso de transporte (b).....	161
Figura 91: <i>check list</i> da execução de revestimento .....	162
Figura 92: <i>check list</i> de segurança em obra .....	162
Figura 93: andaime sobre base irregular (a) e operários sem EPI (b) .....	162
Figura 94: estoque de materiais (a) e dosagem de cimento com pá (b).....	163

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: limites de resistência de aderência à tração .....	35
Tabela 2: símbolos das atividades (baseado em ISHIWATA, 1991).....	64
Tabela 3: ferramentas para identificação de perdas.....	72
Tabela 4: etapas da pesquisa.....	74
Tabela 5: produtividade por pano de fachada.....	102
Tabela 6: argamassa consumida por pano de fachada.....	104
Tabela 7: perda de argamassa de revestimento .....	109
Tabela 8: falhas no revestimento .....	111
Tabela 9: resistência de aderência na fachada leste.....	112
Tabela 10: resistência de aderência à tração na fachada sul.....	112
Tabela 11: análise de variância do efeito da orientação da fachada.....	113
Tabela 11: resistência de aderência à tração na fachada oeste .....	114
Tabela 12: ensaio 1 de permeabilidade no pano 23 da fachada oeste .....	114
Tabela 13: ensaio 2 de permeabilidade no pano 23 da fachada oeste .....	115
Tabela 14: permeabilidade nos panos 25 e 27 da fachada oeste .....	115
Tabela 15: custos do sistema em funcionamento .....	116
Tabela 16: custos do sistema com ociosidade .....	117
Tabela 17: atividades do processo de produção de revestimento nas empresas avaliadas por Costa (2005).....	118
Tabela 18: média de produtividade dos sistemas .....	128
Tabela 19: produtividade por pano de fachada do sistema mecanizado.....	128
Tabela 20: produtividade por pano de fachada do sistema manual.....	130
Tabela 21: consumo de argamassa do sistema mecanizado .....	132
Tabela 22: consumo de argamassa do sistema manual.....	132
Tabela 23: perdas de argamassa do sistema mecanizado .....	137
Tabela 24: perdas de argamassa do sistema manual.....	137
Tabela 25: levantamento de falhas do sistema mecanizado .....	141
Tabela 26: levantamento de falhas do sistema manual.....	141
Tabela 27: levantamento de falhas da equipe A com aplicação mecânica e manual .....	142
Tabela 28: resistência de aderência à tração do sistema mecanizado.....	143
Tabela 30: análise de variância do efeito do uso da argamassa muito fluida.....	144
Tabela 31: resistência de aderência à tração do sistema manual.....	144
Tabela 32: análise de variância do efeito da equipe .....	145

Tabela 32: análise de variância do efeito do sistema.....	146
Tabela 30: resistência de aderência à tração da equipe A com aplicação mecânica e manual de argamassa .....	146
Tabela 35: análise de variância do efeito do tipo de aplicação de argamassa .....	147
Tabela 36: resistência de aderência à tração do sistema manual .....	147
Tabela 37: análise de variância do efeito da equipe .....	148
Tabela 32: histórico de resistência de aderência à tração .....	148
Tabela 33: permeabilidade à água do sistema mecanizado .....	149
Tabela 34: permeabilidade à água do sistema manual .....	149
Tabela 41: análise de variância do efeito do sistema no ensaio do dia 27/09 .....	149
Tabela 42: análise de variância do efeito do sistema no ensaio do dia 02/10 .....	150
Tabela 43: permeabilidade à água da equipe A com aplicação mecanizada e manual .....	150
Tabela 44: análise de variância do efeito tipo de aplicação de argamassa .....	150
Tabela 45: análise de variância do efeito da equipe .....	151
Tabela 36: custos do sistema mecanizado em funcionamento .....	152
Tabela 37: custos do sistema manual em funcionamento.....	152
Tabela 38: custos do sistema mecanizado com ociosidade .....	153
Tabela 39: custos do sistema manual com ociosidade .....	153
Tabela 40: atividades dos sistemas de produção .....	155
Tabela 41: atividades e perdas no processo de produção de revestimento em empresas avaliadas por Costa (2005) e na empresa E.....	155

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
1.1	CONTEXTO DA PESQUISA	15
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA	17
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA	19
1.4	MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA	19
1.5	PROPOSIÇÕES DE PESQUISA	20
1.6	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	20
1.7	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
<b>2</b>	<b>SISTEMAS DE REVESTIMENTOS À BASE DE ARGAMASSA</b>	23
2.1	CARACTERIZAÇÃO	23
2.2	FUNÇÕES, REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO	24
2.2.1	Permeabilidade	25
2.2.2	Aderência ao substrato	28
2.3	SISTEMAS DE PRODUÇÃO	35
2.3.1	Sistemas de produção com aplicação manual e argamassa preparada em obra e argamassa industrializada em sacos	36
2.3.2	Sistemas de produção com aplicação mecânica e argamassa industrializada em sacos	42
2.3.3	Considerações sobre os sistemas com aplicação manual e mecânica	50
<b>3</b>	<b>GESTÃO DA PRODUÇÃO</b>	52
3.1	CONCEITOS	52
3.1.1	A produção como um sistema	52
3.1.2	Qualidade na produção	54
3.1.3	Industrialização da produção	57
3.1.4	Perdas na produção	59
3.2	AValiação e controle da produção	62
3.2.1	Diagrama de processos	63
3.2.2	Mapofluxograma	65
3.2.3	Cartão de produção	66
3.2.4	Amostragem de trabalho	66
3.2.5	Mapeamento do fluxo de valor	67
3.2.6	Simulação do sistema de produção	70
3.2.7	Uso das ferramentas de avaliação para a identificação de perdas	71

<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b>	73
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	73
4.2	DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO	75
4.2.1	O método de Costa (2005)	75
4.2.2	Aperfeiçoamento do método	76
4.3	O MÉTODO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO	77
4.3.1	Descrição do sistema de produção	79
4.3.2	Produtividade	80
4.3.3	Consumo de material	82
4.3.4	Perdas	82
4.3.5	Falhas no produto final	87
4.3.6	Desempenho do produto final	88
4.3.7	Custos	91
4.3.8	Potencial de melhoria do sistema	92
4.3.9	Fontes de evidência	92
4.4	RESUMO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	93
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	94
5.1	PESQUISAS INICIAIS	94
5.2	ESTUDO DE CASO 1	94
5.2.1	Características da empresa “E”	95
5.2.2	Características do sistema de produção	96
5.2.3	Produtividade	101
5.2.4	Consumo de materiais	104
5.2.5	Perdas	105
5.2.6	Falhas no produto final	111
5.2.7	Desempenho do produto final	112
5.2.8	Custos	116
5.2.9	Determinação do potencial do sistema	117
5.3	ESTUDO DE CASO 2	120
5.3.1	Características da empresa “V”	120
5.3.2	Características do sistema de produção	121
5.3.2.1	Sistema mecanizado	121
5.3.2.2	Sistema manual	125
5.3.3	Produtividade	127
5.3.4	Consumo de materiais	132

5.3.5	Perdas .....	133
5.3.6	Falhas no produto final.....	140
5.3.7	Desempenho do produto final.....	142
5.3.8	Custos .....	152
5.3.9	Determinação do potencial do sistema .....	154
5.4	CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE AVALIAÇÃO .....	163
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>165</b>
6.1	CONCLUSÕES.....	165
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	169
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>170</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>179</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo contém uma introdução à pesquisa através da apresentação do seu contexto, do problema de pesquisa, das motivações da pesquisadora, das questões e das proposições, dos objetivos e das limitações do estudo.

## 1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

O sistema de revestimento com uso de argamassa é amplamente empregado no Brasil. Apesar disso, sua produção caracteriza-se por altos índices de perdas, alta variabilidade, baixa produtividade e por problemas de qualidade do produto. Em se tratando de revestimento externo, é comum que essa etapa represente um gargalo da produção, refletindo-se no prazo de execução da edificação (SCHRAMM e FORMOSO, 2007).

Problemas de qualidade na produção de revestimentos de argamassa foram constatados por Costa (2005) na avaliação de desempenho da produção de revestimentos de fachada de argamassa em empresas de Porto Alegre. Nesse estudo o autor identificou que metade das obras analisadas apresentava problemas antes da edificação ser entregue ao cliente. Já Segat (2005) verificou a presença de manifestações patológicas em revestimentos externos de argamassa de edificações para habitação de interesse social com dez anos de idade em Caxias do Sul – RS. Dos 1788 planos analisados, 65,32% apresentavam fissuras disseminadas, 9,56% fissuras mapeadas, 2,13% manchas de umidade provenientes de infiltração, 22,82% vesículas, 3,08% descolamento e 1,57% apresentavam outros tipo de fissura.

Em relação às perdas de argamassa, Costa (2005) registrou índices que variavam de 66 a 99%, contemplando as perdas no transporte, na aplicação, no manuseio, no reguamento da argamassa e por espessura excessiva do revestimento. Já Agopyan et al. (1998) identificaram perdas medianas de 53% de cimento na produção de revestimento externo em oito obras.

Segundo Cincotto et al. (1995), o processo de produção de revestimentos à base de argamassa possui alta variabilidade, o que se deve à falta de procedimentos sistemáticos de produção de argamassa. Os autores ainda afirmam que a alta variabilidade na resistência de aderência à tração dos revestimentos deve-se principalmente à aplicação manual de argamassa, a qual é dependente do operador. Por outro lado, Duailibe et al. (2005) verificaram melhoria de resistência de aderência e de permeabilidade à água em revestimentos produzidos com projeção mecânica de argamassa.

A baixa qualidade e produtividade observadas no processo tradicional de produção de revestimentos de argamassa, apesar dos muitos estudos sobre suas técnicas construtivas e sobre o comportamento do material, indicam que a solução não é apenas tecnológica. Exige também a difusão e a aplicação do conhecimento e o aperfeiçoamento da gestão nas empresas através de mecanismos de planejamento e controle da produção. Algumas dessas deficiências foram constatadas por Diogo (2007) na análise do processo de produção de revestimentos de fachada de argamassa em obras de empresas da cidade de Santos. Nesse estudo o autor identificou a ausência de projeto de revestimento, de procedimentos documentados de execução e de recebimento de materiais e de projeto do canteiro de obras na maioria das empresas participantes.

Por outro lado, na opinião de Ceotto et al. (2005), os problemas relativos aos revestimentos de argamassa foram aumentando gradativamente, não tendo este subsistema acompanhado o desenvolvimento tecnológico de outros subsistemas das edificações. Para eles, o agravamento desses problemas deve-se à falta de integração da cadeia produtiva e ao baixo nível de conhecimento sobre o comportamento do revestimento considerando todo o sistema. Além disso, a integração dos setores da construção civil é evidenciada por Taniguti et al. (2005) como fundamental para melhorar o desempenho do setor em qualidade e produtividade.

A busca por melhorias no desempenho do processo e na qualidade do produto tem sido abordada em alguns estudos. Linard et al. (2005) discutem a aplicação de princípios de racionalização para o transporte de argamassa, concluindo que existe grande potencial de melhoria desse processo. Heineck e Tristão (1995) apresentam procedimentos, equipamentos e ferramentas para a produção de revestimentos de argamassa e de juntas de alvenaria que, segundo eles, contribuem de forma econômica e simples para a racionalização da produção, obtendo ganhos de produtividade e qualidade sem grandes mudanças na base tecnológica da empresa. Regattieri e Silva (2003) tratam de ganhos com a utilização de argamassa industrializada, concluindo ser essa uma solução natural para a racionalização desse subsistema.

No entanto, como já apresentado, a produção de revestimentos de argamassa, na prática, ainda detém baixos índices de produtividade, elevados percentuais de perda, alta variabilidade e problemas de qualidade do produto. A falta de uma gestão efetiva do processo produtivo, a baixa racionalização e industrialização e a dependência da habilidade e do conhecimento do operador são características do processo de produção que ainda predominam nas obras.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E JUSTIFICATIVA

Uma das etapas do processo tradicional de produção de revestimentos de argamassa que ainda permanece muito dependente da mão-de-obra é a etapa de aplicação<sup>1</sup> de argamassa. Ela é fundamental no processo e, segundo Gonçalves e Bauer (2005), exerce grande influência na resistência de aderência do revestimento ao substrato, que é uma das principais propriedades mecânicas do material. Os mesmos autores afirmam também que os problemas na aplicação da argamassa podem acarretar falhas no mesmo, como descolamentos, comprometendo a estanqueidade e a estética da edificação, além de danos aos usuários e ao patrimônio.

Em relação à permeabilidade à água, Duailibe et al. (2005) consideram que a opção por utilizar projeção mecânica em vez da manual, pela maior energia de lançamento da argamassa, pode gerar maior compacidade e, portanto, menor permeabilidade. Essa propriedade é muito importante na durabilidade do revestimento, os autores afirmam que a penetração de umidade é uma das maiores causas da deterioração da construção.

O uso de projetores mecânicos para a aplicação de argamassa para revestimento pode ser uma forma de aumentar o grau de racionalização do subsistema revestimento e diminuir a dependência da mão-de-obra e, portanto, a variabilidade na produção.

Apesar de ensaios controlados terem identificado potencial de ganho de desempenho mecânico de revestimentos de argamassa produzidos com aplicação mecânica, e apesar desse sistema de produção já ter sido alvo de tentativas de incorporação na construção de edifícios em São Paulo desde a década de 70 (CRESCENCIO et al., 2000), poucas empresas utilizam essa tecnologia. Portanto, é necessário estender o conhecimento através de pesquisas sobre o real impacto e as dificuldades de sua utilização. Sabe-se, por exemplo, que a etapa de aplicação torna-se mais rápida, mas se desconhece em que condições são gerados aumentos na produtividade global do processo. Ou seja, é necessário entender os requisitos do processo de produção.

Assim, há que se conhecer as contribuições e as dificuldades da aplicação mecanizada e as situações em que sua utilização pode ser vantajosa. Para tanto, devem ser abordados aspectos mais gerais do processo e do sistema como um todo, não apenas da etapa de aplicação de argamassa, identificando a influência de outras etapas e processos, da organização do canteiro de obras, da sincronização e do ajuste da capacidade produtiva de cada etapa, isto é, da seqüência de produção. Segundo Crescencio et al. (2000, p. 1067) “ainda existem dificuldades

---

<sup>1</sup> A etapa de aplicação de argamassa é entendida nessa pesquisa como a etapa de lançamento mecânico ou manual do material sobre a base.

para implementação desse sistema, principalmente devido à falta de tecnologia de produção nos canteiros de obra e visão sistêmica do processo”.

As pesquisas já desenvolvidas sobre o assunto pouco abordaram aspectos do sistema de produção, restringindo-se ao desempenho do produto final. Duailibe et al. (2005) estudaram as conseqüências do tipo de aplicação de argamassa para a resistência de aderência e a permeabilidade à água dos revestimentos. Santos (2003) abordou a influência do tempo de mistura e do teor de água na projetabilidade de argamassas industrializadas. O mesmo autor estudou também a influência da granulometria dos agregados na projetabilidade (SANTOS, 2004). Bauer et al. (2005) testaram o método Vane<sup>2</sup> para avaliação de propriedades relacionadas à trabalhabilidade de argamassas industrializadas para projeção. Já Crescencio et al. (2000) abordaram o estágio de utilização dessa tecnologia na cidade de São Paulo.

Portanto, pouco se sabe sobre a eficiência global do processo, sobre sua contribuição para a redução de perdas, de falhas do produto e da variabilidade, bem como para o aumento da produtividade. Esses dados são essenciais para a tomada de decisão nas empresas.

A busca por qualidade e produtividade é fundamental para o sucesso organizacional (ANDRADE, 2003). Para Formoso et al. (1996), a melhoria da qualidade e produtividade dos processos produtivos tem como pontos fundamentais a medição do seu desempenho e a identificação das causas dos problemas apresentados. Shimizu et al. (2001) sugerem que as empresas, antes de definir seu método construtivo, façam um estudo técnico-financeiro das possibilidades existentes no mercado. Portanto, o conhecimento gerado por essa pesquisa deverá ser difundido para outras empresas, que poderão utilizá-lo na sua tomada de decisões.

Diante dos problemas apresentados no processo convencional de produção de revestimentos à base de argamassa e da pequena utilização de projeção mecânica nas empresas apesar do seu potencial em aumentar a qualidade do produto (DUALIBE et al., 2005), surge a necessidade de um estudo amplo do sistema de produção com aplicação mecânica de argamassa. Para isso, é preciso avaliar o impacto da introdução da mecanização da aplicação de argamassa para o processo e para o sistema de produção, verificando as dificuldades e melhorias decorrentes do uso de tal tecnologia em relação ao sistema tradicional de produção.

Portanto, essa pesquisa pretende comparar sistemas de produção de revestimentos de fachada com uso de aplicação mecânica e manual de argamassa através de estudos de caso em empresas que utilizem esses sistemas.

---

<sup>2</sup> Método preconizado pela norma ASTM D4648-00, apresenta-se como um método simples e eficiente para determinar a resistência ao cisalhamento de fluidos não-newtonianos. Tem sido usado para avaliar outros parâmetros, como a viscosidade plástica e a resistência ao cisalhamento (BAUER et al., 2005).

Esse estudo foi apoiado pela Comunidade da Construção<sup>3</sup>, a qual tem como propósito promover o desenvolvimento de sistemas de produção de revestimentos à base de argamassa através de pesquisas que integrem vários elos da cadeia de produção.

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

A partir do problema de pesquisa, foi proposta a seguinte questão de pesquisa:

- por que os sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica de argamassa não alcançam um desempenho claramente superior ao do sistema com aplicação manual?

Outras questões específicas deverão ser respondidas ao longo do estudo:

- quais as dificuldades e os benefícios da utilização de sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa para o desempenho da produção?
- quais os aspectos relevantes a serem observados na implantação de sistemas com aplicação mecânica de argamassa para a produção de revestimentos de fachada?
- como avaliar os sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa?
- quais as principais oportunidades de melhoria dos sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa?

### 1.4 MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA

Uma importante motivação para essa pesquisa é o trabalho desenvolvido pela Comunidade da Construção de Porto Alegre - RS. Esse grupo, do qual essa pesquisadora faz parte, identificou a possibilidade de inserir um sistema com aplicação mecânica de argamassa para a produção de revestimento de fachada nas construtoras locais com o objetivo de aumentar o desempenho desse processo de produção e reduzir os problemas de qualidade do produto verificados em estudos realizados anteriormente pelo grupo nessas construtoras.

---

<sup>3</sup> A Comunidade da Construção é um movimento nacional pela integração dos agentes da cadeia produtiva e melhoria contínua dos processos construtivos à base de cimento. O endereço eletrônico da Comunidade da Construção é <http://www.comunidadeconstrução.com.br>

Além disso, a pesquisadora tem interesse no desenvolvimento desse tema por aliar conhecimentos sobre os materiais empregados a conhecimentos de gestão da produção, fornecendo uma visão mais ampla sobre o assunto em estudo.

## 1.5 PROPOSIÇÕES DE PESQUISA

A pesquisa partiu de algumas proposições, as quais conduziram a coleta e a análise de dados:

- um benefício da mecanização da aplicação de argamassa para a produção de revestimentos de fachada é a possibilidade de aumentar a produtividade do sistema em relação ao sistema com aplicação manual por gerar aumento na velocidade da etapa de aplicação de argamassa;
- a mecanização da aplicação de argamassa para revestimento de fachada pode gerar os benefícios de reduzir os índices de perdas de recursos e aumentar a qualidade do produto final em relação ao sistema com aplicação manual por diminuir a dependência em relação à mão-de-obra;
- a mecanização da aplicação de argamassa para revestimento de fachada pode aumentar a confiabilidade da produção em relação ao sistema com aplicação manual por reduzir a variabilidade da mesma;
- uma dificuldade para a implantação de um sistema com aplicação mecânica de argamassa para revestimento de fachada pode estar relacionada ao custo mais elevado que o do sistema com aplicação manual em função do mau aproveitamento da capacidade dos equipamentos;
- poucas empresas utilizam sistemas de produção de revestimento de fachada à base de argamassa devido ao baixo desempenho obtido na sua implantação por falta de análise do seu impacto global e por falta de planejamento da produção e de treinamento da mão-de-obra.

## 1.6 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

Esse estudo tem como objetivo geral comparar os sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa, identificando as dificuldades e os benefícios na sua utilização.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- aperfeiçoar o método de avaliação da produção de revestimento de fachada à base de argamassa proposto por Costa (2005), propondo um método que abranja tanto sistemas com aplicação manual quanto mecânica de argamassa, avaliando o sistema como um todo e obtendo índices de produtividade e perdas, bem como dados referentes aos custos de produção e à qualidade do produto. O método deve ser útil na avaliação da introdução dessas tecnologias de produção e na implantação de melhorias;
- identificar os requisitos necessários à implantação de sistemas de produção com aplicação mecânica de argamassa que possam contribuir com o desempenho do sistema e a qualidade do produto;
- identificar o potencial de melhoria dos sistemas de produção com aplicação mecânica e manual de argamassa na produção de revestimento de fachada.

## 1.7 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O estudo foi realizado em empresas da região metropolitana de Porto Alegre e considerou os materiais e equipamentos utilizados pelas mesmas para a execução de revestimentos de fachadas de edifícios. Portanto, os resultados estão associados ao perfil organizacional e tecnológico de tais construtoras. Assim, apesar de no Brasil existirem dois tipos de equipamentos de projeção mecânica de argamassa para revestimento, esse estudo contemplou apenas o sistema com uso de bombas de argamassa, pois as empresas participantes do estudo empregavam esse equipamento, incentivadas pelo fabricante de argamassa, que fornecia subsídios para o aluguel do mesmo. Além disso, as empresas utilizavam argamassa industrializada tanto para o sistema com aplicação mecânica de argamassa quanto para o sistema com aplicação manual.

É importante ainda ressaltar que, por se tratar de estudos de caso, os dados não podem ser generalizados, porém servem como conhecimento prévio e auxiliam na aplicação do método de avaliação e controle da produção em outras empresas, tanto na introdução de novas tecnologias de produção de revestimentos quanto na implantação de melhorias.

Apesar da importância, não foi avaliada a durabilidade do revestimento, já que para tanto seria necessário um período maior de observação e ensaios, não sendo possível nessa pesquisa porque a etapa de coleta de informações teve duração de oito meses.

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Essa dissertação foi organizada em seis capítulos. O capítulo 1 introduz o tema pesquisado, apresentando o seu contexto, o problema de pesquisa, a motivação da pesquisadora, as questões, as proposições, os objetivos e as limitações do estudo.

A revisão bibliográfica contemplou assuntos relacionados aos sistemas de produção de revestimento à base de argamassa e à gestão da produção. O primeiro foi abordado no capítulo 2, enquanto o segundo é encontrado no capítulo 3. O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, ou seja, a estratégia de pesquisa utilizada e a descrição do método de avaliação da produção proposto. Já o capítulo 5 aborda os resultados da aplicação prática do método nos estudos de caso e as informações obtidas durante as visitas iniciais. Por fim, o capítulo 6 apresenta as considerações finais, ou seja, as conclusões obtidas com a pesquisa e as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 SISTEMAS DE REVESTIMENTOS À BASE DE ARGAMASSA

O presente capítulo tem como objetivo caracterizar os sistemas de revestimento à base de argamassa, apresentar suas principais funções, requisitos e critérios de desempenho. Aqui é focado também o sistema de produção com aplicação mecânica e manual de argamassa.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO

O sistema tradicional de vedação vertical das edificações no Brasil é composto pelo revestimento externo, alvenaria ou estrutura de concreto e revestimento interno. Portanto, o sistema revestimento é parte integrante de um sistema maior, e tem seu comportamento diretamente influenciado pelas características dos demais componentes, devendo ser projetado considerando o sistema como um todo.

Entre os sistemas de revestimento disponíveis no mercado brasileiro, o sistema com uso de argamassa é o mais utilizado, podendo, no entanto, variar sua composição (figura 1). Ele pode ser constituído de mais de uma camada desse material, sendo denominadas de emboço e reboco, ou pode possuir apenas uma camada, chamada de massa única. Nesse estudo foi considerado revestimento à base de argamassa tanto o sistema emboço/reboco como o de massa única, independente do material de acabamento.

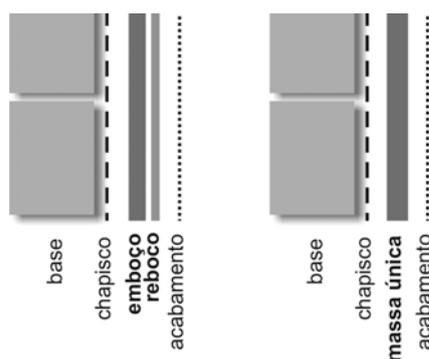


Figura 1: sistema de vedação e revestimento com argamassa

O acabamento final pode ser feito em argamassa ou em outro material. Cincotto et al. (1995) citam como materiais de acabamento as cerâmicas, os têxteis, os laminados, as pinturas, as pedras naturais e os papéis de parede. Porém, para Baía e Sabbatini (2000), os revestimentos do tipo emboço e reboco podem ser combinados apenas com pinturas e texturas.

Além das camadas que compõem o revestimento, pode ser necessária uma camada de preparação do substrato, o chapisco, que tem a função de regularizá-lo. Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998), o chapisco deve ser aplicado quando a superfície da base for parcial ou totalmente não absorvente ou quando não apresentar rugosidade superficial suficiente.

## 2.2 FUNÇÕES, REQUISITOS E CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995), os revestimentos em argamassa no geral são cobrimentos para superfícies que podem ser executados com uma ou mais camadas superpostas e receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) determina que os revestimentos de argamassa devam:

- ser compatíveis com o acabamento decorativo [...];
- ter resistência mecânica decrescente ou uniforme a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou acabamento final;
- ser constituídos por uma ou mais camadas superpostas de argamassa contínuas e uniformes;
- ter propriedade hidrofugante [...];
- ter propriedade impermeabilizante, em caso de revestimento externo de superfícies em contato com o solo;
- resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio, quando externos.

Baía e Sabbatini (2000) afirmam que os revestimentos em argamassa apresentam funções importantes, como proteger e regularizar a superfície das vedações e auxiliá-las no cumprimento das suas funções, além de contribuir com a estética da edificação.

Para tanto, os revestimentos externos à base de argamassa devem atender a alguns requisitos de desempenho. Carneiro e Cincotto (1995) definem como requisitos a estanqueidade à água das fachadas, o conforto térmico e acústico no ambiente construído, a segurança ao fogo do envoltório e a estética da edificação. Segundo Cincotto et al. (1995) o atendimento aos requisitos é o resultado da combinação de diversos fatores ligados às propriedades dos materiais, componentes e sistemas, à ação dos agentes degradantes e dos procedimentos adotados nas várias fases de produção.

Como visto em Carneiro e Cincotto (1995), as definições dos requisitos e dos critérios de desempenho são importantes para a escolha do sistema de revestimento. Para os autores, os critérios são as representações quantitativas dos requisitos e estão relacionados principalmente às propriedades de resistência mecânica, de permeabilidade e de aderência ao substrato. Por se

tratarem das principais propriedades do sistema de revestimento, nesse estudo foram discutidas mais amplamente a permeabilidade e a aderência ao substrato, as quais também foram utilizadas para avaliar a qualidade durante a pesquisa.

### 2.2.1 Permeabilidade

As principais causas da presença de umidade nos elementos das edificações são: a absorção de água da chuva, a umidade ascensional, a umidade de construção, a condensação superficial, a condensação interna, a higroscopicidade<sup>4</sup>, entre outros, como vazamentos em canalizações (CSTC, 1982b).

Uma das funções dos revestimentos externos é contribuir com a estanqueidade à água da fachada. Segundo Dal Molin (1988) e Mehta (1994), a penetração de umidade é uma das maiores causas de deterioração das edificações. Portanto, a durabilidade das mesmas está associada em parte à permeabilidade dos revestimentos.

Em sólidos porosos, como os revestimentos à base de argamassa, a penetração de água pode ocorrer através de fissuras, mas também por poros acessíveis às moléculas de água, ou seja, a entrada de água depende também da permeabilidade do material. Portanto, para que o revestimento possa contribuir com a estanqueidade à água da fachada é necessário que o mesmo, além de não possuir fissuras que permitam a entrada de água, seja impermeável.

A água desempenha um papel importante também nos mecanismos de degradação do próprio revestimento à base de argamassa. Ela é fundamental para que ocorram reações químicas que podem comprometer seu desempenho e, além disso, é um agente de transporte de substâncias que faz com que ocorra o contato entre componentes químicos responsáveis por tais reações (NAPPI, 2002 apud POSSER, 2004).

Um exemplo disso é a entrada de sais dissolvidos em água. A permeabilidade pode também permitir que a umidade entre em contato com os sais presentes no próprio material. Com a variação no teor de umidade, esses sais hidratam e cristalizam, exercendo uma pressão que pode causar danos ao revestimento. (CINCOTTO, 1988)

A penetração de umidade nos revestimentos à base de argamassa pode manifestar-se através de bolor, eflorescências e criptoflorescências, vesículas, fissuras e descolamentos com pulverulência. (Cincotto et al., 1995)

---

<sup>4</sup> Higroscopicidade é a capacidade que um material apresenta de absorver água da atmosfera.

Segundo BSI (1976 apud CARNEIRO e CINCOTTO, 1995), a penetração de água pode gerar perdas de aderência, fissuração e até mesmo sua desintegração. Para Posser (2004), a própria variação do teor de umidade nos materiais porosos gera tensões devido à retração e à expansão que podem causar a fadiga do material.

Portanto, é importante entender o que é a permeabilidade e o que determina essa propriedade. Vasconcelos (1997) define a permeabilidade de um material pelo fluxo de matéria por unidade de tempo. Segundo o mesmo autor, essa propriedade depende das características intrínsecas do material, mas também de condições externas, como, por exemplo, a viscosidade do fluido. No entanto, esse estudo considerou como fluido apenas a água, pela mesma ter grande relação com a durabilidade das edificações.

Os mecanismos de penetração de água são a difusão e a convecção de vapor de água, a infiltração de água por pressão externa e por gravidade e o transporte de água por capilaridade, sendo a última a principal (CSTC, 1982b; POLISSENI, 1986; DUAILIBE et al., 2005).

O deslocamento de vapor de água pode ter origem na diferença de concentração de ar seco e vapor de água, causando o fenômeno de difusão, ou ainda pela diferença de densidade da massa fluida devido à diferença de temperatura, dando origem à convecção (CSTC, 1982b). Já a infiltração de água sob pressão é causada por forças externas decorrentes da ação da gravidade, da energia cinética das gotas de chuva e da pressão do vento. No entanto, nesse caso, a entrada de água não depende da permeabilidade do revestimento, mas sim da existência de fissuras no revestimento (POLISSENI, 1986).

No entanto, o deslocamento de água por capilaridade, para o mesmo autor, é consequência da força de aspiração capilar nos poros. Segundo CSTC (1982b), isso acontece devido à atração entre a água e a parede dos capilares, mas também à tensão superficial do líquido.

A permeabilidade de materiais porosos depende da fração volumétrica de poros, da conectividade e do diâmetro médio dos mesmos (VASCONCELOS, 1997). Nos revestimentos à base de argamassa, essa estrutura interna é determinada por algumas características dos materiais constituintes da argamassa, como a granulometria do agregado e a natureza e o teor do aglomerante (CINCOTTO et al., 1995).

A utilização de agregados com predominância de grãos do mesmo tamanho favorece a formação de vazios no material, podendo aumentar a permeabilidade do material (POSSER, 2004). Em relação aos aglomerantes, Carneiro e Cincotto (1995) afirmam que traços ricos

diminuem a capilaridade. Mas, traços ricos em cimento aumentam o módulo de deformação e a retração inicial, podendo gerar fissuras no revestimento.

Silva (2006) observou em sua pesquisa que o aumento da relação cal/cimento em argamassas mistas teve como consequência o aumento do número de vazios. Segundo o autor, isso ocorreu possivelmente pela maior quantidade de água retida nas partículas de cal ainda no estado fresco. Por outro lado, segundo Gallegos (1995), a cal contribui para evitar o aparecimento de fissuras e, portanto, para evitar a infiltração de água.

No entanto, a permeabilidade é também influenciada pela execução do revestimento, ou seja, pela força de aplicação da argamassa e pela espessura do mesmo (CSTB, 1982). A influência da força de aplicação na permeabilidade dos revestimentos à base de argamassa foi comprovada por Duailibe et al. (2005). Os autores verificaram que a maior força da aplicação mecânica de argamassa resultou em 85% de melhoria na permeabilidade à água em relação à aplicação manual.

Baía e Sabbatini (2000) ainda afirmam que a natureza da base e o acabamento final influenciam na permeabilidade do sistema de revestimento. Crescencio e Barros (2005) confirmaram através de ensaios que revestimentos com espessura superior oferecem maior resistência à entrada de água. Ainda no mesmo estudo, os autores observaram que a natureza da base influenciou os resultados, ou seja, dos blocos avaliados, de modo geral, os cerâmicos obtiveram melhor desempenho que os de concreto.

A cura úmida do revestimento também é responsável por melhoria de 85% na permeabilidade do revestimento segundo Pereira et al. (2005). Além disso, Crescencio e Barros (2005, p. 549) verificaram que “revestimentos aplicados sobre substratos que receberam chapisco apresentaram menor índice de absorção [...] devido ao chapisco ser mais uma barreira para penetração de água.”. Esse comportamento foi observado para todos os substratos e argamassas ensaiados.

Para Polisseni (1986), uma maneira prática de se determinar a permeabilidade é pela medição da absorção da água capilar, que pode ser feita pelo “método do cachimbo”. Esse ensaio foi proposto pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction – CSTC (1982b) e é utilizado por muitos pesquisadores brasileiros, como Dias e Carasek (2003), Ioppi et al. (1995), Macedo et al. (2007), Calhau e Tristão (1999). Porém, não existe um procedimento normatizado no Brasil.

Segundo CSTC (1982b), o “método do cachimbo” pode ser realizado tanto em obra quanto em laboratório. Ele consiste na fixação de um tubo de vidro no revestimento pronto com o

objetivo de avaliar a absorção de água por capilaridade. Esse tubo possui uma coluna graduada para a medição do nível de coluna de água após 5, 10 e 15 minutos. A diferença entre as medições de 5 e 15 minutos correspondem a absorção de água praticamente independente da umidade inicial do revestimento (CSTC, 1982b).

Para Crescencio e Barros (2005), esse ensaio, por ser feito em apenas 15 minutos e em uma área de exposição pequena, possibilita conhecer apenas a absorção superficial do revestimento. Dias e Carasek (2003) também testaram o método em seus estudos. O ensaio foi utilizado para determinar a permeabilidade de uma parede revestida com argamassa industrializada, considerando como variáveis a idade do revestimento e o local de ensaio, sobre o bloco cerâmico e sobre as juntas de assentamento. Verificou-se que nos ensaios realizados aos sete, quatorze e vinte e oito dias e dois meses de idade a permeabilidade do revestimento foi decrescente. Para os autores, tal comportamento é decorrência da alteração da porosidade e da microestrutura da argamassa devido à hidratação do cimento e à carbonatação do hidróxido de cálcio. Já aos quatro, seis e oito meses de idades foi constatado um acréscimo na permeabilidade, que os autores afirmam ser decorrente da variação climática. Já a variável local de realização do ensaio, sobre o bloco ou sobre a junta, não foi significativa.

### 2.2.2 Aderência ao substrato

A aderência é uma das principais propriedades dos revestimentos e, segundo Gonçalves e Bauer (2005), a mais relevante para a avaliação do sistema de revestimento. Ela é definida por Cincotto et al. (1995) como a capacidade do sistema de absorver tensões na interface do mesmo com o substrato.

Para alguns autores, a resistência de aderência dos revestimentos de argamassa ao substrato considera tanto a resistência de aderência à tração quanto a de cisalhamento, como também à extensão de contato entre argamassa e a base de aplicação (GONÇALVES, 2004; SANTOS, 2003; CARASEK, 1996). Carasek (1996) e Gallegos (1995) utilizam o termo aderência para determinar a resistência em conjunto com a extensão de contato entre a argamassa e uma base porosa.

Vários são os fatores que influenciam no desenvolvimento da aderência dos revestimentos de argamassa, entre eles, as propriedades da argamassa no estado fresco, as características da base de aplicação e a superfície de contato efetivo entre a base e a argamassa (Duailibe et al.,

2005). Para Sugo et al. (2001) a resistência de aderência e o tipo de falha da mesma são influenciados pelo volume de pasta da argamassa, pelo transporte dos fluidos e do aglomerante da argamassa para a interface com a base e pela densidade e grau de hidratação dos componentes.

Segundo Rosello (1976, apud CARASEK, 1996), a aderência ao substrato que ocorre ainda com a argamassa fresca é chamada por muitos autores de adesão inicial. Tal mecanismo está relacionado à superfície de contato efetiva entre eles e é função da energia de ligação interfacial, a qual depende de características reológicas da pasta aglomerante. Segundo o mesmo autor (ROSELLO, 1976 apud CARASEK, 1996), pastas com baixos valores de tensão superficial favorecem a molhagem do substrato, pois reduzem o ângulo de contato entre as superfícies. Isso ocorre com o aumento do teor de cimento e com a adição de cal. Segundo Carasek (1996), esse efeito é também obtido com a adição de aditivos incorporadores de ar e retentores de água.

Para Gonçalves (2004), a adesão inicial é também influenciada pelas características superficiais do substrato que determinam o tamanho da superfície disponível para o contato entre os materiais, como a rugosidade.

Já a aderência da argamassa endurecida é um fenômeno predominantemente mecânico. Mas que, segundo Gonçalves (2004), é complementado por forças físico-químicas, como as forças elétricas intermoleculares de Van der Waals. Kampf (1963 apud CARASEK, 1996) afirma que essas forças são responsáveis por menos de 10% da resistência de aderência. A aderência da argamassa endurecida ao substrato poroso tem como principais intervenientes as características do substrato, seu teor de umidade e as características da argamassa (CARASEK e DJANIKIAN, 1997).

Uma das propriedades da argamassa que tem influência na resistência de aderência é a consistência. Pereira et al. (1999) afirmam que a consistência da argamassa ainda fresca tem relação íntima com a resistência de aderência da argamassa endurecida, ou seja, até certo ponto, quanto mais fluida, maior a resistência de aderência. Em suas pesquisas, os autores verificaram também que maiores teores de cimento na mistura resultam em maiores resistências de aderência. Gallegos (1995) justifica esse comportamento afirmando que a aderência depende da quantidade, da penetração e do grau de hidratação do aglomerante nos poros.

Além do teor de cimento, Carasek e Djanikian (1997), avaliaram a contribuição de outras características da argamassa fresca, como o teor de ar incorporado, a capacidade de retenção

de água e as resistências à compressão e à tração das argamassas. No entanto, a influência mostrou-se significativa apenas para os parâmetros teor de cimento e resistência à compressão e à tração, ou seja, à medida que o teor de cimento e essas resistências aumentavam, a resistência de aderência aumentava também, sendo o teor de cimento o parâmetro que melhor explicou esse comportamento. Para Carasek (1996), a relação da resistência de aderência com a resistência à compressão e à tração já era esperada, pois o teor de cimento está intimamente relacionado a elas. Já quanto ao teor de ar incorporado, o autor acredita que esse parâmetro pode interferir na extensão de aderência devido à presença de bolhas de ar na interface da argamassa com o substrato.

Porém, diferentemente de outros autores, Pereira et al. (1999) não observaram relação entre a resistência de aderência e a resistência à compressão em seus estudos. Consequentemente, esses autores também não obtiveram resultados de aderência inversamente proporcionais à relação água/cimento. Carasek (1996) justifica esse comportamento pela tendência de crescimento da resistência de aderência com o aumento da fluidez da argamassa até um ponto ótimo. Segundo Sugo et al. (2001), quando o volume de água absorvido pelo substrato é pequeno, o desenvolvimento da aderência pode ser comprometido, pois existem poucos aglomerantes hidratados no interior dos poros. Além disso, os autores afirmam que é pouco provável que o transporte de aglomerantes da argamassa até a interface com o substrato ocorra se a pasta da argamassa não estiver saturada.

Carasek (1996) adverte ainda sobre os benefícios de outro aglomerante, a cal. Segundo esse autor, a cal aumenta a plasticidade e a retenção de água da mistura, podendo, portanto, contribuir para a extensão e a durabilidade da aderência. Sugo et al. (2001) também ressaltam a importância da cal, já que argamassas com pequena retenção de água combinadas com substratos de grande absorção podem causar problemas de resistência no revestimento na camada adjacente à interface com a base, ocasionada pela alta capacidade de transporte de umidade e materiais aglomerantes. Além disso, eles ressaltam que a carbonatação lenta da cal gera a densificação da interface base/argamassa, podendo preencher os vazios causados por fissuras.

Outro componente que tem a função de contribuir com a durabilidade da aderência é a areia, pois esse material faz parte do volume de massa indeformável da argamassa (CARASEK, 1996). Até certo ponto, quanto maior o módulo de finura da areia, maior a resistência de aderência. Porém, areias grossas podem prejudicar a extensão de aderência por reduzirem a trabalhabilidade da argamassa (KAMPF, 1963; LAMANA et al., 1970; RENSBURG et al., 1978; LAWRENCE e CAO, 1987 apud CARASEK, 1996). Carasek (1996) explica a relação

do módulo de finura da areia e a aderência através da teoria dos poros ativos de Detriché et al. (1985). Segundo essa teoria, a água movimentada-se da argamassa para o substrato enquanto os raios médios dos capilares da argamassa forem superiores aos do substrato. Essa sucção gera a diminuição do raio médio dos capilares de argamassa. O fluxo de água nesse sentido cessa no momento em que os raios médios dos dois materiais tornam-se iguais, e inverte-se quando os raios médios da argamassa forem menores que os do substrato. Segundo essa teoria, somente serão ativos os capilares do substrato que tiverem raio médio menor que os capilares da argamassa. Portanto, areia muito fina, por resultar em argamassas com raios médios capilares menores, desativa determinados poros do substrato.

Mas Sugo et al. (2001) explica ainda que o fluxo inverso de umidade, ou seja, do substrato para a argamassa deve-se à formação de silicato de cálcio hidratado a partir da hidratação do cimento, a qual aumenta o potencial de sucção da argamassa em relação ao substrato devido à maior área superficial e a sua natureza higroscópica.

É interessante destacar também a importância das características do substrato, como porosidade, capacidade de sucção de água e textura superficial no desenvolvimento dessa propriedade (CARASEK, 1996).

A aderência da argamassa endurecida ao substrato poroso depende da interação hídrica entre eles, a argamassa fresca penetra nos poros por sucção capilar e na rugosidade do substrato, onde os géis de silicato do cimento e/ou o hidróxido de cálcio da cal precipitam (ROSELLO, 1976 apud CARASEK, 1996; GALLEGOS, 1995). Portanto, a aderência do revestimento depende do tamanho e da quantidade de poros, mas também da textura do substrato.

Para Carasek (1996) as principais propriedades do substrato em relação à aderência são a porosidade e a capacidade de sucção de água, as quais têm relação íntima entre si, já que quanto maior o volume dos poros, maior a taxa inicial de sucção de água. Segundo o autor, alguns estudos não encontraram um comportamento bem definido entre a sucção inicial de água dos substratos (IRA) e a resistência de aderência, enquanto isso, outros estudos apontam a existência de taxas ideais de IRA para valores ótimos de resistência de aderência.

No entanto, Sugo et al. (2001) não encontraram dependência entre o IRA dos substratos e a quantidade de umidade absorvida da argamassa pela base. Portanto, o autor supõe que o índice de água absorvida no ensaio para determinação do IRA não representa o potencial de retirada de umidade da argamassa pelo substrato. Segundo eles, isso pode ser explicado pela teoria dos poros ativos, pois somente serão ativos os capilares do substrato que tiverem raio médio menor que os capilares da argamassa. Por outro lado, Candia e Franco (1998) afirmam

que os valores de IRA nem sempre tem relação direta com os valores de absorção total de água. Os mesmos autores observaram em seus ensaios que os blocos de concreto avaliados apresentavam IRA superior ao dos blocos cerâmicos, no entanto, a absorção total dos primeiros era inferior à dos últimos. Foi percebido também que o índice de absorção total dos blocos tinha influência notória na perda de água da argamassa por absorção do substrato, portanto, os blocos cerâmicos absorviam maior quantidade de água da argamassa que os de concreto.

Relacionando esse comportamento à aderência, Carasek (1996) considera que a velocidade de sucção é mais importante que o volume total de água absorvida. Isso ocorre porque em substratos de baixa absorção capilar a penetração de pasta aglomerante é reduzida, enquanto nos de alta absorção pode faltar água para hidratação dos aglomerantes e a trabalhabilidade da argamassa ser reduzida (CARASEK, 1996).

Carasek e Djanikian (1997) estudaram a relação da resistência de aderência com a taxa inicial de sucção de água, com o coeficiente de absorção de água e com a área específica e o diâmetro médio dos poros, verificando que nenhum desses parâmetros nesse estudo descreveu bem e de forma generalizada sua influência. Carasek e Djanikian (1997) concluíram, então, que é importante considerar as interações substrato/argamassa e substrato/umidade, corroborando as idéias da teoria dos poros ativos. Ou seja, esses elementos não podem ser considerados de forma independente, pois os efeitos da combinação entre eles são relevantes para o desenvolvimento da aderência (CARASEK e DJANIKIAN, 1997).

Outro exemplo da importância da interação entre os componentes do sistema vedação para a resistência de aderência ocorre em relação ao teor de umidade do substrato. Pereira et al. (1999), não identificaram contribuição do pré-umedecimento do substrato à resistência de aderência. Carasek e Djanikian (1997) observaram que em geral o aumento da umidade significou reduções na resistência de aderência, já que influenciava na sua capacidade de sucção de água. Porém, esse comportamento variou em função do tipo de substrato. Esse comportamento também foi percebido por Scartezini e Carasek (2003), os quais conseguiram melhorias de aderência com o pré-umedecimento de blocos de concreto, mas não com blocos cerâmicos. Por outro lado, Carasek e Djanikian (1997) afirmam que os resultados de resistência de aderência em função do teor de umidade do substrato não variaram significativamente para diferentes argamassas. Ou seja, “para todas as argamassas, quando o tipo de substrato não é levado em consideração, as maiores resistências de aderência médias são obtidas com os substratos secos.” (CARASEK e DJANIKIAN, 1997, p.16)

Segundo Carasek (1996), muitos autores já estudaram os efeitos do pré-umedecimento do substrato na resistência de aderência, concluindo que esse procedimento depende da taxa de sucção de água do material e que, portanto, existe um teor de umidade inicial ideal que resulta em melhores resultados de aderência (HAN e KISHITANI, 1984; LAMANA et al., 1970; RENSBURG et al., 1978 apud CARASEK, 1996).

Outra característica do substrato que pode influenciar na resistência de aderência é a rugosidade superficial do material. Ao isolar o parâmetro rugosidade, Ribar e Dubovoy (1988, apud CARASEK, 1996) concluíram que superfícies mais rugosas possuíam maior área superficial e, portanto, proporcionavam maior resistência de aderência. No entanto, Carasek (1996) observou que muitas vezes as ondulações da face dos blocos cerâmicos prejudicaram a extensão de aderência, pois as argamassas com menor trabalhabilidade não conseguem penetrar nas reentrâncias. Porém, os resultados melhoravam quando os substratos eram molhados antes da aplicação da argamassa.

Observando o exposto acima, pode-se afirmar que, ao especificar o sistema de vedação da edificação e a técnica construtiva, o projetista deve considerar a interação entre seus elementos, pois o desempenho do todo depende da boa relação entre suas partes.

No entanto, existe ainda outra dificuldade na especificação, a variabilidade dos materiais. Para Candia (1998) e Carasek (1996), os substratos possuem grande variabilidade, inclusive no mesmo lote de produção. Para o último autor, a taxa inicial de sucção de água em substrato pode, por exemplo, apresentar variações de 10 a 50%.

Uma estratégia utilizada pelas empresas para uniformizar as características da base de aplicação do revestimento e melhorar a aderência é a execução de chapisco. Scartezini e Carasek (2003) observaram em suas pesquisas melhorias de aderência com a aplicação de chapisco tradicional<sup>5</sup> em substratos de blocos cerâmicos, mas o mesmo não foi obtido em substratos de bloco de concreto. Segundo os autores, isso ocorreu porque o chapisco propiciou maior rugosidade superficial aos blocos cerâmicos. No entanto, como os blocos de concreto já possuíam uma textura mais áspera, o chapisco provocou perda de rugosidade por gerar uniformização da superfície do bloco. Já para Kasmiercsak et al. (2007), o chapisco altera a distribuição de poros da argamassa endurecida. Em seu estudo, o chapisco proporcionou o aumento da resistência de aderência à tração tanto em substratos de blocos cerâmicos como em blocos de concreto.

---

<sup>5</sup> Chapisco tradicional é a aplicação manual de argamassa feita em obra na proporção 1:3 em volume.

Cândia e Franco (1998) afirmam que para as argamassas de revestimento testadas em seu estudo, o uso de chapisco comum e rolado provocou alterações no IRA e na rugosidade superficial de alguns tipos de substrato, alterando a resistência de aderência dos revestimentos à base. No entanto, os autores concluíram que o IRA tem maior influência na resistência de aderência que a rugosidade superficial.

Scartezini e Carasek (2003) verificaram que o uso da solução de cal para preparação do substrato apresentou-se como tratamento melhor que o chapisco comum por proporcionar a maior média de resistência de aderência das argamassas testadas tanto para blocos de concreto como para blocos cerâmicos.

Além das propriedades dos materiais que compõe o sistema, alguns fatores relacionados à técnica e à produção do revestimento também influenciam na aderência. Pereira et al. (1999), por exemplo, afirmam que o processo de cura úmida dos revestimento gera grandes aumentos da resistência de aderência, o que, para Candia e Franco (1998) deve-se entre outras coisas, à melhor hidratação dos aglomerantes hidráulicos. Já Gonçalves (2004) ressalta o cuidado durante a aplicação de argamassa, já que podem ficar aprisionadas bolhas de ar na interface argamassa/substrato, reduzindo a área de contato entre eles.

Segundo Cincotto (1995, p. 17) “existem características e propriedades diretamente influenciadas pelas condições de produção, de exposição e/ou da ação dos usuários”. Essa idéia é corroborada por Gonçalves e Bauer (2005), que afirmam que a resistência de aderência à tração depende das características da argamassa e do substrato e das trocas de umidade, mas também do processo de execução.

Assim, diferentes métodos de produção podem influenciar na aderência. A força de lançamento da argamassa contra o substrato determina maior ou menor extensão de aderência e compacidade da argamassa. Duailibe et al. (2005) verificaram um incremento de 55% na resistência de aderência de revestimentos aplicados com projeção mecânica de argamassa em relação à aplicação manual.

Segundo Gonçalves e Bauer (2005), o fator humano é uma das causas da alta variabilidade no processo convencional de produção. Gonçalves (2004) constatou que, ao aplicar manualmente argamassa para revestimento, o operário não consegue lançar argamassa nas partes inferiores e superiores do pano de aplicação com a mesma força que na altura próxima de seu tórax.

A variabilidade na execução do revestimento e na produção de argamassa pode gerar diferentes resistências de aderência. Portanto, a definição de procedimentos de produção e o controle do processo são importantes. A recomendação de esperar o “tempo de puxar” para a

execução do sarrafeamento e desempenho é um exemplo. Para Gonçalves (2004) essas operações exigem que a argamassa tenha perdido certa quantidade de água por evaporação e por sucção da base. Segundo o autor, a adesão inicial que ocorre nessa etapa determinará o desempenho futuro da aderência do sistema de revestimento. Baia e Sabbatini (2000) comentam que o sarrafeamento e desempenho com a argamassa ainda muito úmida pode gerar fissuras e até mesmo o seu descolamento.

Para a medição da resistência de aderência à tração, dois procedimentos de ensaio são normatizados no Brasil. Um com o objetivo de avaliar o sistema de revestimento, NBR 13528 (ABNT, 1995), e o outro com o objetivo de avaliar a argamassa para revestimento, NBR 15258 (ABNT, 2005).

Como padrão de qualidade, a NBR 13749 (ABNT, 1996) determina como limite mínimo de resistência de aderência à tração de revestimentos à base de argamassa com camada única os valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1: limites de resistência de aderência à tração

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

(fonte: ABNT, 1996, p. 3)

A variabilidade dos resultados desses ensaios dificulta a análise dos dados. A forma de ruptura dos corpos-de-prova costuma ser variada, ou seja, os resultados não remetem apenas a aderência da interface argamassa/substrato. A dispersão dos valores de resistência de aderência também se deve a variabilidade dos materiais que compõem o sistema e do processo de execução. Aliado a isso, Scartezini e Carasek (2003) afirmam que a resistência de aderência dos corpos-de-prova localizados sobre as juntas de assentamentos do substrato tendem a ser mais elevadas que sobre os blocos.

## 2.3 SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Os sistemas de produção de revestimento à base de argamassa podem ser divididos conforme o processo de produção de argamassa e conforme o processo de produção do revestimento. Os processos de produção de argamassa disponíveis no mercado brasileiro utilizam argamassa

preparada em obra, argamassa industrializada em saco, com argamassa preparada em central e com argamassa industrializada em silo.

Os processos de produção de revestimento à base de argamassa podem empregar aplicação mecânica ou manual de argamassa. O processo convencional utiliza-se da aplicação manual, já os processos mecanizados empregam bombas e pistolas de projeção de argamassa. Tanto os sistemas com aplicação manual quanto os sistemas com aplicação mecânica de argamassa admitem a utilização de argamassa preparada em obra, de argamassa industrializada em saco, de argamassa preparada em central e de argamassa industrializada em silo. Porém cada 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, do sítio e da obra.

Nesse capítulo foram discutidos os sistemas de produção com aplicação manual e argamassa preparada em obra, com aplicação manual e argamassa industrializada em sacos e com aplicação mecanizada e argamassa industrializada em sacos. O primeiro por ser o sistema tradicional de produção no Brasil e ter sido abordado por Costa (2005) em seu estudo, gerando dados que foram utilizados nessa pesquisa. O segundo e o terceiro por serem os sistemas utilizados pela empresa participante desse estudo.

### 2.3.1 Sistemas de produção com aplicação manual e argamassa preparada em obra e argamassa industrializada em sacos

Nesse item foram discutidos apenas os sistemas com processo de produção de revestimento por aplicação manual da argamassa e processo de produção de argamassa preparada em obra e de argamassa industrializada em sacos. O primeiro é um sistema tradicional de produção de revestimento à base de argamassa no Brasil e caracteriza-se por possuir grande parte de suas operações manuais. No entanto, muitas empresas têm optado pelo segundo sistema, ou seja, com aplicação manual, mas com uso de argamassa industrializada em sacos. Em ambos os casos a base de aplicação do revestimento, quando liberada à produção, pode passar por uma etapa de tratamento, limpeza e uniformização da superfície para após ser executada a aplicação de argamassa. Quando executado chapisco, a NBR 7200 (ABNT, 1998) recomenda tempo de cura de dois a três dias, ou conforme a indicação do fabricante da argamassa.

O revestimento pode ser feito em duas camadas, chamadas de emboço e reboco, ou em apenas uma, chamada de camada única. O reboco e a camada única podem constituir-se em

acabamento final ou ainda pode ser executado outro tipo de acabamento em etapa a ser realizada após o período adequado de cura.

A aplicação de argamassa para revestimento é precedida da execução de guias, como taliscas e mestras, para controle da espessura, nível, prumo e planicidade do mesmo. Após isso é aplicada a argamassa de revestimento com colher de pedreiro. Essa camada deve ser sarrafeada após o “tempo de puxar”<sup>6</sup>. Para revestimentos de camada única, executa-se então o desempenamento. Já para revestimentos do tipo emboço e reboco a NBR7200 (ABNT, 1998) recomenda pelo menos 7 dias de cura do emboço para a aplicação da camada de reboco. Normalmente essas atividades são realizadas de forma seqüencial e pela mesma equipe de produção.

Na execução de revestimento em fachada de edificações em altura, os equipamentos de movimentação vertical mais utilizados são os andaimes suspensos mecânicos. A dificuldade de uso desses equipamentos limita o número de subidas e descidas na execução do revestimento, influenciando no seu projeto e planejamento.

A produção de argamassa *in loco* ou a preparação da argamassa industrializada em sacos é normalmente executada por outra equipe, sendo o material transportado pronto até o local de uso através de gericas e em elevadores de obra. Para a mistura da argamassa industrializada em sacos é comum o uso de argamassadeiras. Já na produção de argamassa em obra, normalmente utilizam-se betoneiras, no entanto, tais equipamentos não são os mais adequados para essa operação. Segundo Shimizu et al. (2001) o mecanismo de mistura da betoneira é por queda, como a argamassa não possui agregado graúdo, a mistura dos componentes não ocorre com eficiência.

A produção de argamassa em obra com o uso de cal pode ainda ser precedida do preparo de argamassa intermediária *in loco* através da mistura de areia, cal e água. Esse material deve ficar em repouso para o término da maturação da cal e só posteriormente é misturada ao cimento. A argamassa intermediária pode ainda ser adquirida pronta para ser misturada à água e ao cimento.

As figuras 2 e 3 mostram um exemplo de diagrama de processos de produção de revestimento com argamassa feita em obra e com argamassa industrializada em sacos, respectivamente. Observando as diferenças entre o processo de produção com uso de argamassa feita em obra e argamassa industrializada em sacos, a opção pela primeira exige

---

<sup>6</sup> Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998) é o período necessário para que a argamassa adquira a consistência adequada. Para Gonçalves (2004) as operações de sarrafeamento e desempeno exigem que a argamassa tenha perdido certa quantidade de água por evaporação e por sucção da base.

um planejamento maior dessa etapa de produção do que com a utilização da segunda. Isso ocorre porque o método de produção de argamassa em obra gera um processo mais complexo (figura 2), pois possui maior número de atividades e exige maior controle para garantia da qualidade do produto.

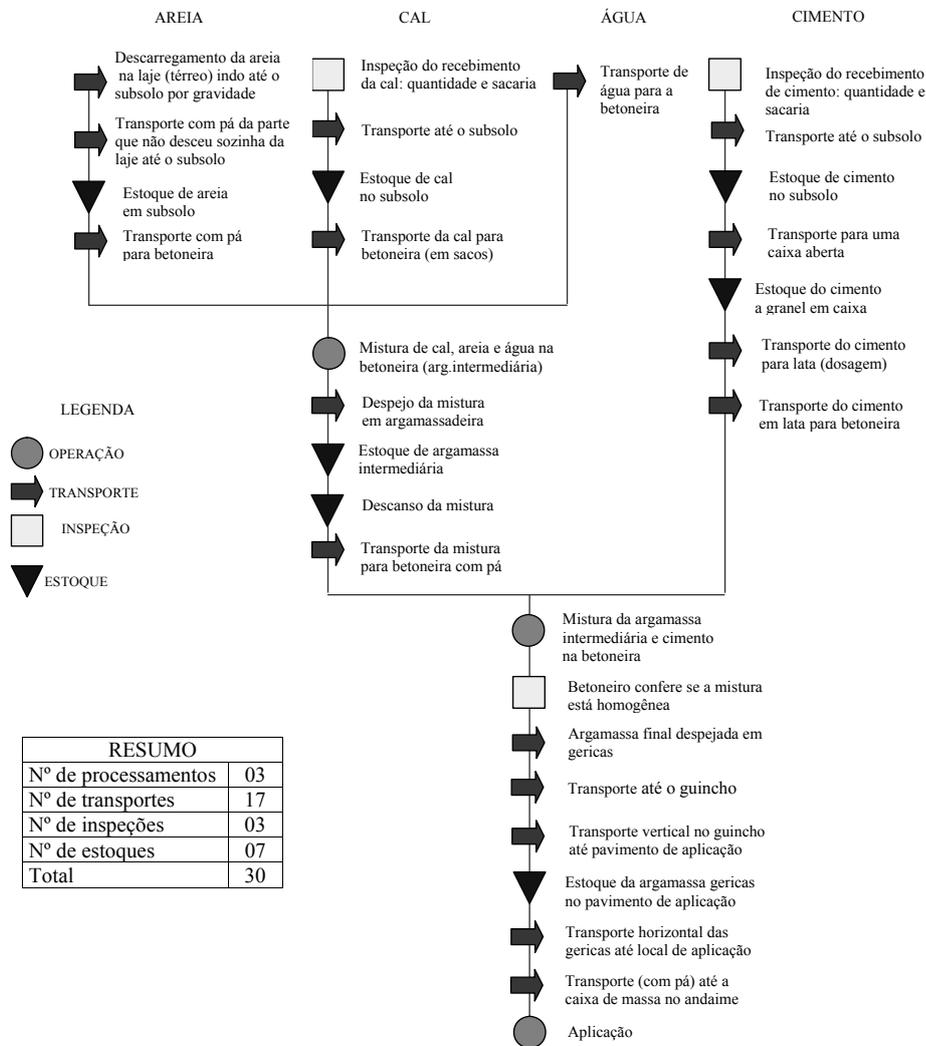


Figura 2: exemplo de processo de produção com argamassa feita em obra (COSTA, 2005)

Nesse diagrama cada símbolo corresponde a uma atividade do fluxo, desde o estoque de matéria-prima até a aplicação da argamassa fresca sobre a alvenaria. Observa-se que enquanto o processo de produção com argamassa feita em obra possui 30 atividades, o processo com argamassa industrializada tem apenas 12. Essa diferença entre os dois métodos é comum em obra, visto que a argamassa industrializada vem com os componentes já inspecionados, dosados e misturados. Além disso, 27 das 30 atividades do processo de produção com argamassa feita em obra são atividades que apesar de consumir recursos, não agregam valor

ao produto final, enquanto que no processo de produção com argamassa industrializada em sacos são apenas 10 atividades.

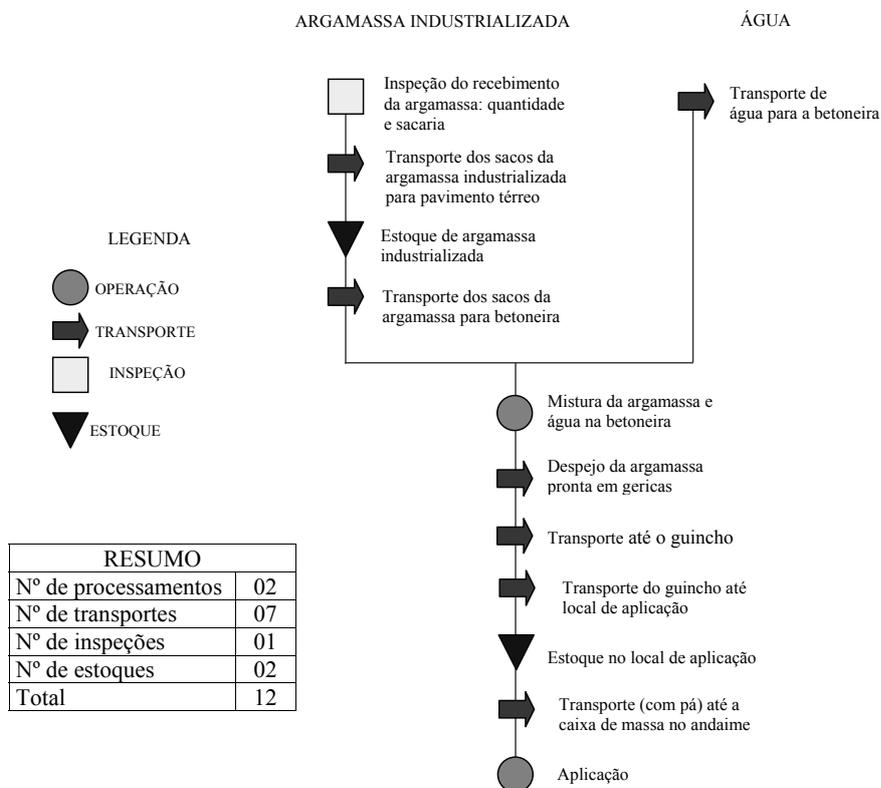


Figura 3: exemplo de processo de produção com argamassa industrializada (COSTA, 2005)

Uma pesquisa comparativa entre os dois processos de produção demonstrou que o uso de argamassa industrializada contribui para a racionalização desse subsistema. Existe um potencial de redução da demanda de mão-de-obra, do prazo de execução e da interferência com outros serviços e de minimização das perdas que geram ganhos em eficiência (REGATTIERI e SILVA, 2003).

Silva e Nakakura (2001) obtiveram bons resultados na avaliação do processo de produção com argamassa industrializada, verificando produtividades médias 11,6% superiores aos do processo com argamassa feita em obra. Em relação ao custo, apesar da matéria-prima da segunda ser mais barata que a primeira, a redução da demanda de mão-de-obra proporcionada pela argamassa industrializada favorece seu uso. Outros benefícios foram percebidos, como a facilidade para controle de custos e redução de perdas e de espaço para armazenamento.

Apesar da grande utilização de revestimentos com aplicação manual de argamassa no país, sua produção ainda apresenta baixos índices de produtividade, elevados percentuais de perda,

alta variabilidade e problemas de qualidade. Muitas empresas construtoras ainda não investem no projeto, planejamento e controle dessa etapa de produção, comprometendo seu desempenho e a qualidade do produto final.

O baixo desenvolvimento tecnológico do subsistema revestimento em relação a outros subsistemas, conforme relatado por Ceotto et al. (2005), tem como exemplo a incompatibilidade entre as estruturas de concreto e os revestimentos de argamassa, gerando descolamento do revestimento pela dificuldade de aderência a concretos pouco porosos, e fissuração pelas deformações impostas pelas estruturas com grandes vãos.

Costa (2005) verificou em seu estudo em oito empresas de Porto Alegre que ainda existem muitos problemas de recebimento, movimentação e estocagem de materiais, especialmente por falta de procedimentos de controle. O mesmo autor constatou que em quatro das seis empresas que produziam argamassa em obra havia grandes variações nas quantidades de material utilizado para a confecção de argamassa. Tal variabilidade pode ser uma das responsáveis pelas falhas observadas no revestimento pronto. A autora atribuiu esses problemas à falta de controle no sistema produtivo, já que, apesar de existir um traço definido pela empresa, na prática ele não era seguido.

Outra dificuldade comum é o respeito ao tempo máximo de utilização da argamassa fresca. O processo convencional de produção introduz um ou mais estoques da argamassa pronta para o uso com o objetivo de garantir o fornecimento das equipes de produção. Porém, muitas vezes, esses estoques não são controlados, gerando situações em que a argamassa passa do tempo máximo de uso. Tal material deveria ser descartado, no entanto, é comum o operário adicionar água e reutilizá-lo, podendo comprometer a qualidade do produto. Além disso, podem ocorrer também perdas por superprodução de argamassa quando as equipes não conseguem produzir revestimento suficiente para utilizar todo o estoque do material até o fim do expediente.

A aplicação manual de argamassa para a produção de revestimento pode ser outra origem de problemas. Uma das conseqüências já comprovadas é a variabilidade da qualidade do produto em função da variação da força de aplicação. Gonçalves (2004) afirma que existe diferença significativa na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa executados por pedreiros de uma mesma obra. Essa variabilidade pode ocorrer até mesmo em revestimentos feitos pelo mesmo operário.

Como já dito, Gonçalves (2004) constatou em seu estudo que a ergonomia influencia na aplicação de argamassa. Nas partes inferiores e superiores de um pano, o operário não consegue lançar com a mesma força que na altura próxima de seu tórax, tendo como

consequência a variabilidade na resistência de aderência dos revestimentos. Além de influenciar na qualidade e segurança do trabalho, segundo Santos (1995b) a ergonomia tem reflexos na produtividade, na rotatividade da mão-de-obra, nos índices de doenças e de acidentes e na capacidade de esforço do trabalhador.

Além disso, as argamassas utilizadas para revestimento necessitam de um tempo de espera antes que seja iniciada a fase de sarrafeamento, o que muitas vezes não é respeitado pelos operários com o intuito de aumentar a produtividade. Tal comportamento pode causar fissuras que comprometem tanto a durabilidade quanto a estética do revestimento.

Os balancins mecânicos leves ou pesados são os equipamentos mais comuns para atender às movimentações verticais do sistema convencional de produção de revestimentos de fachada de edifícios em altura. Segundo Saurin et al. (2005), esses equipamentos demandam esforço físico excessivo dos trabalhadores, causando doenças ocupacionais. No entanto, os balancins elétricos são ainda pouco utilizados, principalmente em função do seu custo de aquisição ou aluguel em relação aos mecânicos.

Os índices de perdas de argamassa levantados por Costa (2005) demonstraram uma variação de 66 a 99%, incluindo nesses valores as perdas resultantes de espessura excessiva, transporte, aplicação, manuseio de argamassa e reguamento. Tal magnitude surpreendeu os engenheiros e diretores das empresas participantes do estudo, já que os mesmos não faziam esse tipo de controle. Uma parcela das perdas está relacionada ao meio mais comum de transporte de argamassa, as gericas. Essa ferramenta gera perda de material ao longo do trajeto, principalmente se o canteiro de obra não possuir melhorias como rampas para transpor desníveis e piso consolidado.

Além disso, são comuns nesse tipo de sistema de produção vários estoques do material fresco e, portanto, muitas transferências de argamassa entre gericas e masseiras. Além de o material ser perdido durante essas transferências, como já dito, normalmente não é feito controle de consumo do mesmo e, portanto, não é respeitado o seu tempo máximo de uso. Portanto, apesar dos estoques serem uma forma de garantir que não falte argamassa ao pedreiro, podem favorecer a produção excessiva do material, fazendo com que a argamassa seja utilizada após o tempo máximo indicado.

Segundo Ceotto et al. (2005), os problemas apresentados devem-se, entre outras coisas, à falta de integração da cadeia produtiva e o baixo nível de conhecimento sobre o comportamento dos revestimentos. Isso ocorre, segundo eles, tanto no meio acadêmico quanto nas construtoras. Para o autor, o mesmo ocorre em outros elos da cadeia produtiva, nos quais os

fabricantes de argamassas não produzem sistemas de revestimento, têm a “visão do produto estante, da *commodity*.” e os fornecedores de serviço de aplicação estão “pouco preocupados com a necessidade do uso de equipamentos corretos de mistura, transporte e aplicação.” (CEOTTO et al., 2005, p. 9).

Considerando o exposto acima, o esforço de melhoria na produção de revestimentos de argamassa deve levar em consideração o revestimento como um todo, bem como a necessidade de desenvolver mecanismos de planejamento e controle do processo de produção. O conhecimento adquirido deve orientar a tomada de decisões em projetos de revestimentos e projetos do sistema de produção. Paralelo a isso, é de fundamental importância a troca de informações e a integração entre os agentes do setor para que o conhecimento gerado converta-se em ação na busca pela melhoria contínua.

### 2.3.2 Sistemas de produção com aplicação mecânica e argamassa industrializada em sacos

Os equipamentos de projeção mecânica de argamassa têm origem no equipamento de aplicação de gesso inventado no final do século XIX pelo norte-americano Carl Ethan Akeley, curador do Field Museum of Natural Science de Chicago nos Estados Unidos. Em 1911, após o aperfeiçoamento do equipamento, o mesmo foi patenteado por Akley e chamado de “aparelho para misturar e aplicar materiais plásticos ou adesivos”. No entanto, projetava apenas materiais cimentícios com agregados de até 10 mm. Mas, por volta de 1950, Georg Senn criou uma “máquina de projeção com rosca-sem-fim, tipo de rotor/bomba” que tinha capacidade de projetar materiais com agregados de maiores dimensões. (TEICHERT, 2002 apud SANTOS, 2003, p. 3).

Já nos anos 80 na França, o CSTB (1982) apontava o uso de projeção mecânica de argamassa para produção de revestimentos como uma das técnicas de aplicação convencionais, havendo duas possibilidades de equipamentos, o projetor pneumático e a máquina de projeção.

No Brasil, pelos registros disponíveis, as primeiras tentativas de utilização de equipamentos de projeção de argamassa ocorreram por volta da década de 70, no estado de São Paulo. Essas tentativas de implantar um sistema com projeção mecânica de argamassa não obtiveram sucesso na época, pois faltava treinamento da mão-de-obra e adaptações na gestão do canteiro de obras. (CRESCENCIO et al., 2000)

Atualmente, segundo matéria da revista *Téchne*<sup>7</sup>, os principais sistemas de projeção mecânica de argamassa para revestimento no Brasil utilizam dois tipos de equipamento de projeção, o projetor com recipiente acoplado e a bomba de argamassa. Em Curitiba, Salvador e Brasília predomina o primeiro, enquanto em São Paulo, a maioria das empresas utiliza o segundo.

O mais simples desses equipamentos, o projetor com recipiente acoplado (figura 4), é abastecido diretamente no estoque de argamassa fresca, ou seja, o material não é bombeado. O ar comprimido fornecido por um compressor é introduzido diretamente no recipiente do projetor para aplicar o material à base.



Figura 4: projetor com recipiente acoplado – pistola (a) e caneca (b)  
(adaptado de DUALIBE, 2005)

Segundo Fernandes e John (2007), o peso do equipamento já carregado com argamassa é uma desvantagem, pois exige grande esforço físico do operador. Além disso, para os mesmos autores, o pequeno volume do recipiente limita a projeção em função da necessidade de paradas para abastecer o equipamento.

Existem dois sistemas de projeção com recipiente acoplado, a pistola e a caneca de projeção. A primeira possui um recipiente em forma de funil que projeta argamassa por um bico regulável, sua abertura deve ser de duas a três vezes o diâmetro máximo do agregado. Já a caneca é um recipiente com furos por onde a argamassa é projetada quando o operário liga o compressor. Segundo Fernandes e John (2007), os fabricantes desses equipamentos recomendam o uso de até cinco projetores para cada compressor de ar com capacidade de 68 m<sup>3</sup>/h de ar com pressão entre 0,93 e 1,2 N/mm<sup>2</sup>.

Para Fernandes et al. (2007), ao definir o sistema é importante especificar a argamassa a ser utilizada, o projetor e o compressor de forma conjunta, pois a interação entre eles irá

<sup>7</sup> PROJETANDO O FUTURO. **Revista Téchne**. São Paulo: PINI, ano 14, nº 110, mai. 2006. Disponível em: <<http://www.piniweb.com>> Acesso em: 01 jun 2006, 11:41:29.

determinar a energia de lançamento da material, influenciando no índice de perdas de material e na aderência ao substrato.

Como esses equipamentos não bombeiam o material, além do uso de argamassa industrializada, pode ser facilmente utilizada argamassa produzida em obra (CRESCENCIO et al., 2000). Com isso, o uso dos projetores com recipiente acoplado não determina grandes mudanças no sistema produtivo em relação ao sistema convencional<sup>8</sup> de produção. Ou seja, as etapas de produção e de transporte de argamassa podem ser convencionais, apenas a etapa de aplicação de argamassa é mecanizada.

Os compressores de ar dos projetores de argamassa no Brasil podem ser elétricos ou a diesel. Segundo alguns fabricantes, a manutenção desses equipamentos inclui a verificação diária do nível de óleo e também do nível de água quando o motor do compressor for assim refrigerado. Ao fazer paradas no trabalho, é indicado deixar o recipiente do projetor vazio. Já ao término do serviço, deve-se proceder a limpeza com água, desobstruindo os bicos do equipamento.

Já as bombas de argamassa (figura 5a) são equipamentos mais sofisticados e exigem maiores mudanças no sistema de produção (CRESCENCIO et al., 2000). Normalmente são utilizados misturadores de argamassa integrados ou dispostos de forma que a argamassa saia do misturador direto para o recipiente da bomba com o objetivo de atender a grande capacidade de volume de bombeamento do equipamento. A argamassa fresca é bombeada do recipiente da bomba continuamente através de mangotes até a pistola de projeção (figura 5b). A projeção é feita por ar comprimido injetado nessa pistola. Para atender às necessidades desses equipamentos, o canteiro de obras deve dispor de água e energia elétrica.

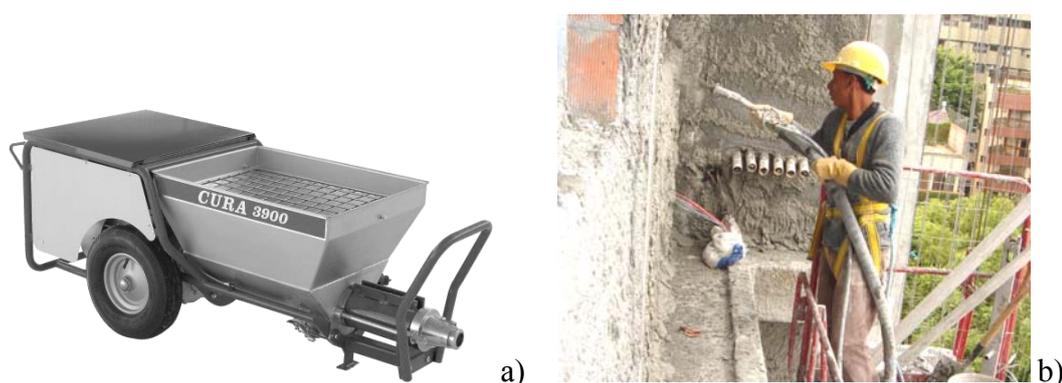


Figura 5: bomba de argamassa (a) e mangote e pistola de projeção (b)

<sup>8</sup> Admite-se nesse estudo que o sistema convencional de produção de revestimentos à base de argamassa abranja a tecnologia de produção corrente na região de Porto Alegre – RS, ou seja, produção de argamassa para revestimento in loco, semi-preparada ou industrializada em sacos e transporte e aplicação manual de argamassa.

O bombeamento é feito por eixo helicoidal (figura 6) ou por pistão (figura 7). A bomba com eixo helicoidal é indicada para pequenas produções, pois tem vazão de no máximo 5 m<sup>3</sup>/h. Sua principal desvantagem é o alto desgaste, principalmente com agregados graúdos. Já a bomba por pistão tem capacidade para projetar até 20 m<sup>3</sup>/h, mas é menos confiável que a com eixo helicoidal devido à presença de válvulas. (GOODIER, 2002)

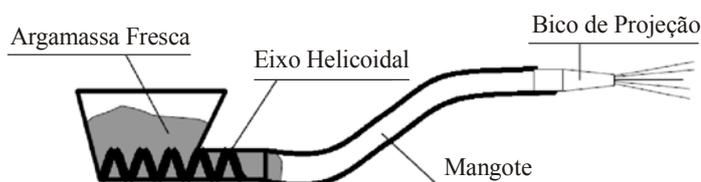


Figura 6: bomba de argamassa com eixo helicoidal (SANTOS, 2003)

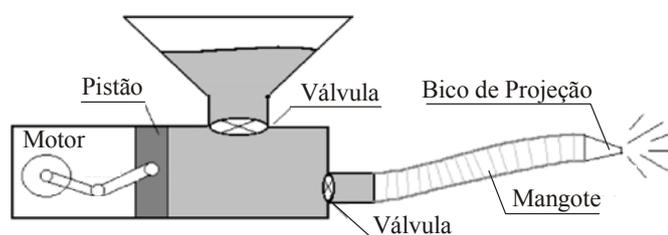


Figura 7: bomba de argamassa com pistão (SANTOS, 2003)

Segundo Crescencio et al. (2000), os sistemas com aplicação mecânica de argamassa, pela maior produtividade na etapa de aplicação do material, é incompatível com os balancins manuais. O uso de andaime fachadeiro é, segundo o autor, uma boa solução, pois permite acesso rápido a várias partes da fachada.

O custo de aquisição ou aluguel das bombas de projeção é significativamente maior que dos projetores com recipiente acoplado, exigindo grande esforço de redução da ociosidade do equipamento para que o sistema seja mais rentável. Pois, segundo Slack et al. (1997), grandes volumes de produção e principalmente a alta utilização dos recursos disponíveis são um meio de diluir os custos fixos. Além disso, segundo Crescencio et al. (2000) existem dificuldades para implementação desse sistema nas empresas brasileiras, pois para que esses sistemas de alta produtividade funcionem adequadamente é preciso suporte de projeto de revestimento, logística de canteiro e mão-de-obra qualificada.

Quanto às opções de acessórios da bomba de argamassa, existem vários modelos de pistola, de bico ejetor e de mangote. São encontrados no mercado pistolas com 25 e 35 mm de diâmetro, retas ou angulares, curtas ou longas. As pistolas angulares e longas são recomendadas para revestimentos de teto, enquanto as retas e curtas para parede. Os bicos

ejetores possuem várias opções de diâmetro, de 10 a 20 mm e os mangotes podem ser de 25, 35 ou 50 mm de diâmetro e com comprimentos de 10 a 50 m. O comprimento do mangote tem relação com a probabilidade de entupimentos, quanto mais comprido, maior a possibilidade. O diâmetro do bico depende do tamanho máximo do agregado, recomenda-se utilizar bico com diâmetro três vezes maior que esse. No entanto, bicos menores apresentam maiores velocidades de projeção e maior energia de aplicação, podendo gerar maior aderência. (CRESCENCIO et al., 2000)

Segundo os mesmos autores, tanto nas bombas quanto nos projetores com recipiente acoplado, a pressão do ar deve ser regulada com a ajuda de manômetros instalados junto ao equipamento. Pressões baixas podem reduzir a energia de lançamento e, com isso, a aderência da argamassa à parede. Já pressões muito altas podem separar o agregado da pasta aglomerante, como também causar maior reflexão de argamassa da base podendo gerar problemas de aderência.

As bombas de argamassa exigem ainda outros cuidados especiais. Segundo alguns fabricantes de equipamento, ao iniciar o uso, o mangote da bomba de projeção deve ser lubrificado com pasta de cimento ou cal. O procedimento é realizado através da inserção da pasta no recipiente do equipamento e bombeado até que seu excesso seja eliminado. Após isso, pode ser feito um bombeamento em circuito fechado do material a ser projetado para regulagem da pressão de ar. Já ao término dos serviços, o equipamento deve ser limpo com água, a qual deve ser inserida no recipiente e bombeada através do mangote, até que todos os resíduos sejam removidos. Existe ainda no mercado uma bolinha de espuma utilizada para a limpeza da parede interna do mangote, o que é feito através do seu bombeamento.

Além da lubrificação e limpeza dos equipamentos, outros cuidados são necessários para evitar entupimentos:

- os materiais a serem bombeados devem ser apropriados para isso;
- os mangotes precisam ser estendidos no caminho mais curto e direto entre a bomba e o local de aplicação, evitando dobras;
- os acoplamentos do mangote não devem possuir vazamentos;
- as paradas durante a produção devem ser evitadas ou breves, pois o equipamento não deve permanecer por longos períodos sob pressão. Em paradas maiores que 10 ou 15 minutos, alguns fabricantes de equipamentos recomendam bombear em retorno ou circuito fechado.

Para melhor conservação da bomba de argamassa e do misturador, os fabricantes recomendam executar alguns procedimentos de manutenção, como a lubrificação e o acompanhamento do nível de óleo.

A seqüência de produção de revestimento com projeção mecânica de argamassa desde a preparação da base até o acabamento final não muda muito em relação ao sistema convencional. A base de aplicação do revestimento, quando liberada à produção, pode passar por uma etapa de tratamento, limpeza e uniformização da superfície. Alguns fabricantes de argamassa aconselham umedecer e secar a base para resfriá-la quando as condições climáticas exigirem, ou seja, sob insolação forte e altas temperaturas. Se utilizado chapisco, a NBR 7200 (ABNT, 1998) recomenda tempo de cura de dois a três dias, ou conforme a indicação do fabricante da argamassa de chapisco, para após ser executada a aplicação de revestimento. A aplicação de chapisco pode ser manual ou mecânica com uso de bomba ou projetor com recipiente acoplado. Quando for utilizada bomba de argamassa é necessário que o material tenha sido desenvolvido para esse fim. Assim, segundo Crescencio et al. (2000), essa argamassa deve ter espessura máxima de 5 mm e a pistola de projeção deve estar posicionada a cerca de 50cm do substrato.

A projeção de argamassa para revestimento é precedida da execução de guias para controle da espessura, nível, prumo e planicidade do mesmo. Para tanto, é comum o uso de taliscas e mestras executadas com a mesma argamassa do revestimento. Após isso é executado o revestimento através da aplicação de uma ou mais camadas horizontais de argamassa. Segundo Crescencio et al. (2000), quando utilizada bomba de projeção, a pistola deve estar de 10 a 30 cm da base. Quando utilizado o projetor com recipiente acoplado, os fabricantes recomendam distância de 10 a 20 cm.

Segundo a Votorantim<sup>9</sup>, fabricante nacional de argamassa, as camadas do material devem ter no máximo 1,5 cm de espessura cada e serem aplicadas de cima para baixo para produção de revestimentos com espessura final máxima de 5 cm. Para revestimentos com até 3 cm, esse fabricante admite a execução de camadas seqüenciais sem sarrafeamento entre elas. Para espessuras maiores, até 5 cm, o mesmo aconselha que, após completar os 3 cm, seja aguardado o “tempo de puxar” para execução das demais camadas. Após isso, a argamassa deverá ser imediatamente alisada com régua metálica. Para o sarrafeamento e o desempenho finais o fabricante indica esperar o “tempo de puxar”. A última camada aplicada pode constituir-se em acabamento final ou ainda receber outro tipo de acabamento.

---

<sup>9</sup> Informações disponíveis no endereço eletrônico <<http://www.votorantim-cimentos.com/produtos/hotsite/argamassa/base.htm>> Acesso em: 01 out 2007.

No entanto, o método de execução pode variar conforme o fabricante e entre autores. Crescencio et al. (2000) recomendam que cada camada de argamassa possua espessura com no máximo 2 cm e sejam executadas em filetes de cima para baixo e em faixas horizontais menores que 2 m. Segundo os mesmos autores, um dos fabricantes de argamassa recomenda tempo de cura de 3 horas entre as camadas. Para revestimentos com espessura maior que 6 cm, os autores afirmam ser necessário armá-la com tela.

Em sistemas com bomba de projeção são necessárias também mudanças na etapa de produção de argamassa em relação ao convencional, já que é preciso utilizar uma argamassa que permita o bombeamento e a projeção. O maior controle para a produção de argamassa com capacidade de bombeamento faz com que muitas empresas optem por argamassa industrializada específica, pois em obra tal controle não seria viável.

Santos e Bauer (2003) abordaram em seus estudos a relação da consistência da argamassa e sua bombeabilidade<sup>10</sup>. Os autores tinham o objetivo de identificar os critérios relacionados às características reológicas que as permitiam ser bombeáveis. Essas características do material são fundamentais para a funcionalidade do equipamento, evitando entupimento dos mangotes e reflexão de argamassa da base. Fernandes e John (2007) acrescentam que é necessário adequar a energia de lançamento ao comportamento reológico da argamassa para que a mesma não sofra grande reflexão.

Os autores partiram do pressuposto que a bombeabilidade é governada pela viscosidade<sup>11</sup> plástica da argamassa, em analogia aos estudos de concreto bombeado. Como a viscosidade é diretamente proporcional à consistência, essa propriedade foi utilizada para avaliar a bombeabilidade das argamassas industrializadas em estudo. Para tanto, a consistência foi relacionada à tensão de escoamento e definida através do *vane tester*, ou seja, quanto maior a leitura de tensão de escoamento, maior a consistência da mistura.

Como a consistência da argamassa é definida pelo teor de água e pelo teor de ar incorporado da mesma, os pesquisadores estudaram as variáveis de produção que as definem, ou seja, a influência da quantidade de água de amassamento e do tempo de mistura na consistência limite de bombeamento.

---

<sup>10</sup> Segundo Santos e Bauer (2003), a bombeabilidade é definida quando a argamassa sai do equipamento misturador até antes de passar pelo bico de projeção. Já a projetabilidade engloba tanto a bombeabilidade quanto a capacidade de projeção, ou seja, uma argamassa projetável é aquela que possui uma consistência que permita a passagem da mesma pela bomba e pelo mangote e ao mesmo tempo proporcione boa aderência com o substrato.

<sup>11</sup> A viscosidade é a velocidade de deformação de um corpo e expressa a resistência de um fluido ao escoamento devido à fricção interna, ou seja, materiais mais viscosos fluem com menor facilidade e, portanto, possuem maior consistência.

Os autores identificaram nesse estudo que a capacidade de bombeamento é definida principalmente pela quantidade de água adicionada, já que a mesma é fundamental para que exista uma camada lubrificante entre o material e a parede do mangote, como também entre as partículas sólidas. Baseado nisso, a obstrução por insuficiência de água ocorre pelo aumento da tensão de fricção na parede do mangote e/ou pelo efeito de dilatação do agregado miúdo. Portanto, a carência de água contribui para a obtenção de argamassas tão consistentes que não são projetáveis, mas o excesso de água dificulta a adesão inicial da argamassa ao substrato.

Observou-se também que, a partir de determinado teor de umidade, a tensão de escoamento se mantém praticamente constante, levando os autores a supor que o acréscimo de água está provocando a diminuição da viscosidade das misturas e, portanto, tornando-as mais fluidas.

Já o tempo de mistura foi relacionado ao teor de ar incorporado, reduzindo ou aumentando a consistência do material. Assim, quanto maior o tempo de mistura, maior o teor de ar incorporado, o que além de diminuir a consistência, gera um incremento de plasticidade da argamassa, característica esta imprescindível em se tratando da adesão inicial após a sua projeção. Portanto, baixos teores de ar incorporado podem reduzir a plasticidade ao ponto de comprometer a adesão inicial da argamassa ao substrato.

Adicionalmente, os autores identificaram que, no geral, quanto menor a tensão de escoamento, maiores as vazões de projeção. Foi concluído que as argamassas para projeção devem apresentar maior fluidez que as argamassas utilizadas no processo convencional para que a pressão e a vazão de bombeamento sejam adequadas. Portanto, pode-se afirmar que a bombeabilidade é determinada pela consistência da argamassa e influenciada diretamente pelo teor de água e pelo teor de ar incorporado, sendo a primeira a mais influente, já que a carência de água, mesmo com altos teores de ar incorporado, pode gerar argamassas não projetáveis.

Nesse estudo foi percebido também que, para o mesmo valor de tensão de escoamento, as três argamassas utilizadas possuíam diferentes teores de água. Segundo Santos e Bauer (2003), isso se deve provavelmente às diferenças de características granulométricas e forma dos grãos dos agregados constituintes das diferentes argamassas e da formulação das mesmas.

Portanto, Santos e Bauer (2004) estudaram também a influência das características granulométricas dos agregados na projetabilidade das argamassas industrializadas. Foi observado um aumento de fluidez com o uso de areias mais uniformes. A maior massa unitária e o menor volume de vazios decorrente de agregados com granulometria mais uniforme geraram argamassas com menor tensão de escoamento e menor teor de ar incorporado. Apesar do menor teor de ar incorporado, essas argamassas eram mais fluidas,

podendo-se afirmar que as características granulométricas do agregado influenciam na bombeabilidade da argamassa.

Santos (2003, p. 112) comenta que “a relação volume de pasta/volume de vazios do agregado provavelmente determina a preponderância de influência das características da pasta em detrimento das do agregado e vice-versa”.

Por fim, o mesmo autor concluiu que a bombeabilidade é uma característica própria da argamassa e que depende das propriedades reológicas da mesma. Ela é influenciada pelas características da pasta aglomerante, como teor e tipo, da quantidade de ar incorporado e das características relativas aos agregados, como granulometria, forma, textura e morfologia. No entanto, os fatores que determinam a bombeabilidade e projetabilidade das argamassas devem ser considerados conjuntamente, pois seus efeitos estão associados.

### 2.3.3 Considerações sobre os sistemas com aplicação manual e mecânica

Comparando os sistemas com aplicação manual e mecânica de argamassa, observa-se que uma das desvantagens do uso do sistema mecanizado com bomba de projeção é a necessidade de maior controle na produção de argamassa, fazendo com que se opte pelo material já industrializado. Já os sistemas com aplicação manual e com projeção através de recipiente acoplado, por não transportarem mecanicamente argamassa, são mais flexíveis quanto ao controle de produção do material, facilitando seu uso. (CRESCENCIO et al., 2000).

Além disso, como já dito, o uso de bomba de projeção de argamassa exige mudanças na organização da produção. Já os projetores com recipiente acoplado não representam grandes mudanças na produção, não contribuindo muito com a racionalização da obra.

Outra diferença entre os sistemas ocorre em função da maior produtividade na aplicação de argamassa proporcionada pelos sistemas mecânicos. A velocidade da etapa de aplicação do material na fachada faz com que seja necessário utilizar equipamentos de movimentação vertical compatíveis, ou seja, andaimes suspensos elétricos ou andaimes fachadeiros, podendo representar maior investimento.

Por outro lado, como já dito, a projeção mecânica de argamassa pode melhorar o desempenho do produto final (Duailibe et al, 2005). Nos anos 80, o CSTB (1982) já apresentava a projeção mecânica de argamassa como uma forma de melhorar a aderência dos revestimentos à base. Segundo Duailibe et al. (2005), como tais equipamentos podem gerar maior força de aplicação de argamassa sobre a base em relação à aplicação manual, eles tem o potencial de

aumentar a extensão de aderência. Os referidos autores encontraram resistências de aderência 55% superiores às dos revestimentos executados com aplicação manual, assim, enquanto os revestimentos com aplicação manual obtiveram média de 0,22 MPa, os com aplicação mecânica alcançaram 0,34 MPa.

Duailibe et al. (2005) também verificaram que é possível obter melhorias de 85% na permeabilidade à água dos revestimentos aplicados mecanicamente, o que é justificado pela maior compacidade obtida com o aumento da força de aplicação da argamassa, a qual propicia a diminuição dos vazios do material. Enquanto os revestimentos com aplicação manual levaram em média 6,5 minutos para absorver 4 mm de água pelo “método do cachimbo”, os com aplicação mecânica levaram em média 12 minutos. Além disso, Duailibe et al. (2005) comprovaram que através da projeção mecânica de argamassa é possível diminuir a variabilidade da força de aplicação e controlá-la através de manômetros, tendo como consequência menor variabilidade também na qualidade do produto.

No entanto, Fernandes et al. (2006) identificaram que a energia de lançamento de uma argamassa com um modelo de projetor com recipiente acoplado foi da mesma ordem de grandeza, porém em média menor, que a medida por Antunes (2005) para a aplicação manual. Portanto, outros fatores podem estar influenciando para a obtenção de melhores resultados de resistência de aderência à tração e de permeabilidade à água dos revestimentos executados com aplicação mecânica de argamassa.

Na continuidade dessa pesquisa, Fernandes et al. (2007) testaram quatro argamassas, quatro equipamentos de projeção, quatro pressões de operação e duas capacidades de vazão do compressor de ar, concluindo que a energia de lançamento das argamassas testadas aumentou levemente com o aumento da pressão de operação do equipamento. No entanto, essa energia foi mais influenciada pelo tipo de argamassa e pela capacidade de vazão do compressor de ar. Ou seja, a maior vazão do compressor propiciou um pequeno ganho médio de energia de lançamento, mas também contribuiu com a redução das perdas de argamassa e com a diminuição da variabilidade dos resultados. Assim, manter constante a energia de lançamento da argamassa é importante, segundo os autores, para homogeneizar o revestimento produzido por projeção mecânica.

Portanto, a escolha por um sistema ou outro deve levar em consideração os benefícios e dificuldades de cada um, assim como as características da empresa, sua cultura, suas competências e suas necessidades.

### 3 GESTÃO DA PRODUÇÃO

Os conceitos relacionados à gestão da produção são apresentados no início desse capítulo. Posteriormente é desenvolvido o tema avaliação da produção, quando são apresentadas diretrizes e ferramentas.

#### 3.1 CONCEITOS

A produção é uma das funções das organizações. Gaither e Frazier afirmam que além do marketing e das finanças, a produção é uma das três funções dos negócios que merece destaque. Sua gestão é formada por algumas atividades, decisões e responsabilidades.

Para Shingo (1996), as principais atividades gerenciais são o planejamento, o controle e o monitoramento da produção. Gaither e Frazier (2001, p. 5) afirmam que a administração da produção e operações é “a administração do sistema de produção de uma organização, que transforma os insumos nos produtos e serviços da organização.”

O objetivo da administração do sistema de produção, segundo Slack et al. (1997), é tornar a produção eficaz, ou seja, utilizar de forma eficiente os recursos para produção de bens e serviços que satisfaçam seus consumidores. Para se manter eficaz a longo prazo, a função produção deve ser “criativa, inovadora e vigorosa para introduzir formas novas e melhoradas de produzir bens e serviços.” (SLACK et al., 1997, p. 33).

##### 3.1.1 A produção como um sistema

Um sistema é um todo que não pode ser separado sem que ocorra a perda de suas características essenciais e, por isso, deve ser estudado como um todo. Essa é a definição de sistema de Russell Ackoff, uns dos primeiros a tratar da teoria dos sistemas. O conceito de sistema é importante, já que uma das três abordagens de administração da produção e operações que tendem a predominar é a da produção como um sistema (GAITHER; FRAZIER, 2001). Essa abordagem é utilizada nesse estudo. Portanto, as partes são estudadas em termos do todo.

Do ponto de vista de Gaither e Frazier (2001), um sistema de produção transforma os insumos em saídas através de um subsistema de transformação. Nesse conceito, o processo de

transformação é a atividade predominante, é o ponto principal da produção.

Já para Slack et al. (1997), qualquer atividade de produção pode ser vista conforme seu modelo, ou seja, o Modelo de conversão (figura 8). O autor define por processo a transformação de *inputs* (recursos utilizados para a produção) em *output* (produtos dessa produção). Ou seja, o processo é visto como uma conversão.

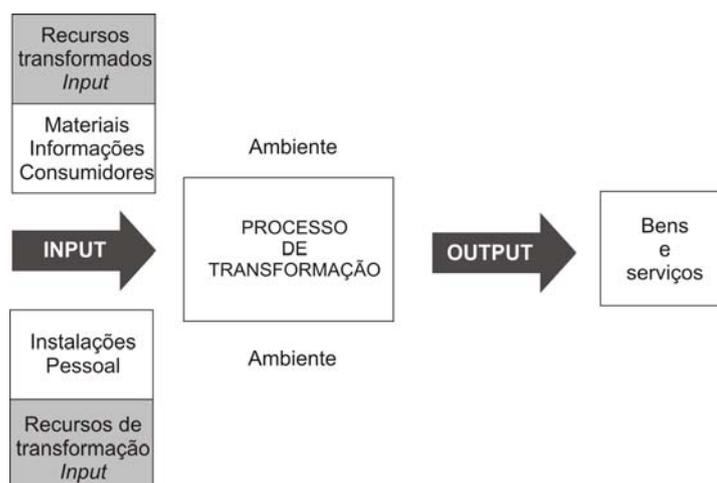


Figura 8: Modelo de conversão (SLACK et al., 1997, p. 36)

Dentro desse conceito tradicional, um processo de conversão é um conjunto de subprocessos e considera-se que as melhorias no processo são obtidas através de melhorias nesses subprocessos. Koskela (1992) critica esse modelo, afirmando que o mesmo analisa todas as atividades como atividades de conversão ou deixa de considerar os fluxos de recursos entre os processos de conversão, atividades nas quais não se agrega valor ao produto.

No entanto, a produção também pode ser visualizada segundo o conceito de Shingo (1996) como uma rede composta de processos e operações em seus eixos X e Y. Tal lógica de visualização dos sistemas produtivos foi proposta pelo autor em 1945 e chamada de Mecanismo da Função de Produção (ANTUNES JÚNIOR, 1994). Nessa lógica, os processos são os fluxos de materiais (recursos transformados) ao longo do tempo e no espaço até o produto final, enquanto operações são definidas como o fluxo de mão-de-obra e equipamentos (recursos de transformação).

Koskela (1992) adiciona a esse conceito que o processo deve ser entendido como o fluxo tanto de materiais como de informação desde a matéria-prima até o produto final. Rother e Shook (1998, p.5) ainda acrescentam que “[...] o fluxo de informação deve ser tratado com tanta importância quanto o fluxo do material.”. Assim um processo somente será iniciado quando o seguinte solicitar.

As atividades componentes de um processo podem ser classificadas em atividades de conversão, nas quais os materiais são processados, e atividades de fluxo, relacionadas à inspeção, espera e movimentação de materiais (SHINGO, 1996). Portanto, segundo esses conceitos, apesar de ambas as atividades consumirem tempo e representarem um custo, apenas as atividades de conversão agregam valor ao produto e, portanto, as atividades de fluxo devem ser vistas como perdas.

### 3.1.2 Qualidade na produção

O conceito de qualidade é, segundo Garvin (1992), bastante complexo. A literatura acadêmica apresenta várias perspectivas que competem entre si e existem muitas interpretações para o termo até dentro da mesma empresa. Segundo Picchi e Agopyan (1993), esse conceito tem sido definido cada vez de forma mais ampla, o enfoque passou de uma visão corretiva, baseada na inspeção, para uma visão preventiva com enfoque sistêmico, levando em consideração todas as etapas do processo.

Para Garvin (1992), o desenvolvimento mais recente dessa disciplina é a gestão estratégica da qualidade, a qual redefiniu o termo. Segundo essa visão, a qualidade está de acordo com o ponto de vista do cliente e, portanto, não é um conceito fixo. Ela tem um papel estratégico e de concorrência que gerou o interesse da alta gerência das empresas, ou seja, está associada à lucratividade (GARVIN, 1992).

A Gestão pela Qualidade Total insere-se nesse contexto. Segundo essa filosofia o foco deve estar na satisfação das necessidades do cliente através do aperfeiçoamento contínuo dos processos. Hackman e Wageman (1995) afirmam que os princípios que norteiam as melhorias de qualidade na Gestão da Qualidade Total a partir das idéias de Juran (1974), Ishikawa (1985) e Deming (1986) são: foco no processo, controle da variabilidade, coleta sistemática de dados para ciclos de solução de problemas e aprendizado e melhoria contínua.

No caso da construção civil brasileira, Reis e Melhado (1999) afirmam que atualmente a gestão da qualidade é uma forma de responder a um mercado mais exigente e a um contexto de elevada competitividade. No entanto, segundo Garvin (1992) é necessário entender melhor o termo qualidade para que ela possa assumir seu papel estratégico.

Para Souza e Voss (2002), os pesquisadores em Gestão da Qualidade não chegaram a uma definição única de qualidade do produto, sendo que diferentes definições são apropriadas para diferentes circunstâncias e, portanto, é importante reconhecer a sua natureza multi-

dimensional. Garvin (1992) identifica cinco abordagens principais para a definição da qualidade: a transcendente, a baseada no produto, a baseada no usuário, a baseada na produção e a baseada no valor. Esses diferentes enfoques de qualidade explicam os conflitos de visão entre os diferentes agentes do processo produtivo. Porém, para o autor, como cada abordagem não é totalmente abrangente, é preferível que várias delas sejam adotadas pelas empresas conforme suas áreas de atuação e necessidades dos seus departamentos, tirando proveito dessas múltiplas perspectivas de qualidade.

Seguindo o exemplo de Garvin (1992), as empresas podem inicialmente adotar a orientação baseada no usuário, ou seja, identificar as necessidades dos mesmos através de pesquisas de mercado, para então seguir uma orientação baseada no produto com o objetivo de definir as características das peças, a montagem e especificações do produto que atendam aos requisitos dos usuários. Mas ao mesmo tempo, devem utilizar a abordagem baseada na produção com a finalidade de determinar os equipamentos e métodos de produção que assegurem as especificações. Para tanto, segundo o autor é necessário um esforço de coordenação entre os setores, onde cada um contribui de alguma forma com a qualidade.

No caso do setor de engenharia da produção, a abordagem tradicionalmente adotada é a baseada na produção (GARVIN, 1992). Como essa pesquisa trata da avaliação da produção, a análise de qualidade ficará focada a essa abordagem e, portanto, ela é discutida mais a fundo.

A abordagem da produção tradicionalmente define qualidade como conformidade do produto às especificações. Diferentemente da abordagem baseada no usuário, ela possui pouca ligação com o consumidor, sendo focada na prevenção aos desvios na produção que tenham como efeito a desconformidade com a especificação do produto e, portanto, exijam correções ou retrabalho, resultando em custos adicionais (GARVIN, 1992).

Entre as oito dimensões da qualidade identificadas por Garvin (1992), ou seja, desempenho, características, confiabilidade, conformidade, durabilidade, atendimento, estética e qualidade percebida, tanto a conformidade quanto a confiabilidade estão intimamente associadas à abordagem da qualidade baseada na produção.

Apesar de tradicionalmente a qualidade na produção ser condicionada à conformidade dos produtos com as especificações, essa dimensão desconsidera variações dentro de uma faixa de tolerância e, portanto, pouco se sabe sobre a variabilidade dentro dessa faixa, o que segundo o mesmo autor, possibilita que ocorram, por exemplo, problemas por desencontros de tolerância. No entanto, a segunda dimensão da qualidade que é associada à abordagem baseada na produção, a confiabilidade, considera não somente a conformidade em relação às

especificações, mas também o grau de variabilidade em torno da meta. Portanto, segundo tal conceito, a variabilidade demonstra a confiabilidade da produção, pois mais produtos se concentram no alvo (GARVIN, 1992). Hackman e Wageman (1995) afirmam que a variabilidade é uma das grandes responsáveis por problemas de qualidade. Portanto, suas causas devem ser identificadas com o objetivo de aperfeiçoar o processo.

Garvin (1992) recomenda a utilização de ambas as medidas com o objetivo de obter ganhos de qualidade, já que os defeitos e as falhas são considerados indesejáveis pela maioria dos consumidores. Segundo o autor, essas são “medidas relativamente objetivas da qualidade, tendo menos probabilidade de refletir preferências pessoais que as classificações baseadas no desempenho ou em características.” (GARVIN, 1992, p. 66).

É importante ressaltar que, apesar dessa dissertação estar focada no sistema de produção e seus agentes diretos, a busca por qualidade deve envolver todos os participantes da cadeia, abrangendo também projetistas, fornecedores, subcontratados e outros. Em relação ao sistema de produção de revestimentos, Reis e Melhado (1999) apresentam através da figura 9 a inter-relação da empresa construtora com os demais agentes que podem afetar a qualidade nas diferentes fases do processo de produção.

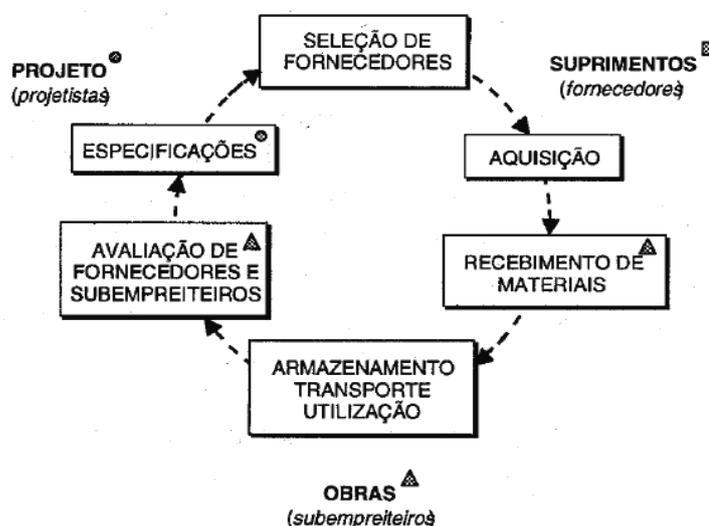


Figura 9: Fases da produção de revestimentos (Reis e Melhado, 1999, p. 701)

A integração entre os diversos agentes é um dos princípios da produção enxuta<sup>12</sup>, através da cooperação com uma rede enxuta de fornecedores e de equipes de projeto do produto que englobam também engenharia industrial e de processos (WOMACK et al., 1990).

<sup>12</sup> O sistema de produção enxuta nasceu na empresa automobilística Toyota a partir do Sistema Toyota de Produção de Eiji Toyoda e Taiichi Ohno.

Os mesmos autores afirmam que a implantação de sistemas de gestão da qualidade nas empresas construtoras contribui para a melhoria da visão sistêmica do processo de produção de edifícios, para destacar a importância de agentes externos à empresa na qualidade dos processos e produtos, para a padronização de procedimentos e para a melhoria contínua dos processos através da retroalimentação de informações.

Ressaltando a visão sistêmica, Juran (1991) afirma que os problemas que abrangem um conjunto de departamentos, ou seja, que possuam caráter transversal, devem ser solucionados de forma coletiva. No entanto, para o autor, é necessário o envolvimento da alta gerência, pois os sistemas de produção por ela criados influenciam diretamente a qualidade do produto.

### 3.1.3 Industrialização da produção

A evolução da organização da produção no mundo a partir do modo artesanal ocorreu principalmente pela necessidade de maior produtividade. Em muitas áreas da produção não era mais possível produzir artesanalmente por falta de oferta de mão-de-obra especializada para atender a demanda gerada com o crescimento do mercado consumidor, o que fez com que o custo de mão-de-obra aumentasse ainda mais. Aliado a isso, o desenvolvimento tecnológico teve como consequência uma maior complexidade nos produtos e, para tanto, a obtenção de maior conhecimento. Essas mudanças têm como consequência prática o trabalho em paralelo e a divisão do mesmo em partes especializadas. No entanto, tais mudanças exigem maior planejamento do trabalho para que se obtenha um ritmo de produção constante entre as diversas etapas do processo, diminuindo as perdas. Isto é, tais mudanças exigem um esforço de racionalização do trabalho. (BIRULES, 1968)

Juntamente à racionalização do trabalho surge a mecanização das operações, ou seja, a transferência de determinadas atividades da mão-de-obra para as máquinas, diminuindo a necessidade de esforço humano e aumentando a produtividade daquela atividade. Como resultado, o esforço para redução de perdas teve de considerar tanto a capacidade produtiva humana quanto dos equipamentos com o objetivo de diminuir a ociosidade desses recursos. Assim, segundo Birules (1968), a industrialização aparece como uma consequência imediata da racionalização do trabalho e da mecanização das operações.

Segundo Testa (1972) apud Sabbatini (1998, p. 3) “a industrialização da construção é um processo que, por meio de desenvolvimentos tecnológicos, conceitos e métodos organizacionais e investimentos de capital, visa incrementar a produtividade e elevar o nível

de produção”. Sullivan (1980) corrobora tal conceito ao afirmar que a industrialização de um processo implica na organização dos recursos com o objetivo de fazer mais com menos. Segundo o mesmo autor, para a construção civil essa transformação significa melhorias não só em eficiência, mas também em desempenho da edificação.

O atual nível de industrialização da construção civil brasileira demonstra que há muito que evoluir. Para Sabbatini (1998) os temas desperdício, atraso tecnológico e o despreparo da mão-de-obra são bastante atuais, demonstrando a grande necessidade de modernização do setor. Os revestimentos à base de argamassa são um dos exemplos disso. Normalmente os mesmos são produzidos sem haver projeto específico e nem mesmo procedimentos de produção documentados. O processo tradicional de produção possui alta variabilidade e altos níveis de perdas, tendo como resultado problemas de qualidade do produto.

Porém, na opinião de Sabbatini (1998), a perspectiva da indústria da construção civil recentemente vem sofrendo transformações. Crescêncio et al. (2000) comenta que o cenário econômico tem sido responsável pelas mudanças, já que o investimento em sistemas financeiros deixou de ser tão lucrativo e as empresas estão investindo em seu sistema produtivo para obter lucro e se manterem no mercado. Tais mudanças comprovam o que diz Womack et al. (1990), ou seja, quando velhas idéias começam a não funcionar, surge um cenário próspero para as novas.

No entanto, muitas das tentativas dessas empresas em se modernizar têm falhado. Crescêncio et al., (2000) comentam que na década de 70 houve tentativas de implantação da técnica de projeção de argamassa para a produção de revestimentos em São Paulo. No entanto, segundo o autor, não houve sucesso por falta de treinamento da mão-de-obra e de adaptação da gestão do canteiro em função desse sistema de produção. Ou seja, focaram-se apenas as características técnicas dos equipamentos.

Para Sullivan (1980), dentro do cenário da construção civil muitas das mudanças na busca por eficiência não podem ser consideradas processos de industrialização. A aplicação mecânica de argamassa é um exemplo disso, a simples mecanização não determina maior grau de industrialização do processo de produção de revestimentos à base de argamassa, já que não garante maiores níveis organizacionais. Crescêncio et al. (2000) afirmam que falta visão sistêmica, isto é, as mudanças ainda são pontuais. A “industrialização não é um processo associado a saltos tecnológicos ou a mudanças operacionais radicais. Ela é essencialmente um processo contínuo de organização da atividade produtiva.” (SABBATINI, 1998, p. 4).

Para Koskela (1992), os esforços de industrialização frequentemente não obtêm sucesso porque a gestão na construção ainda é focada em atividades de conversão. As empresas deixam de controlar e implementar melhorias também nos fluxos físicos entre as atividades de conversão. O mesmo autor afirma que isso leva a processos confusos, complexos e cheio de incertezas, tendo como consequência um grande número de atividades que não agregam valor ao produto e altos índices de perdas.

Além disso, Koskela (1992, p. 5) comenta que “[...] a excessiva ênfase em melhorias nas atividades de conversão, principalmente através de inovações tecnológicas, pode deteriorar a eficiência dos fluxos e de outras atividades de conversão, limitando a eficiência global.”.

O investimento das empresas na mecanização de determinadas atividades com o objetivo de obter maior produtividade é um exemplo. A mecanização de uma ou mais atividades por si só não garante melhorias, podendo até mesmo ter reflexos negativos no sistema de produção como um todo. Para Shingo (1996), as melhorias nas operações sem considerar seu impacto no processo podem reduzir a eficiência global.

Portanto, no geral, a indústria da construção no Brasil apresenta-se pouco evoluída, porém com perspectivas de melhorias ocasionadas pelas mudanças econômicas no país. Com isso, muitas empresas já estão investindo em seus meios de produção, obtendo um nível de organização mais avançado e estimulando mudanças em todo o mercado.

Na construção civil mundial, Koskela (2000) afirma que o processo de industrialização é visto há muito tempo como uma direção para o progresso do setor. No entanto, até o momento, o autor acredita que tal visão não resultou em grandes melhorias. Para ele, falta fundamentação teórica, sendo necessário desenvolver teorias que partam de aspectos genéricos e de base da produção.

#### 3.1.4 Perdas na produção

O conceito de perdas na construção civil tradicionalmente refere-se aos desperdícios de material por serem esses muito mais visíveis na construção, especialmente sob a forma de resíduos (entulho). Porém, segundo Formoso et al. (1996, p. 30), esse conceito deve ser estendido para “qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra e capital em quantidades superiores àquelas necessárias à produção da edificação.” Assim, além das perdas de materiais resultantes das deficiências dos processos, as atividades

que poderiam ser eliminadas ou otimizadas, sem prejuízo da qualidade do produto final, devem ser consideradas perdas.

Para Koskela (1992), perda é toda atividade que não agrega valor ao cliente final. O conceito de perda desse último autor está relacionado aos novos conceitos de qualidade, os quais são definidos conforme o ponto de vista do usuário. Assim, segundo esses conceitos, as reais perdas na construção civil são muito superiores aos índices tradicionalmente levantados.

No entanto, ressalta-se que nem todas as atividades que não agregam valor ao cliente final podem ser eliminadas, pois as mesmas são necessárias para que a produção aconteça. Segundo Koskela (1992), algumas dessas atividades agregam valor aos clientes internos, sendo importantes para que as atividades produtivas sejam realizadas.

Focando na área da engenharia da produção e operações, Shingo (1996) afirma que se deve procurar também pelos desperdícios que não são notados por terem se tornado parte natural do trabalho diário. Segundo o mesmo autor, “perda é qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como espera, acumulação de peças semiprocessadas, recarregamentos, passagem de materiais de mão em mão, etc.” (SHINGO, 1996, p. 110). Ou seja, conforme esse conceito, as perdas estão relacionadas a menores índices de produtividade e a maior *lead time*<sup>13</sup> de produção.

Formoso et al. (1996) adaptaram a classificação de perdas de Shingo (1981) e Skoyles (1987) para a construção civil brasileira de acordo com a possibilidade de serem controladas, sua natureza e sua origem. Assim, as perdas foram divididas em evitáveis e inevitáveis, conforme a possibilidade de serem controladas. As inevitáveis correspondem a um nível de perdas em que o esforço para sua redução exigiria um investimento superior ao obtido com a economia gerada, enquanto as evitáveis possuem um custo de prevenção inferior.

Já a classificação segundo a natureza decompõe as perdas em nove categorias:

- por superprodução: quando são produzidas quantidades superiores às necessidades dos clientes internos e/ou externos;
- por substituição: decorrem da utilização de um recurso com qualidade ou custo superior ao especificado;
- no transporte: movimentação excessiva ou inadequada dos recursos, sobretudo por problemas no layout ou no planejamento das atividades;

---

<sup>13</sup> *Lead time* de produção é o tempo que um produto leva pra se movimentar por todas as etapas de um processo, ou seja, da matéria-prima até o produto acabado.

- por espera: subutilização da capacidade de produção dos recursos por paradas devido à falta de sincronização e nivelamento dos fluxos de materiais e das atividades dos trabalhadores;
- no processamento: devido à execução inadequada das atividades ou em função da própria natureza das atividades, assim como na falta de treinamento da mão-de-obra e de procedimentos padronizados;
- no estoque: armazenamento inadequado dos materiais e existência de estoques excessivos, os quais exigem disponibilidade de espaço físico, maiores recursos financeiros e podem gerar perdas de materiais;
- no movimento: por movimentação desnecessária por parte dos trabalhadores na execução das suas atividades;
- por produtos defeituosos: com a execução de produtos que não atendem às especificações, gerando retrabalho ou redução de desempenho do produto;
- outras: outras perdas que podem ocorrer e que possuem natureza diferente das anteriores.

Quanto à origem, as perdas podem ocorrer devido ao próprio processo de produção, mas também podem ter origem em outras etapas, como na fabricação da matéria-prima e dos componentes, na preparação dos recursos humanos, no projeto, nos suprimentos e no planejamento (Formoso et al., 1996). Portanto, a análise deve ser estendida para esses agentes. Apesar disso, nessa dissertação são investigadas apenas as perdas visíveis ao longo da produção e através da avaliação do produto final.

Segundo os mesmos autores, é importante conhecer a natureza das perdas e identificar suas principais causas para poder reduzi-las. A identificação das causas dos problemas gera informações essenciais para a implantação de melhorias de qualidade e produtividade. Koskela (1992) afirma que a eliminação das perdas depende da melhoria contínua tanto nos processos, quanto nos equipamentos e operações, o que exige que se sistematize a quantificação dessas perdas e a identificação das suas causas.

Como já dito, segundo os conceitos de Shingo (1996), todas as atividades que compõe um processo, atividades de conversão e de fluxo, consomem tempo e representam um custo, mas apenas as atividades de conversão agregam valor ao produto. Portanto, as demais atividades devem ser vistas como perdas. Para Formoso et al. (1996), quando se desenvolve uma

inovação tecnológica na construção, por exemplo, deve-se eliminar ao máximo a necessidade de atividades de fluxo, ou seja, de transporte, espera e inspeção de materiais.

Com base nisso, Koskela (1992) afirma que as melhorias devem focar primeiro essas atividades, buscando sua simplificação ou eliminação, para posteriormente focar a eficiência das atividades de conversão. Apesar disso, para Formoso et al. (1996), em geral as atividades de fluxo não são devidamente analisadas tanto nas tarefas de orçamento e planejamento quanto nos esforços de melhorias dos processos na construção civil brasileira.

Porém, além do fluxo de material, para Rother e Shook (1998) o fluxo de informação tem grande importância no esforço de melhoria, ele diz para cada processo o que fabricar ou fazer e quando, assim um processo somente será iniciado quando o seguinte solicitar. A coordenação da produção através do fluxo de informação deu origem ao sistema *just-in-time*<sup>14</sup> e é um ponto fundamental da produção enxuta, permitindo inclusive a implantação de uma rede enxuta de fornecedores.

Como visto, o esforço de melhoria é de fundamental importância no atual cenário da indústria da construção civil, que na opinião de Barros (1998) mostra-se mais competitiva, com percentagens de lucro cada vez menores. Portanto, a busca pela eficiência do sistema de produção é fundamental para a sobrevivência das empresas.

### 3.2 AVALIAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

A avaliação de desempenho da produção envolve a medição de certas características, que indicam quão eficiente ela é e auxiliam na investigação das origens das deficiências. Segundo Linard et al. (2005, p. 909), “a análise da situação existente através da observação, medição e registro é o primeiro passo para qualquer esforço de racionalização.”. Para Santos (1995a) a utilização de indicadores de desempenho e a procura pela origem das deficiências é resultado do aumento da competitividade no setor de edificações e, portanto, importante para a sobrevivência das empresas.

A busca pela eficiência da produção deve ser uma preocupação constante nas empresas que pretendem manter-se competitivas. Esse objetivo pode ser alcançado com melhorias tanto no projeto do produto e do sistema de produção, como também podem ocorrer por modificações graduais diretamente na produção com o auxílio das ferramentas de avaliação e controle.

---

<sup>14</sup> *Just-in-time*, ou seja, “na hora certa”, é um sistema criado na empresa automobilística Toyota por Taiichi Ohno em que cada etapa da produção é realizada apenas quando a etapa cliente solicitar. (WOMACK et al., 1990).

Segundo Picchi (1993), o controle formal e sistematizado da produção deve ser utilizado com o objetivo de garantir que os processos adotados tenham a capacidade de gerar os produtos com a qualidade especificada. Além disso, Lantelme et al. (1994) afirmam que as informações de desempenho geradas através do controle da produção podem fornecer dados relevantes à tomada de decisão nas empresas e às ações de melhoria da qualidade e produtividade, sendo fundamentais para a gestão da qualidade. Apesar disso, para os referidos autores, muitas empresas da construção civil brasileira ainda se baseiam em informações pouco concretas para a tomada de decisões, e, portanto, seus esforços de melhoria podem ser perdidos.

A avaliação da produção tem como objetivo a melhoria constante através do levantamento de dados ao longo da produção que possibilitem identificar problemas e gerar indicadores de sua situação. Para Formoso et al. (1996), a melhoria da qualidade e produtividade dos processos produtivos tem como pontos fundamentais a medição do desempenho desses processos e a identificação das causas dos problemas apresentados.

Dentre as ferramentas utilizadas para avaliação e controle da produção, algumas são focadas na análise dos processos de produção e outras na análise das operações. Além disso, segundo Isatto et al. (2000), elas podem ser classificadas em ferramentas de acompanhamento ou de diagnóstico da produção.

As ferramentas de acompanhamento, quando utilizadas periodicamente, indicam a situação da produção no tempo, podendo ser empregadas para acompanhar os resultados de ações de melhoria. São voltadas à avaliação da eficiência e da eficácia da produção. As de eficiência têm o objetivo de quantificar o tempo e os recursos necessários para determinada produção. Já as de eficácia “permitem determinar o grau com que as metas previamente definidas estão sendo atingidas” (ISATTO et al., 2000, p.95). Já as ferramentas de diagnóstico da produção são utilizadas para descrever determinado aspecto relacionado à produção e aos processos, com o objetivo de avaliar questões do seu contexto, identificar problemas e auxiliar na identificação de suas possíveis causas.

A seguir são apresentadas algumas ferramentas aplicáveis à avaliação, diagnóstico e acompanhamento da produção na construção civil.

### 3.2.1 Diagrama de processos

O método de descrever e analisar os vários passos ao longo do processo é chamado de análise do processo (ISHIWATA, 1991). A análise do processo é, segundo o mesmo autor, a primeira

ferramenta para encontrar e eliminar as perdas nos processos. Shingo (1996) distingue algumas atividades nesse fluxo de transformação de matérias-primas em produtos, sendo eles: operações, inspeção, transporte e espera (ou estoque). Ishiwata (1991) acrescenta que as melhorias nas operações devem ser acompanhadas de melhorias no processo para que se reflitam no contexto global da produção. Porém, é comum empresas tomarem decisões pontuais ou implantarem inovações nas operações sem analisar o processo, podendo comprometer tal esforço de melhoria.

Uma ferramenta utilizada na análise do processo é o diagrama de processos (figura 10). Para tanto, utilizam-se símbolos que representam as atividades (tabela 2), permitindo quantificar aquelas que são de fluxo e as que são de conversão.

Tabela 2: símbolos das atividades (baseado em ISHIWATA, 1991)

Símbolo	Atividade	Significado
○	Operação	Alteração do material, partes ou produto
▽	Espera	Acumulação ou estoque de materiais, partes ou produtos
□	Inspeção	Teste, medição e inspeção para comparar às especificações
⇒	Transporte	Mudança de local de materiais, partes e produtos

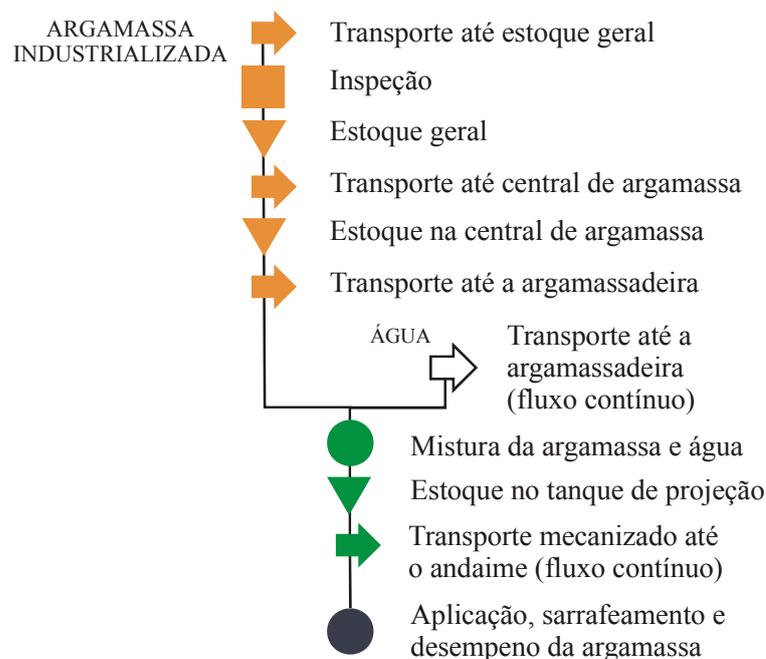


Figura 10: exemplo de diagrama de processos

O diagrama de processo é uma ferramenta gráfica simples, empregada para representar e registrar o fluxo de materiais e componentes que compõem um processo durante a produção, dando uma visão geral sobre ele. A partir desse diagrama, verificam-se as possibilidades de melhoria através da eliminação ou simplificação das atividades que não agregam valor à produção, isto é, não contribuem com os objetivos do processo, como o transporte, a inspeção, a espera (ou estoque). Segundo Ishiwata (1991), o objetivo é encontrar uma forma de fazer produtos melhores, ou seja, uma forma mais rápida, barata e fácil.

O diagrama de processos pode conter informações adicionais, como distância, quantificação da mão-de-obra e tempo, variando conforme os objetivos do estudo (ISATTO et al., 2000).

### 3.2.2 Mapofluxograma

O mapofluxograma (Figura 11) é a representação de um processo num determinado espaço, por exemplo, em uma planta. Tem como função auxiliar a visualização da distribuição física das atividades e fluxos, permitindo analisar o *layout* do processo.

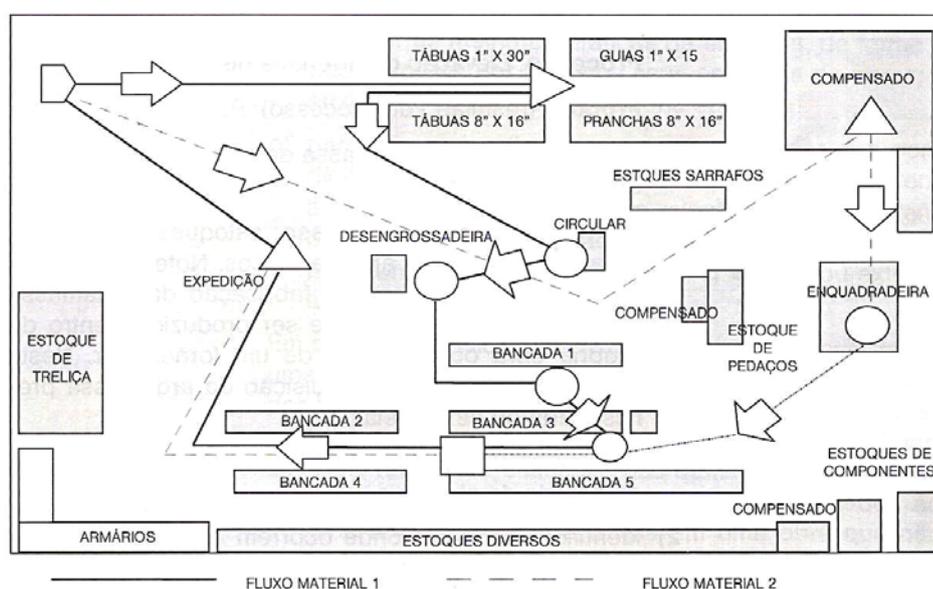


Figura 11: exemplo de mapofluxograma (ISATTO, 2000)

Segundo Isatto et al. (2000), o mapofluxograma permite a representação não apenas do fluxo de materiais e componentes, mas também de pessoas e equipamentos, ou seja, o fluxo de trabalho. Com isso, coloca-se em evidência aspectos como a organização do trabalho e a necessidade de deslocamento entre os postos de trabalho. Para tanto, podem ser utilizados os mesmos símbolos da ferramenta diagrama de processos.

### 3.2.3 Cartão de produção

Segundo Garvin (1992), a produtividade é um indicador básico da boa situação da organização, ela está associada à qualidade, já que um processo de fabricação sem defeitos é mais eficiente. A medição da produtividade da mão-de-obra pode ser feita com o auxílio do cartão de produção, no qual é registrada a produção de cada operário ou equipe de trabalho com determinados recursos e equipamentos e o período gasto para sua realização.

Segundo Isatto et. al (2000), o controle pode ser feito por período, por evento ou através de uma abordagem híbrida. O controle por período caracteriza-se pelo registro da produção em intervalos previamente definidos, enquanto o controle por evento caracteriza-se pelo registro do tempo necessário para conclusão de determinada etapa definida anteriormente. A abordagem híbrida é utilizada através de um acompanhamento a cada período de tempo pré-determinado, quando são verificadas quais etapas já foram concluídas.

### 3.2.4 Amostragem de trabalho

Segundo Santos (1995a, p. 197), a amostragem de trabalho é uma ferramenta ligada à análise das operações, é utilizada para determinar como o operário gasta seu tempo ou quanto é utilizado da capacidade dos equipamentos, obtendo-se uma “descrição objetiva do trabalho no canteiro”. Dessa forma, essa ferramenta auxilia na identificação de problemas e dos pontos a serem melhorados de forma simples e com baixo custo. Sua utilização na determinação de tempos produtivos, improdutivos e auxiliares é adequada para a análise da eficiência gerencial e implantação de melhorias relacionadas à racionalização do trabalho na construção civil (HEINECK, 1986 apud SANTOS, 1995a). Mas também permite identificar o padrão de produtividade da empresa, servindo de base para planejamentos futuros.

A coleta de informações é realizada através de observações instantâneas da equipe de trabalho ou dos equipamentos em um intervalo de tempo aleatório. Segundo Barnes (1977), para que a amostragem seja aleatória, todos os elementos do universo devem ter a mesma probabilidade de serem retirados, podendo para tanto ser feito um programa que forneça esses valores ou uma tabela de números aleatórios. O número total de observações deve ser definido pela confiabilidade que se pretende ter dos dados. Portanto, para o autor é necessário primeiramente definir o nível de confiança que se quer, sendo o mais comum o de 95%. O cálculo se baseia na probabilidade de ocorrência de um determinado fenômeno, isto é, na

distribuição de freqüências do mesmo. Segundo Barnes (1977), para esse nível de confiança, o erro relativo é 5% e a equação que determina o número de observações é a equação 1:

$$Sp = 2 \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}$$

(equação 1)

Sendo: S = erro relativo desejado, expresso em decimais,  
 p = porcentagem de ocorrência da atividade em relação ao número total de observações, expressa em decimais,  
 N = número total de amostras aleatórias.

Como a porcentagem de ocorrência da atividade (p) é o objetivo da ferramenta, para calcular o número de observações (N) necessário para o erro relativo requerido (S), estima-se uma porcentagem para a ocorrência, o que pode ser feito baseado em outro estudo já realizado. Após o início da coleta de dados, um novo cálculo pode ser feito conforme os resultados de porcentagem de ocorrência obtidos e, com isso, um novo número de observações é definido.

A partir disso, distribui-se o número de observações pelo número de operários ou equipamentos e pelo tempo de duração da pesquisa. Em cada coleta observa-se o que os operários estão fazendo naquele instante ou qual atividade está sendo desenvolvida pelo equipamento, sendo essa informação registrada em uma planilha que contém uma lista de atividades possíveis. Com isso estima-se quanto tempo está sendo gasto em cada atividade e identificam-se problemas e o potencial da produção.

Segundo Thomas (1991 apud Santos, 1995b), a variabilidade tão comum à construção civil gera a necessidade de estender a coleta de dados por um período mínimo de duas semanas para que os resultados não reflitam apenas uma situação momentânea ou passageira.

### 3.2.5 Mapeamento do fluxo de valor

No projeto de um sistema de produção é fundamental considerar os processos de forma integrada, inseridos em uma seqüência de produção, isto é, abordar não apenas processos individuais, mas o sistema. Pois é importante “melhorar o todo, não só otimizar as partes” (ROTHER e SHOOK, 1998, p. 3).

Assim, Rother e Schook (1998) afirmam que cada processo deve pensar no seu processo cliente e deve estar sincronizado de acordo com o fluxo de valor para que as decisões em cada



No entanto, a implantação de um sistema de produção enxuto em uma empresa envolve muitas pessoas, as quais precisam entender o mapeamento do fluxo de valor. Além disso, é necessário que o trabalho seja liderado por um gerente que possa enxergar entre as várias unidades funcionais da empresa e através das fronteiras dos fluxos de valor de um produto. Esse gerente deve ter o poder necessário para fazer as mudanças acontecerem (Rother e Shook, 1998).

O mapeamento é realizado através da representação gráfica do fluxo de material e de informação utilizando apenas papel e lápis, ou seja, é simples e não requer grandes investimentos. Esse mapeamento reflete um momento específico da produção. Para sua representação, é necessário percorrer a trilha da produção de um produto, a qual pode ser realizada desde a produção de matéria-prima até o consumidor final, passando, portanto, por várias empresas ou unidades produtivas. Ou, inicialmente, pode-se percorrer a trilha da produção de um produto dentro de uma empresa ou unidade produtiva na qual se quer implementar melhorias. Entretanto, como já dito, os demais agentes e processos podem afetar aquele processo que está em análise e, portanto, têm influência na qualidade do mesmo. Assim, é recomendável expandir o esforço de mapeamento do fluxo de valor para os demais processos (Rother e Shook, 1998).

Para os mesmos autores, essa ferramenta auxilia a identificar as fontes de desperdício, torna as decisões sobre os fluxos visíveis, contribui para a visualização do sistema como um todo e mostra a relação entre o fluxo de informação e de material.

Segundo Rother e Shook (1998), o mapeamento do fluxo de valor segue as etapas da figura 13. A representação do estado atual é feita a partir de informações coletadas no local de produção. O desenvolvimento do estado futuro é um esforço superposto com o atual, pois as idéias para o mesmo virão enquanto o estado atual estiver sendo mapeado, assim como o estado futuro pode revelar importantes informações sobre o atual.



Figura 13: etapas do mapeamento do fluxo de valor (baseado em ROTHER e SHOOK, 1998, p.7)

Além disso, esse deve ser um esforço de melhoria contínua, ou seja, assim que o estado futuro se concretizar, o mapeamento se repete e um novo estado futuro pode ser idealizado. Para

implantação das melhorias propostas é necessário um plano sucinto que descreva como fazer a transição do estado atual para o futuro. Vários símbolos a serem usados no mapeamento são apresentados por Rother e Shook (1998) como sugestão, estando divididos em três categorias, ícones de fluxo de material, de fluxo de informação e gerais.

### 3.2.6 Simulação do sistema de produção

Outro recurso para o projeto, teste e avaliação de sistemas de produção é a simulação computacional. Segundo Law e Kelton (1991), quando o sistema em análise é complexo, são necessários recursos computacionais para avaliá-lo numericamente. Para a simulação desses sistemas é criado um modelo que se baseia em um conjunto de informações com relações matemáticas ou lógicas que tentam explicar como ele se comporta (LAW e KELTON, 1991).

Existem alguns benefícios na utilização da simulação computacional em vez de outras técnicas de análise. É possível visualizar as conseqüências que mudanças pontuais podem gerar no sistema como um todo, sendo útil, por exemplo, na avaliação da implantação de novas tecnologias em uma etapa da produção ou na mecanização de determinadas atividades. Portanto, a simulação é importante para prever o comportamento do sistema, mas também para estimular a visão sistêmica dos gerentes (SCHRAMM e FORMOSO, 2007). Mesmo assim, segundo Schramm e Formoso (2007), na construção civil esse recurso vem sendo aplicado de forma parcial, focando operações e processos isolados. Além disso, segundo os mesmos autores, a simulação se mostra importante para esse setor, pois é adequada à avaliação de sistemas complexos, considerando também a combinação entre alguns fatores importantes e que são característicos da construção civil, como variabilidade, interdependência e incerteza.

Um dos programas de simulação disponíveis no mercado é o Arena®, da Rockwell Software Inc.. O Arena tem o objetivo de auxiliar na análise, mas também no projeto do sistema de produção, bem como na implementação de melhorias. Portanto, ele é uma ferramenta que oferece apoio à tomada de decisões nas empresas.

A construção do modelo é feita por programação visual através de um conjunto de componentes que são selecionados e interligados, ou seja, não é necessário conhecimento em programação. Nesse modelo o produto segue um fluxo determinado, ativa eventos e utiliza recursos. Através de animação, o software permite acompanhar o fluxo do produto através do sistema e verificar o grau de utilização dos recursos em cada momento da simulação. Segundo

Law e Kelton (1991), a animação tem a capacidade de comunicar a essência do modelo de simulação, aumentando sua credibilidade. Os mesmos autores apontam outras vantagens, como a visualização de erros ou de modelos sem validade, a visualização do potencial de melhoria, o entendimento do comportamento dinâmico do sistema e até mesmo, a possibilidade de utilizá-la no treinamento de pessoal.

O programa utiliza como dados de entrada alguns índices reais do sistema de produção em análise ou um histórico da empresa, como produtividade da mão-de-obra e recursos disponíveis para realização de cada atividade. Cada recurso do sistema pode ser modelado conforme uma distribuição estatística, como por exemplo, a exponencial ou a triangular. Ao simular sistemas já implantados, esses dados podem ser obtidos diretamente no sistema ou pode ser baseado em históricos da empresa. Mas, nesses casos, para que representem bem a realidade, as amostras devem ser significativas.

A simulação pode ser também interativa, tanto o modelo como os dados de entrada podem ser alterados com o objetivo de investigar as conseqüências de mudanças no sistema de produção e comparar diferentes propostas de melhorias. Com isso, geram-se informações úteis para a projeção do estado futuro da produção e para projetos de sistemas de produção.

Após a simulação do sistema, são gerados relatórios gráficos com dados sobre a utilização de cada recurso e sobre o tempo de realização das atividades da seqüência de produção. O programa gera, por exemplo, valores médios para grandezas como o tempo de espera, tempo de agregação de valor e o *lead time* total de produção. Podem ser identificadas as etapas da produção que representam gargalos do processo, ou seja, que restringem a capacidade do sistema. Para gerar esses dados, deve-se rodar o modelo com várias repetições do ciclo de produção, assim, garante-se maior credibilidade aos dados (LAW e KELTON, 1991).

### 3.2.7 Uso das ferramentas de avaliação para a identificação de perdas

As ferramentas de avaliação da produção apresentadas abrangem aspectos distintos da produção e, portanto, revelam diferentes tipos de perdas, conforme tabela 3.

O uso de várias ferramentas em um método de avaliação da produção tem como objetivo abranger diferentes tipos de perdas para, posteriormente, possibilitar a implantação de melhorias na produção.

Tabela 3: ferramentas para identificação de perdas

Ferramenta	Tipo de perda
Diagrama de processos	Perdas ao longo dos fluxos de materiais e componentes de um processo de produção. Identificação das atividades que não agregam valor à produção e que podem ser simplificadas ou eliminadas.
Mapofluxograma	Perdas ao longo dos fluxos de materiais, componentes e pessoas em um processo de produção em função do <i>layout</i> do processo e da organização do trabalho.
Cartão de produção	Perdas identificadas pela baixa produtividade da mão-de-obra em função de problemas de qualidade e eficiência na produção.
Amostragem de trabalho	Perdas ligadas às operações. Identifica como o operário gasta seu tempo ou quanto é utilizado da capacidade dos equipamentos
Mapeamento do fluxo de valor e Simulação do sistema de produção	Perdas entre os processos de um sistema. Identifica perdas por superprodução, estoque ou ociosidade em função da falta de sincronização entre os processos e a existência de gargalos de produção.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

Nesse capítulo é apresentada a estratégia de pesquisa, bem como o método de avaliação da produção utilizado.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

As atividades iniciais dessa pesquisa foram visitas a três obras de diferentes empresas que utilizavam o sistema convencional de produção de revestimento à base de argamassa e entrevistas com engenheiros dessas empresas e de duas empresas que já utilizaram sistemas de projeção mecânica de argamassa para revestimento. Além disso, foi realizado um estudo de caso com caráter exploratório, chamado de estudo de caso 1, em uma obra que estava implantando um sistema com projeção mecânica de argamassa para a produção de revestimento de fachada. Segundo Cervo e Bervian (2002), o estudo exploratório é importante para a aquisição de experiência e melhor formulação de hipóteses, auxiliando na busca por mais informações. Portanto, ele serviu para o aprendizado da pesquisadora e para a definição do método de avaliação da produção.

Além do estudo de caso 1, foi realizado o estudo de caso 2 em uma obra onde eram empregados dois sistemas de produção de revestimentos de fachada à base de argamassa, um com uso de projetores mecânicos de argamassa e outro com aplicação manual. Portanto, a estratégia de pesquisa principal foi o estudo de caso, sendo a unidade de análise o sistema de produção de revestimento de fachada com uso de argamassa. Os dados gerados tinham o objetivo de complementar o conhecimento já adquirido sobre o assunto. Mas, é importante salientar que, por se tratar de estudos de caso, os resultados não devem ser generalizados cientificamente, mas podem ser comparados a outros estudos, como o de Costa (2005).

Segundo Yin (2001, p. 19), o estudo de caso é indicado para situações em que o “pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos e quando o foco se encontra em fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real”. Isso se aplica a essa pesquisa, já que variáveis como a mão-de-obra não podem ser manipuladas, mas influenciam.

O estudo foi realizado segundo as etapas descritas na tabela 4. Já a figura 14 representa esquematicamente o delineamento da pesquisa e a relação entre as etapas de execução. A aquisição de conhecimento ao longo dos estudos de caso, através da aplicação do método de

avaliação da produção, também permitiu a avaliação do método e seu aperfeiçoamento, o que é representado através da elipse.

Tabela 4: etapas da pesquisa

Etapa	Descrição
A	- pesquisa bibliográfica
B	- visitas a obras com o sistema convencional de produção e entrevistas com engenheiros que já utilizaram aplicação mecânica de argamassa
C	- definição do método de avaliação do sistema de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa
D	- implementação do método de avaliação da produção de revestimento de fachada de argamassa em <b>estudo de caso 1</b> com caráter exploratório
E	- avaliação crítica do método de avaliação utilizado
F	- implementação do método de avaliação da produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa em <b>estudo de caso 2</b>
G	- análise dos dados e avaliação do método utilizado
H	- finalização dos dados e conclusões.

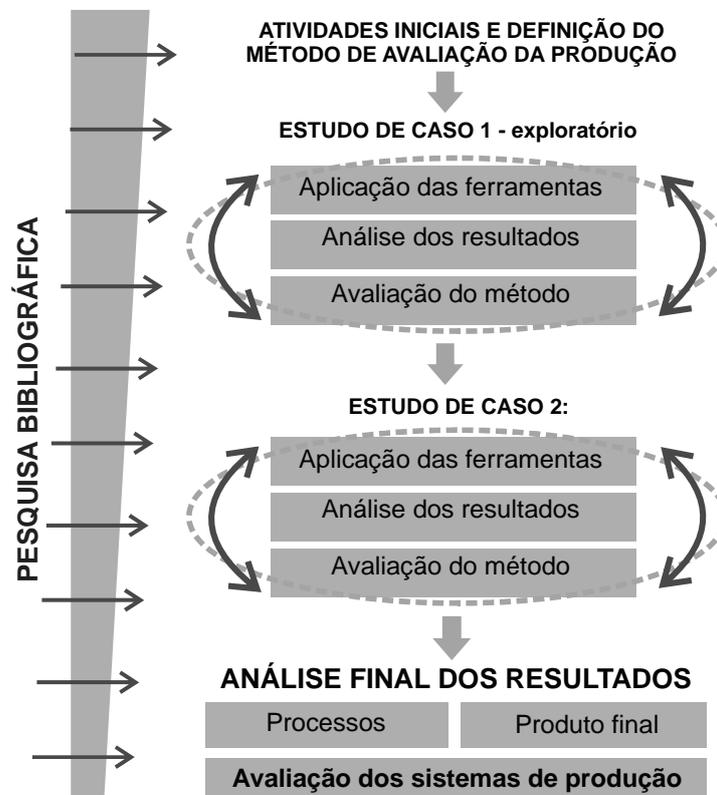


Figura 14: esquema de metodologia de pesquisa

## 4.2 DEFINIÇÃO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO

A escolha das características a medir baseou-se principalmente no modelo de avaliação proposto por Costa (2005), mas também nos estudos de Santos (1995b) e Duailibe et al. (2005). Com isso, foi possível utilizar os dados daqueles estudos para comparação com os da presente pesquisa, além de dar continuidade à pesquisa de Costa (2005).

### 4.2.1 O método de Costa (2005)

Costa (2005) propôs um método para avaliar o processo de produção de revestimentos de fachada de argamassa. Sua aplicação tinha como objetivo identificar as causas do baixo desempenho constatados nesses processos e indicar diretrizes para melhorias. A figura 15 apresenta as ferramentas de coleta de dados que compõe o método de Costa (2005).

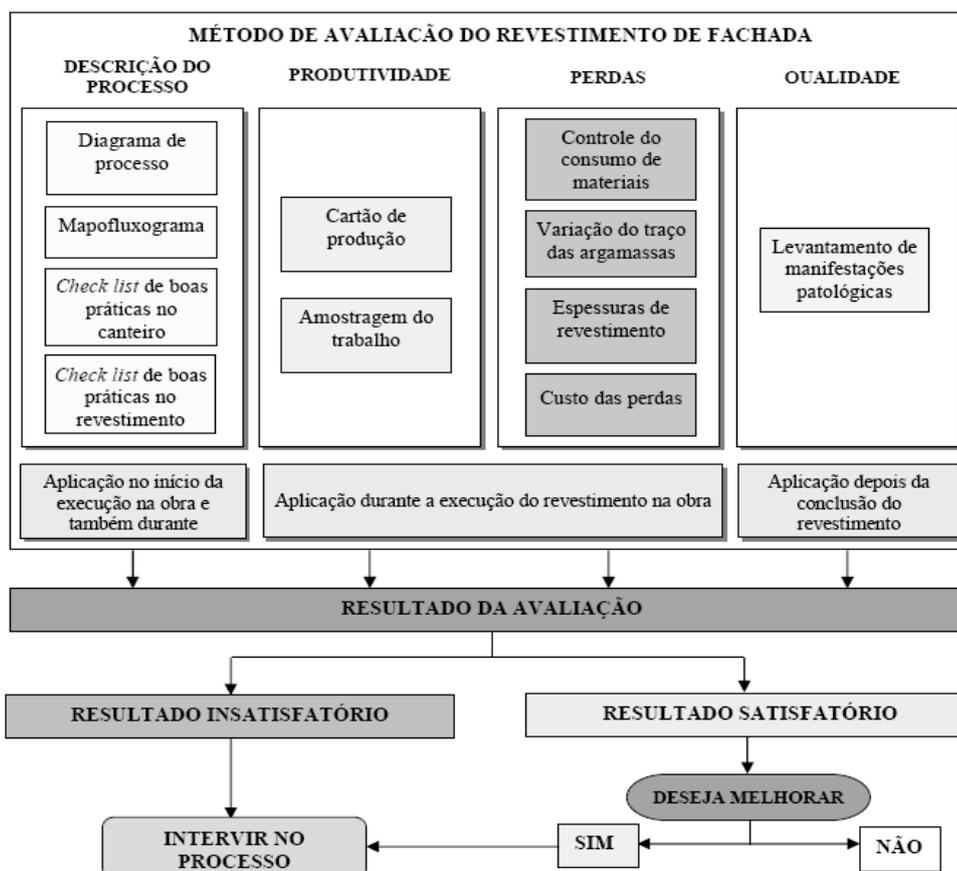


Figura 15: método de Costa para avaliação do processo de execução de revestimentos de fachada de argamassa (COSTA, 2005, p. 159)

Algumas das ferramentas desse método foram empregadas para a descrição do processo de produção, enquanto outras foram utilizadas para identificar o desempenho do mesmo através da medição de índices de produtividade, perdas e qualidade. A partir dos testes realizados nos oito estudos de caso, Costa (2005) avalia as ferramentas e indicadores propostos no seu método de avaliação, apresentando os objetivos e benefícios de cada um. Essas informações foram importantes para o aperfeiçoamento do método nessa pesquisa.

Para o desenvolvimento e teste desse método, o autor utilizou oito estudos de caso em empresas construtoras de Porto Alegre – RS, sendo analisada uma obra por empresa. Os estudos de caso foram divididos em três fases, para possibilitar o aperfeiçoamento do método.

#### 4.2.2 Aperfeiçoamento do método

Em relação ao método de avaliação da produção de Costa (2005), algumas mudanças foram feitas baseadas nas críticas do autor e também no aprendizado dessa pesquisadora durante os testes e as aplicações práticas realizadas.

Em relação ao método de Costa (2005), foi percebida a necessidade de sua ampliação, com o objetivo de abranger também toda a seqüência de produção através de ferramentas de análise do sistema como um todo. A observação da produção com aplicação mecânica de argamassa durante o estudo de caso 1 e a observação da produção com aplicação manual nas visitas realizadas em outras obras evidenciou as diferenças entre os sistemas de produção como resultado, entre outras coisas, das necessidades das duas tecnologias de produção. Ficou clara a importância de uso desse tipo de ferramenta principalmente na avaliação do sistema de produção mecanizado, já que várias equipes trabalham em atividades especializadas, sendo uma cliente da outra. Portanto, as ferramentas mapeamento do fluxo de valor e simulação computacional do sistema foram acrescentadas ao método com o objetivo de abranger não somente os processos individuais, mas todo o sistema de produção.

É importante ressaltar que o método de Costa (2005) avaliou apenas a etapa de produção de massa única ou emboço/reboco. Já essa pesquisa estendeu a análise para outras etapas, como montagem e desmontagem de andaimes, preparação do substrato e chapisco. Como já dito, essas etapas tinham influência no processo de produção de massa única ou emboço/reboco e, portanto, foram analisadas para se ter uma visão mais ampla do processo.

A medição de desempenho do produto final através de ensaios para determinação da permeabilidade à água e da resistência de aderência à tração foi outra alteração em relação ao

método de avaliação de Costa (2005). Tal mudança ocorreu por necessidade de se conhecer as conseqüências dos diferentes processos, procedimentos e técnicas de produção para o desempenho do produto. Portanto, o desempenho do produto também foi utilizado para avaliar o sistema de produção.

A análise dos dados obtidos com o método de avaliação da produção seguiu alguns conceitos. Ao avaliar a qualidade, considerou-se a variabilidade dos resultados, que demonstrou o grau de confiabilidade do sistema. Além disso, foi considerada perda “qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão-de-obra e capital em quantidades superiores àquelas necessárias à produção da edificação” (FORMOSO et al., 1996, p.30).

### 4.3 O MÉTODO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO

O método de avaliação do sistema de produção de revestimento de fachada à base de argamassa contempla a medição de índices de desempenho e o levantamento de dados ao longo da produção, bem como a realização de ensaios e o monitoramento do produto final. Foram acompanhadas várias etapas de produção, desde a montagem de andaimes e preparação da superfície de fachada até a execução do revestimento e desmontagem dos andaimes.

As ferramentas de análise permitiram não só a caracterização dos sistemas de produção das empresas, mas também a identificação das dificuldades e problemas e suas possíveis causas e oportunidades de melhoria. Portanto, o modelo de avaliação do sistema está dividido em avaliação ao longo da produção, avaliação do produto final e determinação do potencial de melhoria (figura 16).



Figura 16: índices e dados levantados

O método procura abordar aspectos da produção em vários níveis de análise. A análise de processos utiliza as ferramentas diagrama de processos e mapofluxograma. A análise das operações emprega a ferramenta amostragem de trabalho. Também são abordadas questões

em nível de sistema, identificando a influência de outras etapas e da sincronização e ajuste da capacidade produtiva de cada etapa, ou seja, da seqüência de produção e dos fluxos que compõe o sistema de produção. Para tanto foi utilizada a ferramenta de simulação do sistema e o mapeamento do fluxo de valor. Além disso, o sistema é avaliado pela medição de índices de desempenho, como produtividade, perdas e custos, e também através de ensaios para determinação da qualidade do produto final. A figura 17 contempla tais níveis de análise, bem como as ferramentas e tabelas de registro de dados utilizadas.



Figura 17: ferramentas de avaliação

Como a estratégia dessa pesquisa é o estudo de caso, utilizaram-se várias fontes de evidência para obter informações. Yin (2001) sugere dentro do possível o uso de seis fontes de evidências para que se obtenha um bom estudo de caso, a documentação, o registro em arquivos, entrevistas, observações diretas, observações participantes e artefatos físicos. O método proposto utiliza-se de entrevistas, de anotações de campo, de observações diretas e de registro de imagens para complementar a análise dos dados obtidos com outras ferramentas e ensaios.

É importante salientar que o método proposto objetiva ser útil tanto na avaliação da introdução de novas tecnologias de produção de revestimentos de fachada à base de argamassa quanto na implantação de melhorias.

As ferramentas e os métodos utilizados para medição e análise dos dados, bem como para definição dos índices de desempenho do processo são descritos a seguir.

### 4.3.1 Descrição do sistema de produção

Para Rother e Shook (2000), é importante começar os trabalhos pela análise de fluxo do valor para depois se estudar os processos com mais detalhes. Enquanto isso, Shingo (1996) recomenda que as melhorias devam começar pelo processo, já que as operações desempenham um papel suplementar. Baseado nisso, o método de avaliação da produção propõe o uso inicial de algumas ferramentas, as quais são fundamentais para a descrição e entendimento do sistema de produção, guiando o pesquisador a focar primeiro no conjunto dos processos e posteriormente nos processos individuais.

Uma das ferramentas utilizadas para visualização e entendimento do sistema de produção foi o mapeamento do fluxo de valor. Seu uso possibilitou a análise tanto do fluxo de material como o de informação num determinado momento da produção. É importante ressaltar que esse estudo abrangeu apenas os processos associados à produção de revestimento externo. No entanto, as melhorias devem abranger o sistema de produção de toda a edificação, ou seja, a análise deve envolver os demais processos e subsistemas.

Outra ferramenta empregada foi a simulação computacional. Para isso, foi utilizado o *software* Arena®, da Rockwell Software Inc. Esse programa vem sendo testado pelo grupo de Gerenciamento e Economia da Construção do NORIE/UFRGS e, portanto, esse estudo participou das atividades de teste. Para a utilização do *software*, essa pesquisa contou com a ajuda do doutorando do NORIE/UFRGS Fábio Schramm.

A simulação teve como objetivo auxiliar na análise dos processos de montagem e desmontagem de andaimes, de produção do chapisco e de produção do revestimento de forma integrada, avaliando a seqüência de produção e a utilização dos recursos. Os dados de entrada continham os recursos disponíveis e os necessários em cada etapa do sistema, além da produtividade das equipes em cada tipo de fachada, considerando sua variabilidade diária. A distribuição estatística desses dados foi triangular, considerando a variabilidade do sistema de produção. A distribuição triangular é utilizada quando se conhecem os valores mínimo, máximo e mais provável para a variável. Os dados de entrada foram registrados através do cartão de produção, que eram preenchidos diariamente pela pesquisadora.

Tanto o mapeamento do fluxo de valor quanto a simulação computacional podem ser utilizadas também na avaliação de projetos e melhorias do sistema de produção. Segundo Rother e Shook (1999), analisar o estado atual da produção é um esforço válido apenas se o conhecimento adquirido for aplicado no projeto do estado futuro da mesma.

Cabe ressaltar que a simulação computacional requer a aquisição de um *software* e de um computador, enquanto o mapeamento do fluxo de valor não exige investimentos.

Para focar os processos, foram utilizados o mapofluxograma e o diagrama de processos. O primeiro, através da representação dos processos num determinado espaço, permitiu a visualização da distribuição física das atividades e fluxos, auxiliando a pesquisadora na análise do *layout*. Já o diagrama de processos possibilitou à pesquisadora dar foco ao fluxo de materiais e componentes que compõem um processo durante a produção.

### 4.3.2 Produtividade

Nesse estudo, a medição da produtividade da mão-de-obra foi realizada com o auxílio do cartão de produção, o qual era preenchido pela própria pesquisadora. O modelo de cartão proposto (figura 18) baseia-se nos trabalhos de Costa (2005) e Santos (1995b). Diariamente era registrado o volume de produção, os equipamentos utilizados e o tempo efetivamente trabalhado em determinada atividade. Assim, é possível determinar a produtividade de um operário ou equipe de trabalho e os recursos necessários.

Cartão de Produção						
Empresa:		Obra:		Subsistema:		
Data:		Turno:		Método:		Observador:
Atividade	funcionários	Local	Equipam.	Hora início e fim	Total h	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Representação gráfica da produção:

Figura 18: modelo de cartão de produção

Nessa pesquisa, a produtividade foi determinada através de dois índices, Hh/m<sup>2</sup> e m<sup>2</sup>/dia por pedreiro. O primeiro tem como foco a equipe de produção, considerando o tempo efetivamente utilizado pelos operários para a produção de cada pano<sup>16</sup> de fachada.

<sup>16</sup> Foi definido como pano a porção da fachada localizada em uma mesma face e acessada pelo mesmo equipamento de transporte vertical, contemplando todos os pavimentos daquela superfície.

Foram considerados para cálculo desse índice os operários envolvidos nas diversas etapas de produção, como montagem e desmontagem de andaime, preparação dos panos de fachada, produção de argamassa e produção de massa única ou emboço/reboco à base de argamassa, tendo como objetivo identificar o desempenho de todo o sistema. No entanto, como a pesquisa de Costa (2005) considerou a produtividade apenas da produção de massa única ou emboço/reboco, esse índice também foi informado nesse estudo para comparação. O cálculo desses índices de produtividade seguiu a equação 2:

$$\text{Produtividade} = \text{Hh}/\text{A} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo: Hh = homens-hora utilizados na produção (Hh)

A = área de fachada produzida (m<sup>2</sup>)

O segundo índice considerado, m<sup>2</sup>/dia por pedreiro, é bastante utilizado pelas empresas de Porto Alegre por sua simplicidade, facilitando o controle diário. Tal índice é calculado pela equação 3.

$$\text{Produtividade} = \text{A}/\text{N pedreiros} \quad (\text{equação 3})$$

Sendo: N pedreiros = número de pedreiros da equipe

A = área de fachada produzida por dia (m<sup>2</sup>/dia)

Cabe ressaltar que essa forma de cálculo considera apenas o número de pedreiros envolvidos na etapa de produção de revestimento, desconsiderando as horas efetivamente trabalhadas, assim como os demais operários envolvidos. Portanto, a produtividade é calculada a partir da mão-de-obra dos pedreiros da etapa de produção do revestimento à base de argamassa, desconsiderando o sistema como um todo.

Além da média de produtividade obtida na obra, foi calculada a produtividade por pano de fachada com o objetivo de analisar sua variabilidade. Com isso, é possível comparar os índices nos diferentes tipos de fachada e com determinados recursos, gerando dados para planejamentos futuros.

A superfície produzida também era registrada na representação gráfica da fachada no cartão de produção (figura 19). Esse mapeamento da produção diária permite também comparar as anotações de campo e do clima com o registro de falhas e desempenho do produto.

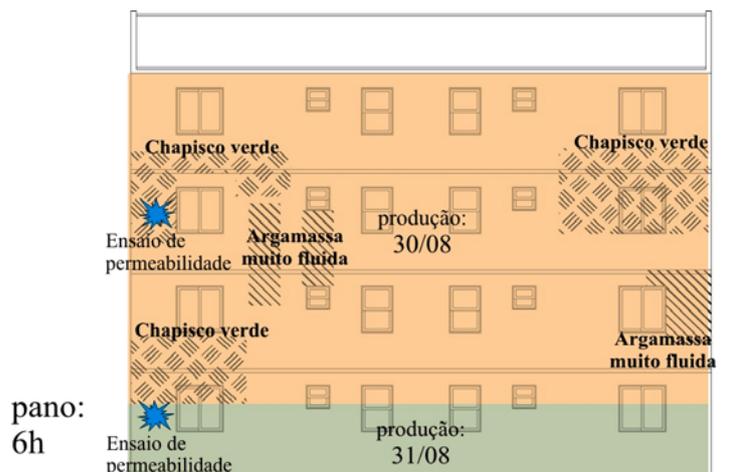


Figura 19: exemplo de representação gráfica da produção

### 4.3.3 Consumo de material

Foi realizado um acompanhamento simples da argamassa consumida na etapa de produção de massa única ou emboço/reboco através de contagem e registro diário com o auxílio dos operários envolvidos na produção. Para tanto, era solicitado aos mesmos que anotassem a quantidade de argamassa produzida em planilha fornecida pela pesquisadora. Esses dados puderam ser comparados à produção diária de revestimento de argamassa, gerando informações quanto ao consumo de argamassa. Nessa pesquisa, o levantamento dos dados do sistema mecanizado tanto do estudo de caso 1 como do estudo de caso 2 foi facilitado pela organização da central de produção, a qual atendia apenas uma equipe. Portanto, toda argamassa produzida era consumida pela mesma equipe. Já no sistema manual do estudo de caso 2, a central de argamassa atendia várias equipes de produção, não apenas as equipes em estudo. Com isso, o registro não teve a mesma precisão que o anterior, já que era calculado pelo volume de argamassa no carrinho ao sair da central.

### 4.3.4 Perdas

O levantamento de perdas nesse estudo considerou as perdas de material, equipamentos e mão-de-obra. Em relação às perdas de material, foi levantado apenas o desperdício de argamassa para a produção de massa única ou emboço/reboco, por ser esse o principal material utilizado na produção. Admitiu-se que outros materiais têm menor importância econômica e, portanto, o custo para seu controle não é viável. Essas perdas foram divididas em perdas durante o processo e perdas por espessura excessiva.

Para cálculo do índice de perdas de argamassa (equação 4) durante o processo de produção foram quantificados os recursos previstos e os efetivamente consumidos, isto é, transformados em produto final. O cálculo de argamassa efetivamente consumida baseou-se no consumo previsto indicado pelo fabricante em kg/m<sup>2</sup> por cm de revestimento.

$$P_{\text{processo}} = [MC - (CP \times A \times E_{\text{media}})] / (CP \times A \times E_{\text{media}}) \quad (\text{equação 4})$$

Sendo:  $P_{\text{processo}}$  = perdas durante o processo (%)

MC = material consumido (Kg)

$E_{\text{media}}$  = espessura média real (cm)

A = área de fachada produzida (m<sup>2</sup>)

CP = Consumo de argamassa previsto por m<sup>2</sup> por cm de espessura (Kg)

No sistema chamado de mecanizado, em função da sua organização, foi possível dividir o índice de perdas de material em três etapas, conforme o processo de produção (figura 20).

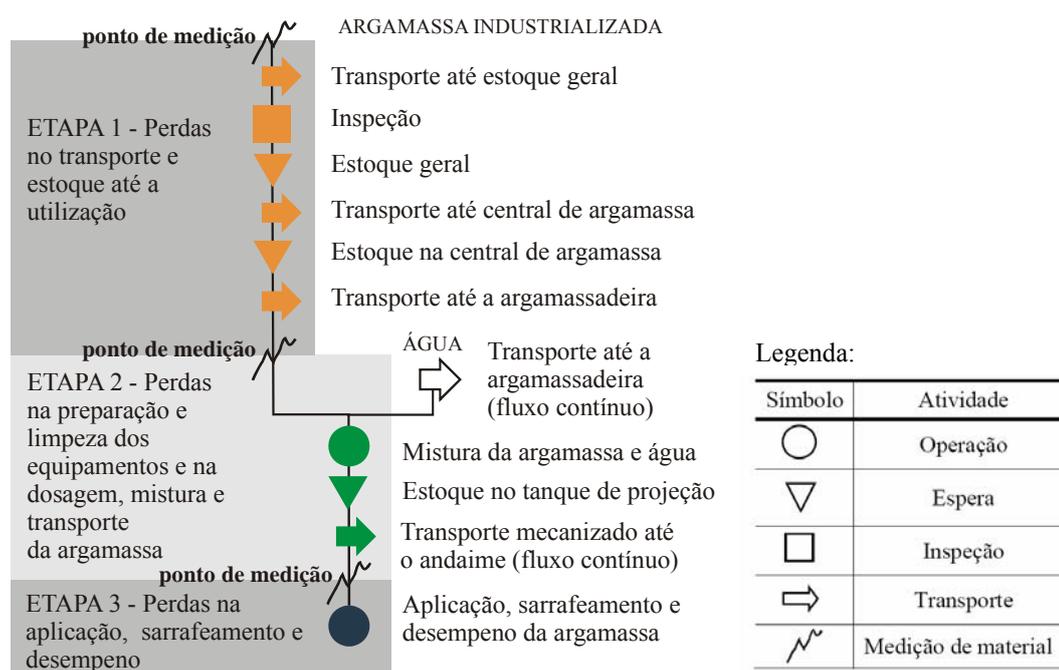


Figura 20: perdas conforme etapas do diagrama de processo

As perdas da etapa 1 ocorriam durante as atividades realizadas do estoque geral de material até o transporte de argamassa para a argamassadeira. As da etapa 2 ocorriam da mistura da argamassa na argamassadeira até o transporte do material para o andaime. Já as perdas da etapa 3 ocorriam na aplicação, sarrafeamento e desempenho do material. Essa divisão tem como objetivo localizar onde estão as causas das perdas.

Esse levantamento, em função da sua complexidade, era realizado pela pesquisadora, que anotava em planilha (figura 21) as perdas identificadas. Para tanto, era registrado o número de sacos no estoque geral e o número de sacos que eram efetivamente utilizados pela central de argamassa na produção de argamassa. Além disso, era medido o volume de argamassa fresca perdida em função de sobra de material no tanque e no mangote da bomba de projeção, na limpeza e desentupimento dos equipamentos e na correção da dosagem de água da argamassa. O volume de argamassa seca perdida na limpeza da argamassadeira também era registrado.

Perda de argamassa		
Empresa:	Obra:	Subsistema: Revestimento de fachada de argamassa
Data:	Turno:	Método: Observador:
Etapa:	Local:	
Perdas no transporte e estoque até a utilização na argamassadeira		
Sacos no estoque geral:	Sacos deteriorados:	Sacos utilizados na central:
Perdas na preparação e limpeza dos equipamentos e na dosagem, mistura e transporte de argamassa		
Argamassa seca inicial:	Argamassa fresca inicial:	Argamassa reaproveitada:
Sobra argamassa seca:	Sobra argamassa fresca:	Sacos deteriorados:
Perda na mangueira:	Perda no canhão:	Perda dosagem:

Figura 21: planilha de registro de perdas de argamassa

Essa análise não foi feita para o sistema manual. Pois no estudo de caso 2 dessa pesquisa, onde o sistema manual foi avaliado, os dois sistemas estavam trabalhando simultaneamente, tornando o levantamento de dados intenso demais para a pesquisadora. Portanto, optou-se pela avaliação apenas do sistema mecanizado.

Além do levantamento de perdas ao longo do processo de produção, foram levantadas as perdas de argamassa por espessura excessiva. Dentro do conceito de perdas, as espessuras de revestimento que ultrapassam as especificações e, portanto, são desnecessárias ao bom comportamento do produto final, são consideradas perdas.

As perdas por espessura excessiva de revestimento foram determinadas através da medição de espessuras em obra e sua comparação às espessuras de projeto. No entanto, quando a espessura não era especificada em projeto, o método de avaliação considerou como espessura excessiva valores superiores a 3 cm, conforme recomendação de espessura máxima da NBR 13749 (ABNT, 1996). Por outro lado, a mesma norma especifica espessura mínima de 2cm, portanto, espessuras inferiores a esse valor foram consideradas falhas na produção.

Esse levantamento era feito diariamente pela pesquisadora ao término do sarrafeamento. No entanto, as empresas que implantarem esse sistema de avaliação podem treinar os operários

para que realizem essa atividade. Como o sistema construtivo convencional para a construção de edifícios de múltiplos andares costuma gerar diferenças no alinhamento da alvenaria e da estrutura até no mesmo pavimento, foram utilizados dois pontos de coleta de espessura na parte inferior e dois na parte superior da alvenaria em cada pavimento (figura 22). Foi observado que o custo de levantamento de espessuras é pequeno e pode contribuir com informações importantes para o controle das mesmas.

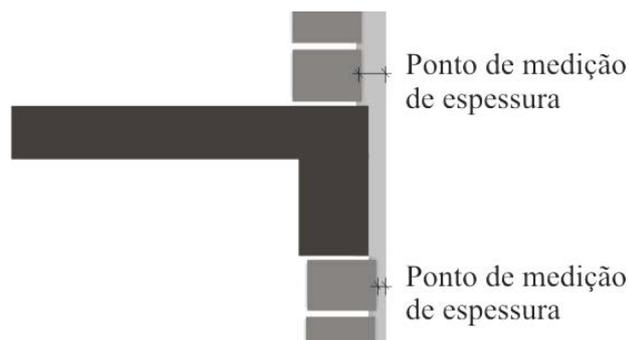


Figura 22: corte da fachada com pontos de medição de espessura

Para cálculo das perdas por espessura excessiva foi utilizada a espessura média obtida (equação 5) e admitido tal valor para a área total de revestimento de fachada. A dispersão dessas espessuras em torno da meta é utilizada como indicador de qualidade e de conformidade da produção.

$$P_{\text{espessura}} = [(E_{\text{media}} - E_{\text{espec}}) \times A \times CP] / (E_{\text{espec}} \times A \times CP) \quad (\text{equação 5})$$

Sendo:  $P_{\text{espessura}}$  = perda em espessura excessiva (%)

$E_{\text{media}}$  = espessura média real (cm)

$E_{\text{espec}}$  = espessura especificada (cm)

$A$  = área de fachada produzida (m<sup>2</sup>)

$CP$  = Consumo de argamassa previsto por m<sup>2</sup>

Por fim, como visto, as perdas globais de argamassa nesse estudo consideraram a perda ocorrida durante o processo de produção e a perda incorporada ao produto através de espessuras excessivas.

Já para determinação das perdas de mão-de-obra e de equipamentos na etapa de produção de massa única ou emboço/reboco, o consumo de tais recursos foi comparado aos consumos normais na construção civil. Uma ferramenta que auxilia na determinação de tais índices de perdas é a amostragem de trabalho. Essa ferramenta foi utilizada com o mesmo objetivo que



dos serventes. Os tempos auxiliares dos serventes não foram analisados como perdas, já que os mesmos possuem função tipicamente auxiliar e não produtiva.

A amostragem de trabalho foi realizada apenas durante a mobilização das equipes. Isso objetivava avaliar o sistema com o mesmo em funcionamento. Já a quantificação do tempo que as equipes estavam desmobilizadas, ou seja, não estavam trabalhando apesar de ser horário de expediente, foi obtida pelos registros do cartão de produção.

O consumo de mão-de-obra e equipamentos para a execução de revestimentos com espessura excessiva e para a produção da argamassa que foi perdida ao longo do processo e para a produção da argamassa que foi incorporada como espessura excessiva também deve ser considerado perda. No entanto, uma quantificação precisa de tais perdas não foi possível, pois a produção de revestimentos com “X”% de espessura excessiva não corresponde a uma perda de mão-de-obra e equipamentos em “X”%. Assim como a produção de “X”% de argamassa perdida não corresponde a uma perda de “X”% em mão-de-obra e equipamentos. Portanto, essas perdas não foram estimadas.

Além disso, a observação da produção com aplicação mecânica de argamassa durante o estudo de caso 1 evidenciou a necessidade de ampliação da análise de perdas de mão-de-obra e equipamentos no estudo de caso 2 com o objetivo de abranger as perdas entre as etapas do sistema de produção. Portanto, além do levantamento de perdas durante a etapa de execução do emboço, foram levantadas as perdas por ociosidade das equipes e equipamentos em função da falta de sincronização entre as equipes. Para isso, foram utilizados os dados obtidos com o cartão de produção e a simulação computacional dos sistemas.

#### 4.3.5 Falhas no produto final

Uma das avaliações do processo de produção foi feita através do monitoramento de falhas no produto final. Nesse estudo foi considerada falha as manifestações patológicas encontradas no revestimento pronto. O levantamento dessas falhas foi realizado pela pesquisadora através da inspeção visual do revestimento e do registro das mesmas em planilha e na representação gráfica das fachadas. Foi registrado o tipo de falha e a quantidade encontrada em cada pano. No caso da presença de fissuras, foi registrado o número de fissuras.

O levantamento de dados foi realizado em dois momentos distintos, mas dentro das possibilidades de acesso à fachada. O primeiro logo após a produção do revestimento, entre 24 e 48h. O segundo em 28 dias. Com isso pretendeu-se registrar tanto as falhas que

apareceram durante a cura do revestimento, período de retração inicial, quanto aquelas visíveis após um período maior de interação do revestimento com o ambiente.

Esse levantamento é importante porque a presença de manifestações patológicas pode indicar problemas no projeto, na matéria-prima ou no processo de produção. O acompanhamento da execução do revestimento e as anotações de campo possibilitaram a indicação de possíveis causas para as falhas encontradas no produto final, oportunizando o aperfeiçoamento da tecnologia e do processo de produção através da geração de informações relevantes.

Para complementar as anotações de campo, foi criada uma planilha de acompanhamento das condições climáticas diárias. Nessa planilha são anotadas temperatura, umidade e insolação durante a produção das etapas de chapisco e massa única ou emboço/reboco e sua cura. Esse procedimento pode auxiliar em investigações sobre as causas das falhas encontradas no revestimento pronto, já que as condições climáticas têm influência direta sobre os resultados de qualidade do produto.

#### 4.3.6 Desempenho do produto final

Outra forma de avaliar o processo de produção é pelo desempenho mecânico do revestimento. Para tanto, foram realizados ensaios de determinação da resistência de aderência ao substrato e de permeabilidade à água. A partir dos conceitos relativos à permeabilidade e à aderência, pode-se afirmar que o subsistema revestimento exige uma base com características superficiais, como porosidade e rugosidade, que atendam à suficiente ancoragem do mesmo. Por outro lado, o revestimento deve ser menos poroso que a base para que tenha menor permeabilidade e, ao mesmo tempo, deve possuir coeficiente de deformação compatível com a mesma, evitando a fissuração do revestimento e o comprometimento das suas funções.

Assim, o conceito de desempenho do produto revestimento utilizado nesse estudo, está associado ao desempenho do sistema de vedação como um todo. Tal desempenho depende das características dos materiais do sistema de vedação e de revestimento, da técnica construtiva, do processo de produção e seu controle, da mão-de-obra e das condições climáticas, mas também da interação entre eles. Apesar de estar sendo utilizado o conceito de desempenho do produto para avaliar o sistema de produção, é necessário considerar que existem outras variáveis interferindo no mesmo. Portanto, a variabilidade dos resultados não indica apenas a variabilidade do processo de produção.

Para análise dos resultados também foram utilizadas as anotações de campo e as informações da planilha de acompanhamento das condições climáticas diárias durante a produção do chapisco e da massa única ou emboço/reboco e durante a cura dos mesmos.

A resistência de aderência à tração do revestimento ao substrato foi determinada através do ensaio prescrito na norma NBR 13528 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração (ABNT, 1995). O ensaio é realizado no revestimento pronto, aos 28 dias, procurando determinar o grau de uniformidade do mesmo e o comportamento ao longo da fachada.

A carga e a forma de ruptura dos corpos-de-prova estão apresentadas nos anexos H e I do CD-ROM. Para corte dos corpos-de-prova de revestimento foi necessária a ajuda de um laboratorista do NORIE/UFRGS. Já para a ruptura, a Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC forneceu o aderímetro digital e dois laboratoristas. Ressaltam-se três aspectos na realização do ensaio em obra: a dificuldade em manter a horizontalidade no corte dos corpos-de-prova, o considerável peso do equipamento de tração (figura 24a) e as eventuais falhas na colagem das pastilhas no revestimento (figura 24b). Os dois primeiros aspectos podem interferir nos resultados do ensaio, enquanto o último pode requerer que seja repetida a etapa de colagem das pastilhas, atrasando o mesmo.

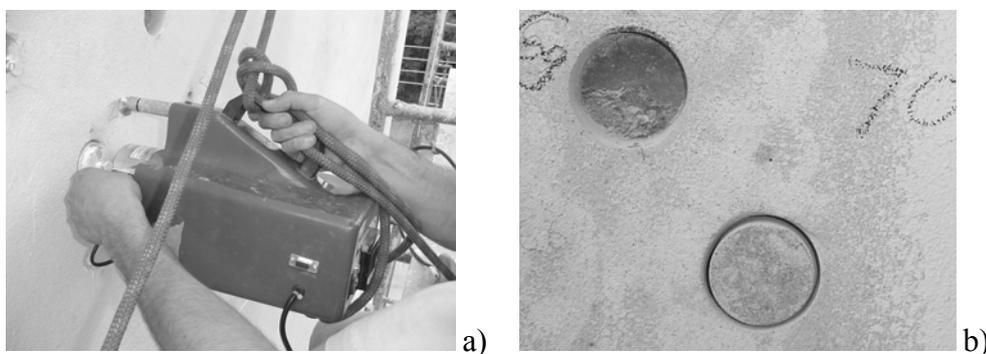


Figura 24: equipamento de ensaio (a) e de corte dos corpos-de-prova (b)

Apesar da NBR 13528 (ABNT, 1995) determinar que para o cálculo da média de resistência de aderência sejam utilizados somente os resultados dos corpos-de-prova que apresentarem a ruptura na interface revestimento/substrato, esse estudo considerou os corpos-de-prova com vários tipos de ruptura, exceto na interface cola/pastilha. Portanto, apesar dessa média estar sendo chamada de resistência de aderência, está sendo determinada a resistência à tração do sistema de revestimento como um todo.

A determinação da permeabilidade à água do revestimento considerou apenas a absorção de água por capilaridade, já que essa é a principal forma de penetração de água em materiais porosos. O ensaio foi realizado aos 28 dias pelo “método do cachimbo” (figura 25), proposto pelo Centre Scientifique et Technique de la Construction – CSTC em 1977 (POLISSENI, 1986). Segundo CSTC (1982b), esse ensaio mede a porosidade superficial do revestimento tanto em obra quanto em laboratório.

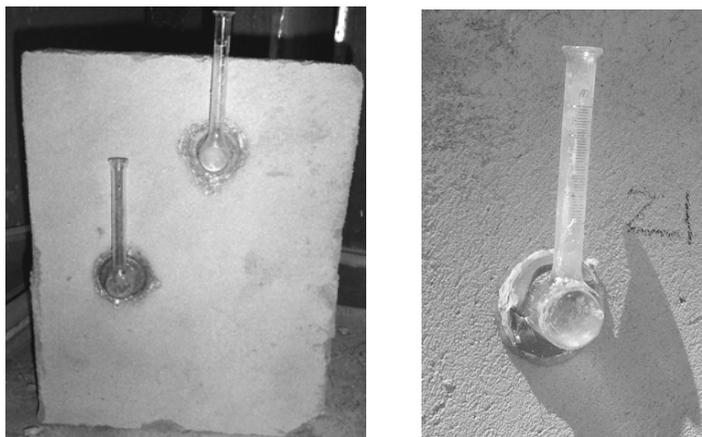


Figura 25: ensaio com o "método do cachimbo"

No entanto, nessa pesquisa houve dificuldade na realização do ensaio em obra. A superfície do revestimento do estudo de caso 1 não era desempenada, apresentando irregularidades e comprometendo a vedação e colagem dos cachimbos. O ensaio também era sensível às variações de temperatura, umidade e insolação. Portanto, seu uso em ambientes não controlados gera grande variabilidade nos resultados.

Além disso, a área superficial variava em função das características da base e pelo formato do cachimbo de vidro, o qual permitia que o elemento de vedação (silicone, massa de calafetar ou outro) determinasse o tamanho da área de contato. Para minimizar o problema, o projeto do cachimbo de vidro foi modificado, removendo a aba fixa do mesmo e adicionando uma aba móvel, conforme pode ser visualizado na figura 26.

Com os resultados dos dois ensaios, resistência de aderência à tração e permeabilidade à água, fez-se a análise estatística de variância (ANOVA). No entanto, por esses estudos não serem experimentais, essa análise foi limitada, ou seja, não foram testados os efeitos isolados das variáveis de estudo.

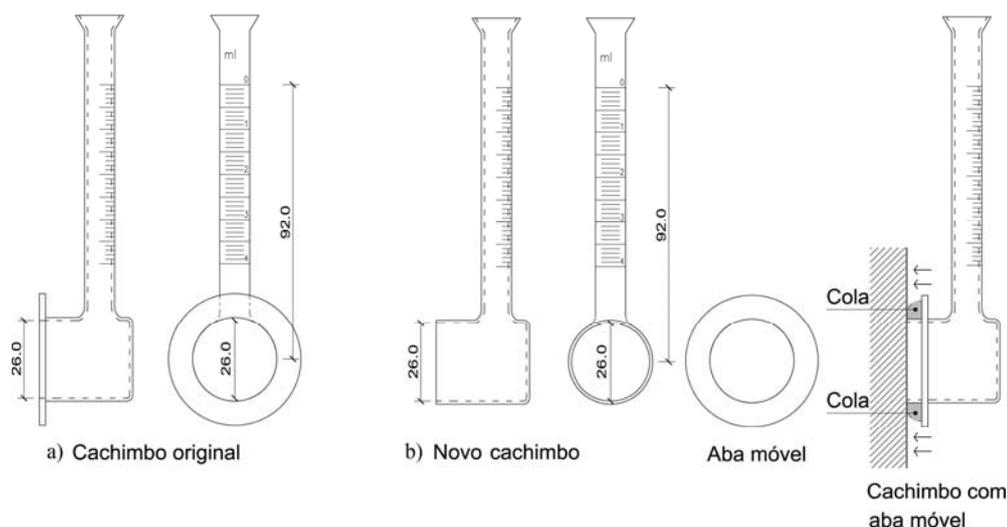


Figura 26: cachimbo original (a) e cachimbo novo com aba móvel (b)

#### 4.3.7 Custos

O cálculo dos custos considerou os recursos utilizados diretamente na execução de revestimento de massa única ou emboço/reboco, permitindo a comparação dos diferentes tipos de aplicação de argamassa, mecanizada e manual, para produção de massa única ou emboço/reboco. O mesmo foi dividido em custo dos recursos efetivamente utilizados na produção e custos dos recursos ociosos quando houve a desmobilização das equipes ou o remanejamento das mesmas para outras atividades não planejadas. Com isso foi possível comparar o custo do sistema em funcionamento com o do desempenho real em obra.

Para o cálculo foi considerado o custo da argamassa consumida e o custo por hora dos equipamentos e da mão-de-obra. O consumo desses recursos foi levantado com o auxílio de outras ferramentas, como o cartão de produção e o controle de consumo de argamassa.

O custo de mão-de-obra considerou o salário estipulado pelo Sinduscon-RS em outubro de 2006, bem como as taxas de leis sociais e riscos do trabalho. Com isso, foi possível comparar tal custo ao de sistemas de produção de outras empresas. Para equipamentos e materiais foram utilizados os valores informados pela empresa em estudo considerando o frete. Ressalta-se que, tanto no estudo de caso 1 como no estudo de caso 2, a fabricante de argamassa disponibilizava tanto o seu produto quanto equipamentos de projeção de argamassa com custo abaixo do preço normal de mercado, pois a mesma possuía parceria com o fornecedor de equipamentos e tinha o objetivo de disseminar esse sistema entre as empresas construtoras.

#### 4.3.8 Potencial de melhoria do sistema

Além da identificação do atual desempenho dos sistemas avaliados, as ferramentas de análise dos sistemas, processos e operações permitiu identificar possibilidades de melhoria. Para avaliação ampla do sistema, as ferramentas utilizadas foram a simulação computacional e o mapeamento do fluxo de valor. O diagrama de processos e o mapofluxograma destinaram-se à análise de processos, enquanto a amostragem de trabalho avaliou as operações.

Além disso, foram aplicadas listas de verificações de boas práticas, as quais foram preenchidas através das observações da pesquisadora em obra e por entrevista com o gerente ou engenheiro responsável. Assim como na pesquisa de Costa (2005), foi utilizada uma lista de verificação de boas práticas em produção de argamassa e execução de revestimento de fachada de argamassa, a qual foi adaptada por aquele autor a partir de estudos desenvolvidos por Agopyan et al. (1998). A utilização dessa lista possibilitou a comparação dos dados aqui levantados aos resultados da avaliação de Costa (2005) em oito empresas de Porto Alegre, as quais utilizavam sistemas convencionais de produção. Além disso, a comparação entre os resultados da aplicação da lista de verificação nos sistemas mecanizado e manual permitiu identificar boas práticas e falhas de cada um, identificando diferenças entre eles.

#### 4.3.9 Fontes de evidência

Várias fontes de evidência foram utilizadas ao longo do estudo para complementar a análise dos dados obtidos com outras ferramentas e ensaios, como anotações de campo, registro de imagens e entrevistas. É possível complementar os dados obtidos com outras ferramentas de análise do sistema produtivo através de observações diretas do processo, sendo esses dados documentados por fotos, filmagem e anotações.

“Uma das mais importantes fontes de informações para um estudo de caso são as entrevistas” (YIN, 2001, p.112). No entanto, segundo Yin (2001), deve-se ter cuidado com alguns pontos fracos desse tipo de fonte de evidência, ou seja, questões mal elaboradas, respostas imprecisas por problemas de memória do entrevistado e respostas falsas, pois o entrevistado pode querer responder o que o entrevistador quer ouvir.

Nessa pesquisa as entrevistas realizadas com os participantes do processo complementaram a percepção do pesquisador. Para obter diversos pontos de vista, foram entrevistados tanto serventes e pedreiros quanto engenheiros e gerentes de obra. Para tanto, diferentes formas de abordagem foram ser utilizadas. Conversas informais frequentes com os operários diretamente

envolvidos na produção puderam revelar informações importantes sobre a percepção das pessoas. Já as entrevistas semi-estruturadas, que foram realizadas com o gerente ou engenheiro da obra, permitiram o planejamento dos assuntos a serem abordados, assim como a participação ativa do pesquisador com o intuito de esclarecer melhor as questões abordadas.

#### 4.4 RESUMO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

O resumo das ferramentas a serem utilizadas na avaliação do sistema produtivo está representado na figura 27.

	<b>Índices e dados</b>	<b>Ferramentas e tabelas</b>
<b>Caracterização do sistema de produção</b>	Descrição do sistema	Simulação do sistema Mapeamento do fluxo de valor Mapofluxograma Diagrama de processos
	Produtividade das equipes e equipamentos	Cartão de produção
	Consumo de material	Tabela de consumo de material Tabela de espessuras
	Custos	Tabela de custos
	Perdas	Amostragem de trabalho Tabela de perdas de material Simulação do sistema
	Falhas no produto	Inspeção visual de falhas Tabela de condições do tempo
	Desempenho do produto	Ensaio de resistência de aderência Ensaio de permeabilidade à água Tabela de condições do tempo
<b>Determinação do potencial do sistema</b>	Oportunidades de melhorias do sistema de produção	Simulação do sistema Mapeamento do fluxo de valor Mapofluxograma Diagrama de processos Amostragem de trabalho Lista de verificações
	<b>Fontes de evidência</b>	<b>Anotações de campo</b> <b>Registro de imagens</b> <b>Entrevistas</b>

Figura 27: síntese do método de avaliação do processo de produção

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo abrange os dados e índices obtidos tanto no estudo exploratório como nos estudos de caso, apresentando uma análise comparativa dos resultados do sistema com projeção mecânica e manual de argamassa para a produção de revestimentos de fachada.

### 5.1 PESQUISAS INICIAIS

As visitas às três obras de diferentes empresas que utilizavam o processo produtivo convencional para a produção de revestimento de fachada à base de argamassa e as entrevistas semi-estruturadas com os gerentes dessas obras permitiram à pesquisadora entender melhor esse sistema de produção, contribuindo com informações relevantes para a definição do método de avaliação da produção.

A entrevista com o representante de uma empresa construtora de Porto Alegre que já utilizou um sistema de produção de revestimentos de fachada à base de argamassa com uso de bomba de argamassa revelou o desapontamento do mesmo em relação às expectativas de desempenho do sistema. No entanto, também foi citado que o baixo desempenho pode ter sido causado por problemas de treinamento de mão-de-obra e de planejamento e, portanto, o sistema pode ter um potencial maior. Já a entrevista com um representante de uma empresa de São Paulo que estava empregando um sistema com uso de projetor com recipiente acoplado revelou que o mesmo estava satisfeito com os resultados de resistência de aderência à tração dos revestimentos executados. No entanto, um ponto negativo apontado foi o maior consumo de argamassa em relação ao sistema de produção com aplicação manual utilizado anteriormente pela empresa. O entrevistado apontou que tal consumo poderia ser decorrente da maior compactação proporcionada pela projeção mecânica de argamassa.

### 5.2 ESTUDO DE CASO 1

O estudo de caso 1, que possui caráter exploratório, foi realizado em uma empresa construtora de Porto Alegre, aqui chamada de empresa E, a qual estava utilizando pela primeira vez o sistema de produção de revestimento de fachada com projeção mecânica de argamassa. Durante a produção da primeira fachada, a leste, foi observada a implantação e funcionamento do sistema de produção com aplicação mecânica de argamassa e realizados testes das

ferramentas de avaliação. O estudo de caso foi desenvolvido a partir do acompanhamento da produção de revestimento de outras duas fachadas, o que levou cerca de cinco meses.

### 5.2.1 Características da empresa “E”

Nesse estudo, para simplificação, o sistema de produção com aplicação mecânica de argamassa foi chamado de “sistema mecanizado”. A empresa construtora participante possuía um padrão de procedimentos para execução de revestimentos de fachada com aplicação manual de argamassa. No entanto, não tinha a mesma documentação para o sistema mecanizado. Essa era a primeira vez que a empresa utilizaria essa tecnologia. Portanto, foi acompanhado tanto o processo de implantação como o de evolução desse sistema.

O estudo de caso 1 foi desenvolvido a partir do acompanhamento da produção das fachadas sul e oeste. Nessa pesquisa cada pano recebeu um número, a fachada sul possui os panos 8 a 20 e a fachada oeste os panos 21 a 27 (figura 28).

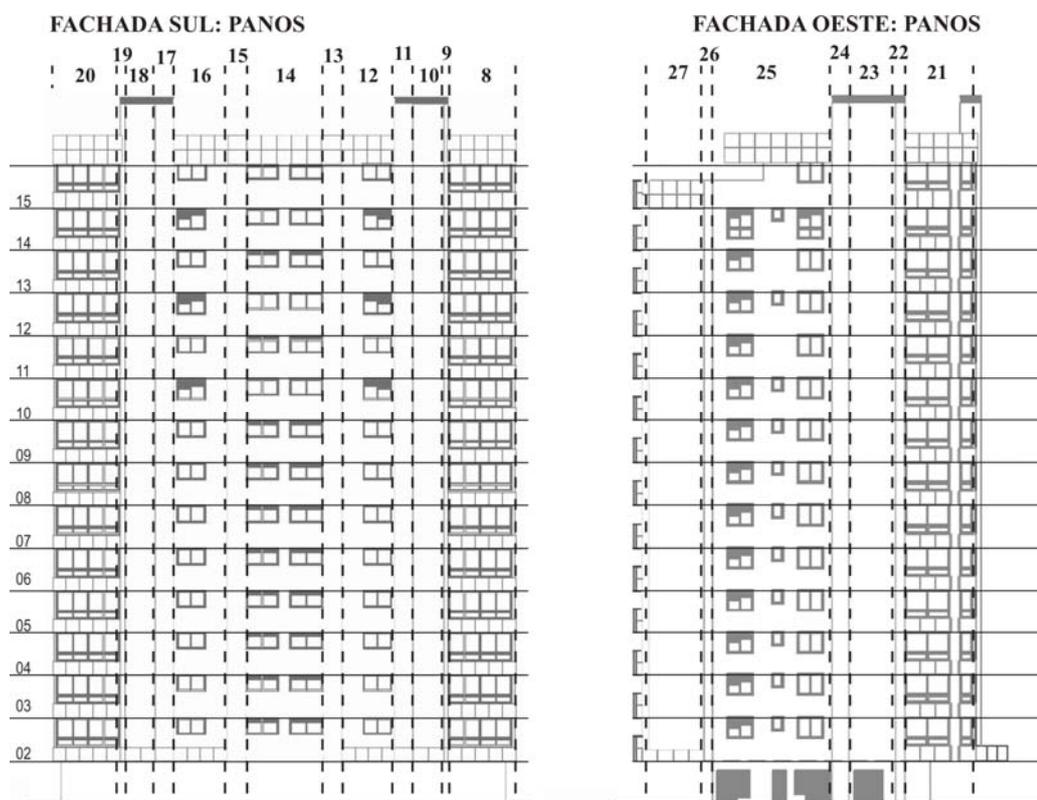


Figura 28: fachadas acompanhadas no estudo

A obra acompanhada era uma edificação de 15 pavimentos para habitação de alto padrão, construída em alvenaria de blocos cerâmicos, estrutura em concreto armado e laje protendida.

### 5.2.2 Características do sistema de produção

O sistema de produção de revestimento da empresa era organizado em etapas. A equipe de produção acompanhada era dividida em subequipes, as quais executavam diferentes etapas desse sistema.

As principais características da produção de revestimento nessa obra são:

- a) a central de produção de argamassa, composta de argamassadeira de eixo horizontal e bomba de projeção alugados e de reservatório de água, estava posicionada no último pavimento, 15º andar, pois o mangote da bomba de argamassa possuía 40 m, atendendo toda a fachada (figura 29a). A argamassa era servida tanto para a subequipe de projeção quanto para as subequipes de requadro, acabamento e eventual aplicação manual;
- b) era utilizado balancim elétrico (figura 29b);

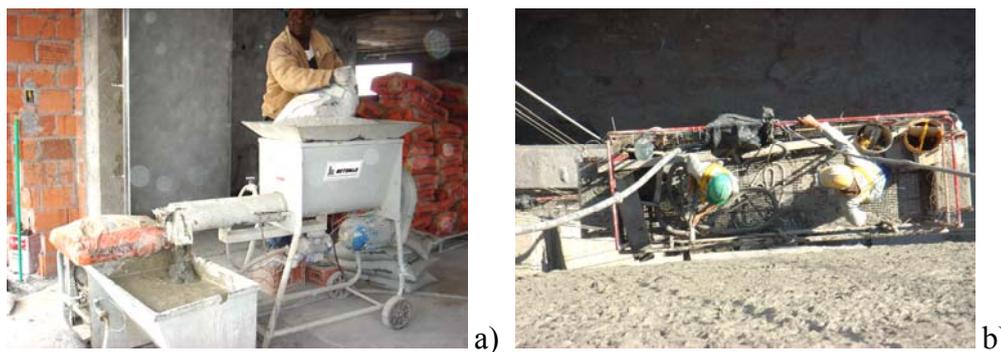


Figura 29: central de argamassa (a) e projeção de argamassa (b)

- c) era feita projeção mecânica para aplicação de chapisco e de massa única para revestimento;
- d) utilizava-se argamassa industrializada específica para projeção mecânica de argamassa de chapisco e de revestimento, a primeira era de um fabricante de Porto Alegre e a segunda de um fabricante nacional;
- e) a argamassa industrializada específica para projeção mecânica na execução de massa única para revestimento possuía, segundo o fabricante, resistência à compressão aos 28 dias conforme NBR 13279 (ABNT, 1995) de 4,9 MPa, capacidade de retenção de água conforme NBR 13277 (ABNT, 1995) de 94,4% e teor de ar incorporado conforme NBR 13278 (ABNT, 1995) de 22,1%;

- f) o depósito geral de materiais localizava-se no subsolo, o depósito intermediário no térreo e o depósito final no andar de utilização;
- g) o transporte vertical da matéria-prima era feito em elevador de carga;
- h) o revestimento de fachada era de massa única em argamassa e o acabamento era em pastilha cerâmica.

O uso de balancim inviabilizava o trabalho simultâneo de diferentes subequipes no mesmo pano de fachada, exigindo maior coordenação entre as subequipes. A figura 30 mostra a seqüência de produção realizada pelas subequipes desde a montagem do balancim até a produção do revestimento em massa única.



Figura 30: seqüência de preparação e produção do revestimento

Essa pesquisa abrangeu apenas as etapas da figura 30. Ou seja, não foram avaliadas as etapas de aplicação de pastilhas cerâmicas e acabamentos finais, as quais eram realizadas após o período de cura do revestimento de argamassa.

A seqüência de preparação da fachada possuía as seguintes etapas e características:

- a) montagem do balancim, feita por dois montadores especializados;
- b) encunhamento, preenchimento de vazios, remoção de saliências (figura 31a) e pintura das pontas de aço (figura 31b), feitos por um servente;
- c) escovação mecânica da superfície da estrutura de concreto, feita pelo mesmo servente (figura 32a);
- d) limpeza com jato de água fria, feita por outros dois ou três serventes (figura 32b);

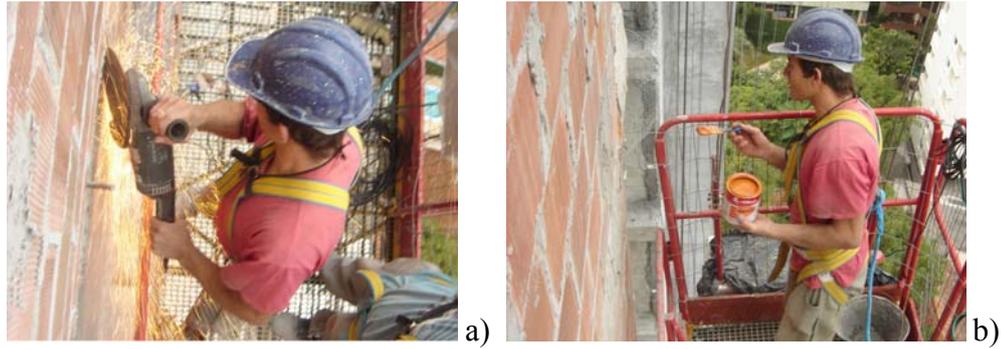


Figura 31: corte das saliências (a) e aplicação de zarcão (b)

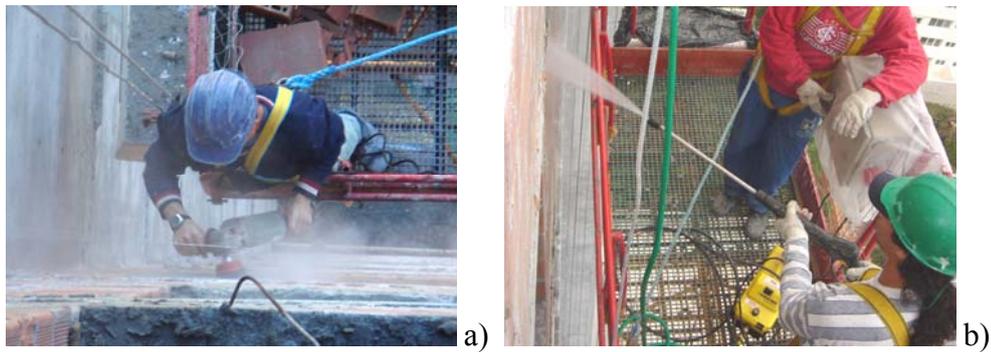


Figura 32: escovação da estrutura (a) e limpeza da fachada (b)

O chapisco era executado com aplicação mecanizada com bomba de argamassa e realizado pelos mesmos dois serventes da etapa de limpeza, auxiliados por um servente na central de argamassa (figura 33a), os quais foram treinados para essa atividade. A empresa aguardava pelo menos três dias para cura do chapisco antes de iniciar o revestimento. Nesse período, os mesmos dois serventes da etapa de chapisco fixavam tela de aço galvanizado na interface entre a estrutura e a alvenaria com o objetivo de distribuir as tensões geradas pelas movimentações diferenciais entre os materiais (figura 33b).



Figura 33: aplicação do chapisco (a) e aplicação de tela de aço (b)

A seqüência de execução do revestimento possuía as seguintes etapas e características:

- a) marcação da prumada do revestimento, feita por subequipe de dois pedreiros;
- b) execução das taliscas, feita pela mesma subequipe da prumada, com um ou dois pedreiros;
- c) execução de mestras, feita pela mesma subequipe da prumada e talisca, com um ou dois pedreiros (figura 34a);
- d) aplicação da argamassa de revestimento em duas ou três camadas, alisadas com régua metálica, feita pela mesma subequipe da prumada, talisca e mestra, com um ou dois pedreiros, mas auxiliados por dois ou três serventes na central de argamassa (figura 34b);

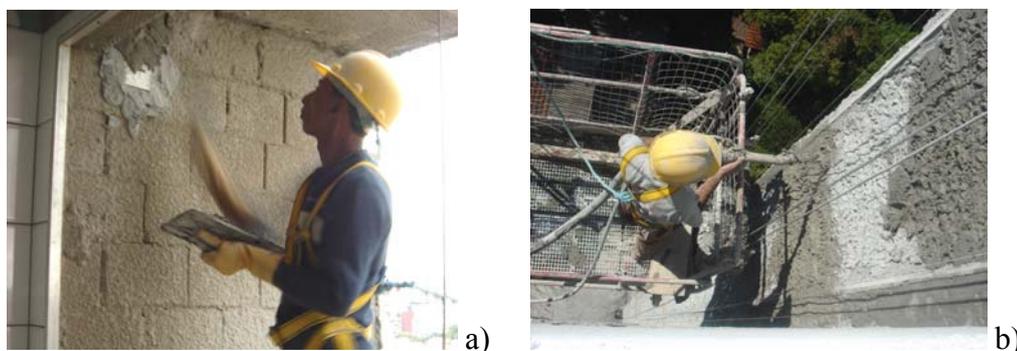


Figura 34: execução de taliscas e mestras (a) e projeção de argamassa (b)

- e) sarrafeamento da camada final, feito pela mesma subequipe das etapas anteriores, com um ou dois pedreiros (figura 35a);
- f) acabamentos da camada de massa única com arremate dos cantos e preenchimento das falhas com argamassa, feito pela mesma subequipe das etapas anteriores, com um ou dois pedreiros;
- g) requadros de janelas e portas, feito por outra subequipe, com um ou dois pedreiros.

Após a execução do revestimento em massa única, eram realizadas as etapas de aplicação do acabamento em pastilhas (figura 35b), instalação dos peitoris de granito nas janelas, execução dos acabamentos finais, limpeza da fachada com ácido muriático e desmontagem do balancim. Segundo recomendação da NBR 13755 (1996) e do fabricante da argamassa, o acabamento em pastilha só era iniciado após 14 dias de cura da camada de massa única.

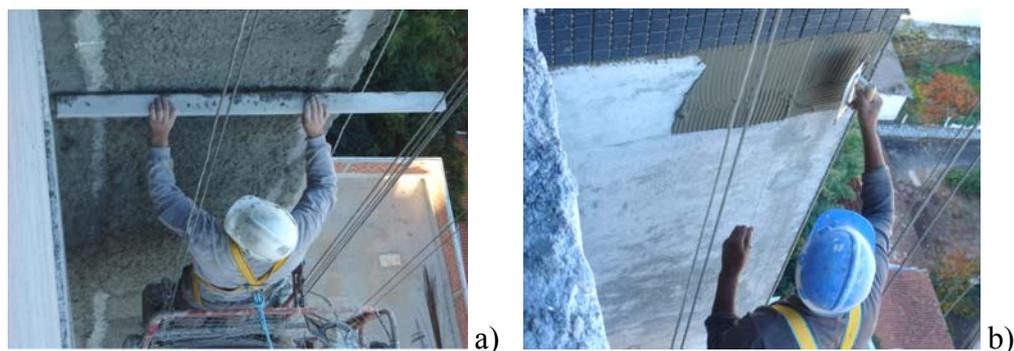


Figura 35: sarrafeamento (a) e aplicação de pastilhas cerâmicas (b)

Uma importante constatação em relação à seqüência de produção é que a mesma possuía um grande número de etapas e envolvia várias subequipes de produção. Isso implicava na necessidade de grande esforço de planejamento para tentar obter bom aproveitamento do potencial produtivo. Para isso, seria necessário dimensionar cada subequipe conforme a capacidade produtiva necessária, considerando que atrasos em uma etapa teriam conseqüências nas demais, podendo gerar perdas.

Informações sobre a forma de contratação da mão-de-obra são essenciais para entendimento dos resultados. As etapas de execução de limpeza da fachada com lava-jato, de chapisco e de revestimento em massa única foram terceirizadas para uma empresa especializada em projeção de argamassa, a qual subcontratou os serviços para dois empreiteiros, que eram pagos por produtividade. Um deles ficou responsável pela limpeza da fachada e execução do chapisco e outro para a execução do revestimento em argamassa. A aplicação de pastilhas cerâmicas para o acabamento final foi executada por outro empreiteiro, diretamente contratado pela empresa construtora. Já os balancins elétricos foram montados por empresa especializada, que mantinha um operário em obra para manutenção dos mesmos.

O mapofluxograma da figura 36 mostra o fluxo de argamassa no 15º pavimento, onde ficava posicionada a central de argamassa. O fluxo de argamassa nesse pavimento apresenta 10 atividades, dessas apenas 20% eram operações, isto é, atividades que agregavam valor ao produto. Observa-se que existiam dois estoques de argamassa seca, um junto ao elevador de carga, para tornar mais rápida a retirada de material do elevador e outro junto à central de argamassa para atender a produção diária. Existia ainda um estoque de argamassa fresca no tanque da bomba de argamassa com o objetivo de garantir o fornecimento à subequipe de projeção. Segundo a empresa construtora, esse sistema liberava o elevador de carga nos horários de maior utilização do mesmo, o que não costuma ocorrer em sistemas onde a argamassa fresca é distribuída aos andares mediante o elevador.

## LEGENDA:

- 1 - transporte vertical de argamassa no elevador de carga;
- 2 - transporte até estoque;
- 3 - estoque de argamassa junto ao elevador de carga;
- 4 - transporte até central de argamassa;
- 5 - estoque na central de argamassa;
- 6 - transporte da argamassa até a argamassadeira;
- 7 - operação de produção de argamassa;
- 8 - estoque da argamassa fresca na bomba de projeção;
- 9 - transporte da argamassa fresca pelo mangote até o balancim;
- 10 - operação de aplicação da argamassa na fachada.

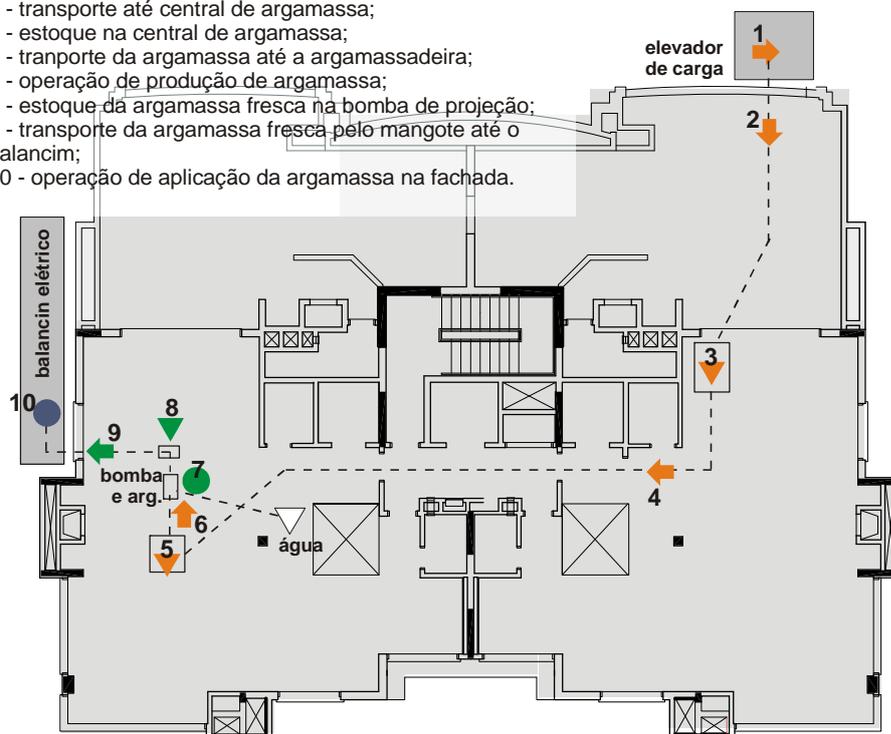


Figura 36: mapofluxograma no 15º pavimento

Uma das vantagens desse sistema é a mecanização do transporte de argamassa fresca, a mesma é feita através dos mangotes, dispensando o uso de gericas e de estoques intermediários de argamassa, comuns no sistema tradicional de produção.

### 5.2.3 Produtividade

O sistema de produção de revestimento da empresa “E” obteve média de produtividade de 1,67 Hh/m<sup>2</sup> na produção de cinco panos de fachada (608,70 m<sup>2</sup>), considerando a mão-de-obra de todo o sistema (tabela 5), ou seja, da montagem e desmontagem de balancim, da preparação da fachada, da produção de chapisco, da colocação de tela, da execução do revestimento em massa única e da produção de argamassa. No entanto, o índice em m<sup>2</sup>/dia por pedreiro não foi calculado nessa empresa pela falta de estabilidade do processo, pois a subequipe de execução do revestimento sofreu alterações no número de operários ao longo do trabalho e muitas vezes não estava dedicada apenas a essa tarefa. Em alguns panos não houve medição de produtividade. Os panos 19 e 22 possuíam área de revestimento muito pequena e, portanto, foram executados com aplicação manual. Já os panos 20 e 21 possuíam apenas

revestimento de granito e o pano 24 foi executado em um final de semana, ou seja, sem a presença da pesquisadora, a qual não foi avisada.

Tabela 5: produtividade por pano de fachada

Pano de fachada	Área (m <sup>2</sup> )	Espessura (cm)	Requadro	Produtividade (Hh/m <sup>2</sup> )		
				Chapisco	Revestimento	Sistema
16 e 17	171,20	2,76	Sim	0,06	1,12	1,43
18	75,40	2,99	Não	0,24	0,88	1,64
23	138,40	3,94	Não	0,20	1,36	1,84
25	229,70	2,66	Sim	0,11	1,42	1,77
Média				0,13	1,25	1,67

O coeficiente de variação desse resultados não é muito grande, ficando em torno de 10,72%. Porém, ao observar a produtividade apenas das etapas de execução do chapisco e de execução do revestimento em massa única (tabela 5), ou seja, das etapas mecanizadas, o coeficiente de variação é muito maior, chegando a 52,13% no caso do chapisco e a 20,76% no caso do revestimento. Esses dados refletem, entre outras coisas, os problemas de preparação e os entupimentos da bomba de argamassa e da argamassadeira, os quais eram comuns em obra, mas também as diferentes espessuras do revestimento. A maior variação de produtividade na produção de chapisco ocorreu porque a proporção entre o tempo gasto em preparação do equipamento e o tempo gasto na aplicação do chapisco (atividade produtiva) é maior. Essa relação pode ser vista na análise dos dados de amostragem de trabalho (figura 39 e 40).

O pano 18 apresentou a melhor produtividade na execução da etapa de revestimento em massa única (tabela 5). Além desse pano não ter requadros, segundo as anotações de campo, durante sua produção não ocorreram problemas. Além disso, enquanto um operário projetava a argamassa, outro fazia o alisamento com régua, como recomendado pelo fabricante de argamassa.

Já o pano 23 apresentou produtividade baixa, apesar de também não possuir requadros. Um dos motivos foi a alta espessura do revestimento, que em um dos pavimentos chegou a mais de 7 cm. Durante a execução desse pano, algumas vezes havia apenas um operário no andaime. Também houve diversos outros problemas: entupimento do mangote da bomba de argamassa, falta temporária de luz, falta de argamassa no estoque do andar, baixa pressão na bomba por necessidade de troca da camisa de projeção, mudança da central de argamassa para outro andar e interrupções no trabalho para recolocação de telas na fachada.

Outro pano que apresentou baixa produtividade foi o 25. Além de possuir muitos requadros, houve necessidade de retrabalho por problemas de alinhamento entre requadros de diferentes

pavimentos. Foram observados também os seguintes problemas: entupimento do mangote da bomba, travamento do eixo da argamassadeira, rompimento de uma peça do compressor de ar da bomba, uso de argamassa muito fluida no início da projeção e a mudança da central de argamassa para outro andar. Ocasionalmente observou-se que, enquanto um operário projetava a argamassa, o outro fazia o alisamento da mesma com régua. Mas, mesmo assim, a menor produtividade registrada ocorreu na execução do revestimento desse pano.

A comparação da produtividade da empresa “E” com as obtidas por Costa (2005) pode ser vista na figura 37. Para cálculo desse índice foi considerado apenas o tempo trabalhado da mão-de-obra direta na execução da etapa de revestimento em massa única, conforme método de levantamento de dados proposto por aquela autora.

A empresa E também participou da pesquisa de Costa (2005) e obteve a melhor produtividade entre todas as empresas avaliadas, 0,99 Hh/m<sup>2</sup>. No entanto, naquele estudo, a empresa utilizava aplicação manual, argamassa industrializada em sacos e balancim elétrico. Com o atual sistema de produção, ela obteve produtividade média de 1,25 Hh/m<sup>2</sup>, desempenho equivale à média das empresas analisadas por Costa (2005), mas inferior ao obtido com o sistema de produção antigo. Naquele estudo a empresa era chamada de “Y”.

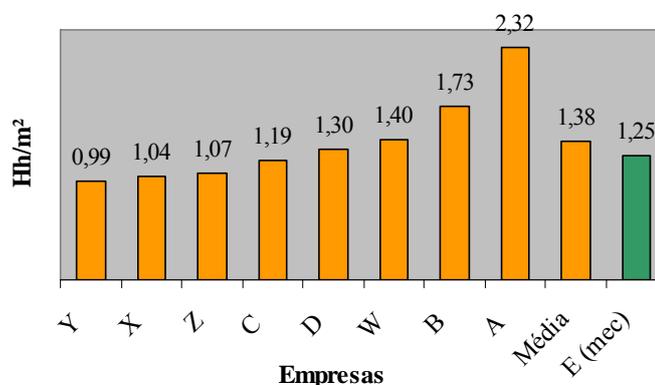


Figura 37: produtividade de oito empresas e da empresa em estudo (adaptado de COSTA, 2005)

Conforme se percebe em obra, o uso do balancim elétrico em vez do mecânico é importante para o sistema com aplicação mecânica de argamassa, pois a velocidade de aplicação do material sobre a fachada é alta e, portanto, o balancim mecânico, por ser mais lento, pode inviabilizá-lo. Porém, a facilidade de movimentação vertical proporcionada pelo balancim elétrico parecia estimular o uso do equipamento de forma exagerada, inibindo o esforço de planejamento na sua utilização e, com isso, despendendo considerável tempo de trabalho dos operários na movimentação vertical do andaime.

#### 5.2.4 Consumo de materiais

O levantamento do consumo de argamassa revelou que, em todos os panos avaliados, o consumo real ficou próximo ao consumo estimado sem perdas, ou seja, 17 kg/m<sup>2</sup> por cm de espessura, conforme especificado pelo fabricante de argamassa (tabela 6).

Tabela 6: argamassa consumida por pano de fachada

Pano	Área (m <sup>2</sup> )	Espessura média (cm)	Consumo (Kg/m <sup>2</sup> )	Consumo (kg/m <sup>2</sup> por cm)
17	35,65	2,92	57,81	19,79
18	75,40	2,99	53,46	17,88
23	132,40	3,94	74,82	18,99
25	245,20	2,66	47,93	18,02
Média		3,02	56,79	18,80

A variação percebida no consumo de argamassa por pano em Kg/m<sup>2</sup> foi causada, entre outras coisas, pelas diferentes espessuras do revestimento em cada pano. A média de espessura obtida foi 3,02 cm, no entanto a variabilidade dos pontos levantados foi alta, entre 1,0 e 7,3 cm, mas com maior concentração na faixa de 2 a 3,9 cm (figura 38).

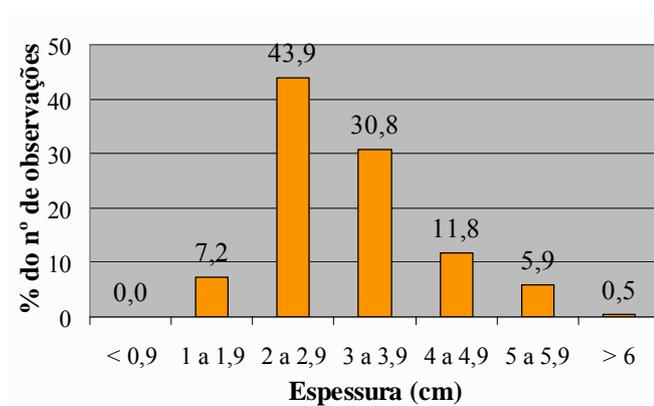


Figura 38: distribuição de espessuras do revestimento

Essa variabilidade pode prejudicar o desempenho do produto. A NBR 13749 (ABNT, 1996) recomenda espessura mínima de 2 cm para que sejam garantidos os requisitos de desempenho. Além disso, segundo a mesma norma, quando o revestimento externo ultrapassa 3 cm é necessário tomar cuidados especiais para garantir a aderência do mesmo à base. O fabricante da argamassa utilizada não recomenda espessuras superiores a 5 cm.

### 5.2.5 Perdas

As perdas de mão-de-obra e de equipamentos para a execução da etapa de revestimento foram quantificadas através dos tempos improdutivos e auxiliares durante a produção e pela ociosidade da mão-de-obra e equipamentos devido à desmobilização das subequipes.

A amostragem de trabalho foi aplicada à subequipe que produzia argamassa para massa única, à subequipe de aplicação e sarrafeamento de argamassa para produção de revestimento em massa única e à bomba de argamassa. As taxas de tempos improdutivos, produtivos e auxiliares podem ser vistas na figura 39<sup>17</sup>. As principais razões para o tempo improdutivo dos serventes foram: operário esperando atividade (33,2% das observações), operário não encontrado (6,4% das observações), operário deslocando-se (6,3% das observações) e executando outro serviço (5,8% das observações). Para os pedreiros, as principais foram: operário esperando atividade (20,6% das observações), operário deslocando-se (7,4% das observações), operário esperando equipamento (3,2% das observações) e necessidades pessoais (2,8% das observações).

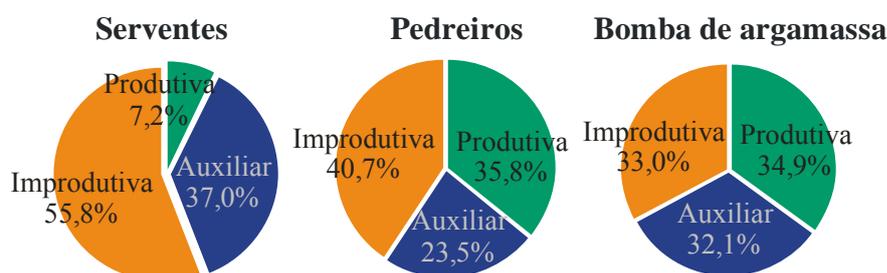


Figura 39: distribuição de tempos na produção de revestimento

As principais atividades auxiliares realizadas pelos serventes foram: limpar e organizar equipamentos e ferramentas (9,3% das observações), limpar e organizar local de trabalho (6,1% das observações), misturar argamassa (4,2% das observações) e preparar equipamentos e ferramentas (3,8% das observações). As principais atividades auxiliares dos pedreiros foram: preparar equipamentos e ferramentas (3,9% das observações), controle do balancim elétrico (3,3% das observações) e trocando informações (3,1% das observações).

Como nesse estudo a aplicação de chapisco também foi mecanizada, a amostragem de trabalho foi utilizada para os operários envolvidos nessa etapa e para a bomba de argamassa, ou seja, para o servente que produz a argamassa e controla a bomba e para os dois operários

<sup>17</sup> A amostra para essa ferramenta foi de 1882 observações para os serventes, 1896 observações para os pedreiros e 825 para a bomba de argamassa, o que representa erro relativo de 6,01%, 6,26% e 9,92% respectivamente.

que aplicam o chapisco (figura 40<sup>18</sup>). As principais razões para o tempo improdutivo dos serventes foram: operário esperando atividade (23,0% das observações), operário deslocando-se (7,6% das observações), operário parado sem motivo aparente (2,4% das observações) e operário esperando equipamento (2,4% das observações). Para os aplicadores, as principais razões foram: operário esperando atividade (17,6% das observações), operário deslocando-se (12,0% das observações), parado por falta de equipamento (8,8% das observações) e operário não encontrado (2,6% das observações).

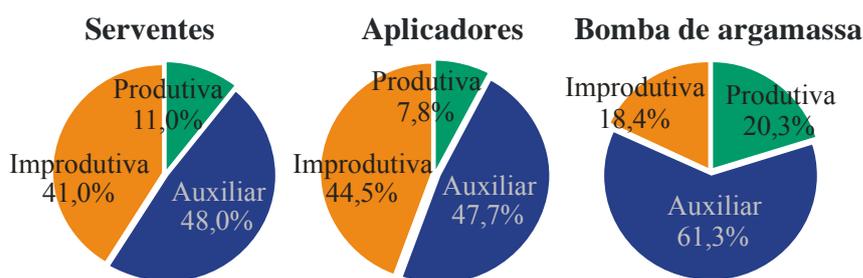


Figura 40: distribuição de tempos na execução do chapisco

As principais atividades auxiliares dos serventes foram: preparar equipamentos e ferramentas (10,3% das observações), limpar e organizar equipamentos e ferramentas (9,8% das observações), desentupir equipamentos (7,3% das observações) e transportar equipamentos e ferramentas (5,2% das observações). As principais atividades auxiliares dos pedreiros foram semelhantes às dos serventes: preparar equipamentos e ferramentas (10,4% das observações), limpar e organizar equipamentos e ferramentas (7,6% das observações), desentupir equipamentos (6,9% das observações) e transportar equipamentos e ferramentas (5,2% das observações).

Grande parte dos tempos auxiliares em ambas as etapas de produção, chapisco e revestimento, têm como uma das causas a necessidade de preparação e limpeza do equipamento no início e no fim de sua utilização, assim como os freqüentes problemas de entupimento do mangote da bomba de argamassa e de regulagem e entupimento da argamassadeira. A preparação e os problemas nos equipamentos geravam a ociosidade dos pedreiros e aplicadores, que ficavam parados, esperando atividade. Portanto, a maior velocidade da etapa de aplicação de argamassa proporcionada pelo processo mecânico de aplicação pode não se refletir na produtividade final do processo em função desses problemas.

Além disso, a subequipe que produzia argamassa e preparava o equipamento, constituída de

<sup>18</sup> A amostra para essa ferramenta foi de 402 observações para os serventes, 701 observações para os aplicadores e 310 para a bomba de argamassa, o que representa erro relativo de 12,21%, 8,69% e 20,3% respectivamente.

dois a três serventes, iniciava seu trabalho antes da subequipe de pedreiros com o objetivo de reduzir a espera e ociosidade desses no início do dia. No entanto, os serventes pareciam não estar preparados para isso ou não estavam estimulados a aumentar a produtividade da equipe, já que não eram remunerados por produtividade. Assim, geralmente quando a subequipe de pedreiros chegava ao local de trabalho, os equipamentos e a argamassa ainda não estavam prontos. Muitas vezes ocorriam atrasos também porque ninguém da equipe conferia se havia argamassa suficiente no estoque da central ou se o reservatório de água estava abastecido. Ou seja, não havia procedimentos estabelecidos e não era definida a responsabilidade de cada um.

A maior soma de tempos improdutivos e auxiliares dos operários da etapa de chapisco em relação à de revestimento deve-se, entre outras coisas, à proporção entre o tempo gasto com a preparação e com os problemas dos equipamentos (tempos auxiliares e improdutivos) e o tempo gasto na aplicação de argamassa de chapisco (atividade produtiva). A atividade de aplicação do chapisco na fachada era rápida em relação à aplicação da argamassa para revestimento, gerando também maior variabilidade do índice de produtividade.

Segundo os índices de perdas considerados médios e excepcionais na construção, os pedreiros da etapa de revestimento obtiveram índices de perdas considerados médios, chegando à soma de tempos improdutivos e auxiliares de 64,2%, enquanto os aplicadores da etapa de chapisco obtiveram soma de 92,2% (figura 41), valor considerado alto, expressando que existem grandes perdas de mão-de-obra. Os altos índices de perdas dos aplicadores deviam-se, entre outras coisas, às atividades auxiliares exercidas, pois os mesmos também organizavam, preparavam e limpavam os equipamentos e ferramentas, ou seja, exerciam função de servente.

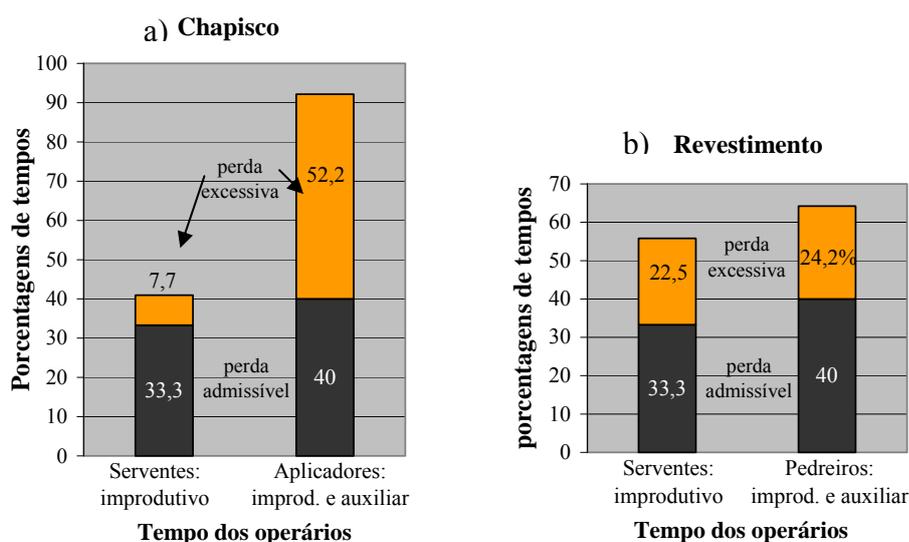


Figura 41: perda de mão-de-obra na execução do chapisco (a) e do revestimento (b)

O menor índice de perdas do servente da etapa de chapisco em relação à etapa de revestimento ocorreu, entre outras coisas, porque o mesmo exercia também atividade produtiva, ele produzia argamassa de chapisco. No entanto, o índice de perdas dos serventes do revestimento poderia ser melhorado, pois existem perdas excessivas (figura 41). Parecia haver mais serventes que o necessário, já que enquanto os pedreiros estavam aplicando argamassa e sarrafeando, os mesmos ficavam grande parte do tempo parados sem atividade.

A quantificação do tempo de desmobilização da subequipe de revestimento e da ociosidade dos equipamentos foi obtida a partir dos registros do cartão de produção. Durante a execução da etapa de revestimento dos panos 17, 18, 23 e 25, a subequipe de projeção mecânica de argamassa não trabalhou em 11,1% dos turnos de trabalho, sendo o principal motivo a chuva. A bomba de projeção de argamassa ficou mais tempo ociosa, com 47,2% dos turnos de trabalho. Isso ocorreu porque a subequipe de projeção de argamassa executava também outras etapas da produção, como a verificação do prumo, a produção de taliscas e mestras e o sarrafeamento e acabamento do revestimento, deixando a bomba ociosa nesses períodos.

Os quatro balancins elétricos utilizados tiveram média de turnos ociosos de 32,6% ao longo da execução da etapa de revestimento. O motivo que mais contribuiu para essa perda foi a falta de sincronização entre as equipes, que fez com que determinadas equipes terminassem suas atividades em um pano de fachada antes da próxima equipe da seqüência de produção estar pronta para trabalhar naquele pano. Conforme observado, esses problemas eram causados principalmente por deficiências de planejamento da produção, dificuldades na preparação da bomba de argamassa e freqüentes entupimentos do mangote. Alguns problemas técnicos na bomba de argamassa e falta de infra-estrutura na obra também geraram atrasos nas atividades das equipes, deixando os balancins ociosos. A chuva também causa a ociosidade desses equipamentos, mas foi menos significativa. Além da ociosidade ao longo da produção do revestimento, os balancins ficaram ociosos mais 21,31% dos turnos em função do período de cura do revestimento e do atraso para o início da execução do acabamento em pastilha.

Já a perda por ociosidade da argamassadeira da central de produção do sistema mecanizado foi menor, 7,4%. Isso ocorreu porque esse equipamento atendia também a produção de requadros, de acabamentos e de eventuais aplicações manuais de argamassa em detalhes de fachada e nos panos com área muito reduzida para serem produzidos com a bomba.

As perdas por produção de revestimento com espessura excessiva consideraram a média de espessura do pano executado. Dos quatro panos avaliados, apenas o 23 possuía espessura maior que 3 cm, com média de 3,94 cm. Portanto, nesse pano, utilizou-se 31,33% a mais de argamassa, o que representa perda de 42,31 sacos de 50 kg do material. Há que se ressaltar

que a produção de revestimento com espessura excessiva gera também o consumo de mais mão-de-obra e equipamentos que o necessário, gerando perdas desses recursos.

Além das perdas por espessura excessiva, foi calculada a perda de argamassa ao longo da produção, obtendo-se perda média de 9,17% (tabela 7). A produção da argamassa que foi perdida ao longo do processo também gera perdas de mão-de-obra e equipamento.

Tabela 7: perda de argamassa de revestimento

Pano	Espessura média (cm)	Consumo (Kg/m <sup>2</sup> por cm)	Perda de argamassa (%)		
			Ao longo do processo	Espessura excessiva	Total
17	2,92	19,79	16,46	0,00	16,46
18	2,99	17,88	5,17	0,00	5,17
23	3,94	18,99	15,37	31,33	46,70
25	2,66	18,02	5,99	0,00	5,99
Média		18,80	9,17	8,48	17,65

Somando as perdas de argamassa ao longo processo e em espessura excessiva, obtêm-se em média 17,65%, valor que pode ser considerado bastante baixo se comparado ao dos processos de produção avaliados por Costa (2005), conforme pode ser visto na figura 42. Naquele estudo a empresa E era chamada de Y e obteve um total de 93% de perdas utilizando aplicação manual, balancim elétrico e argamassa industrializada em sacos.

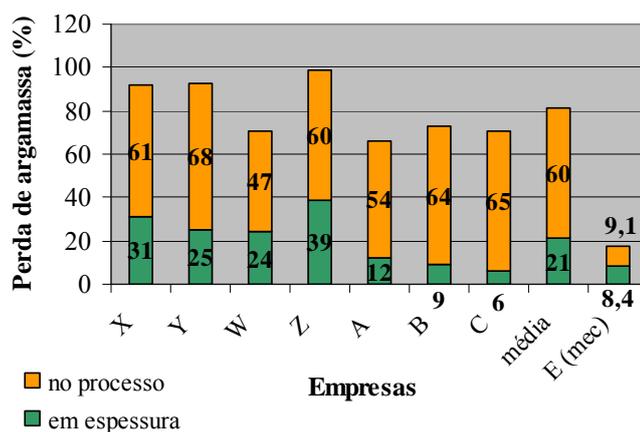


Figura 42: perda de argamassa (adaptado de COSTA, 2005)

Relacionando o índice de perdas de argamassa às diferentes etapas do fluxo do material (figura 43), a percentagem por etapa demonstra que não existe predominância de perdas em nenhuma delas. Mas, durante o transporte e estoque do material ainda ensacado, ou seja, na etapa 1, as perdas são bastante baixas.

A partir dos índices obtidos, pode-se afirmar que esse sistema de produção gerou pouca perda de argamassa. Isso se deve a forma com que o material é transportado e estocado. Quando seca, a argamassa é transportada e estocada em sacos, sendo retirada dos mesmos diretamente na argamassadeira. A argamassa já misturada à água sai do canhão da argamassadeira direto para o tanque da bomba de projeção. A bomba faz com que o material seja transportado por continuamente através de mangote até chegar ao bico de projeção. Portanto, a mecanização do transporte de argamassa fresca foi eficaz para o controle de perdas do material nessa etapa da produção. Os índices mostraram também que a aplicação mecânica de argamassa com bico de projeção e o sarrafeamento da mesma não geraram perdas significativas do material.

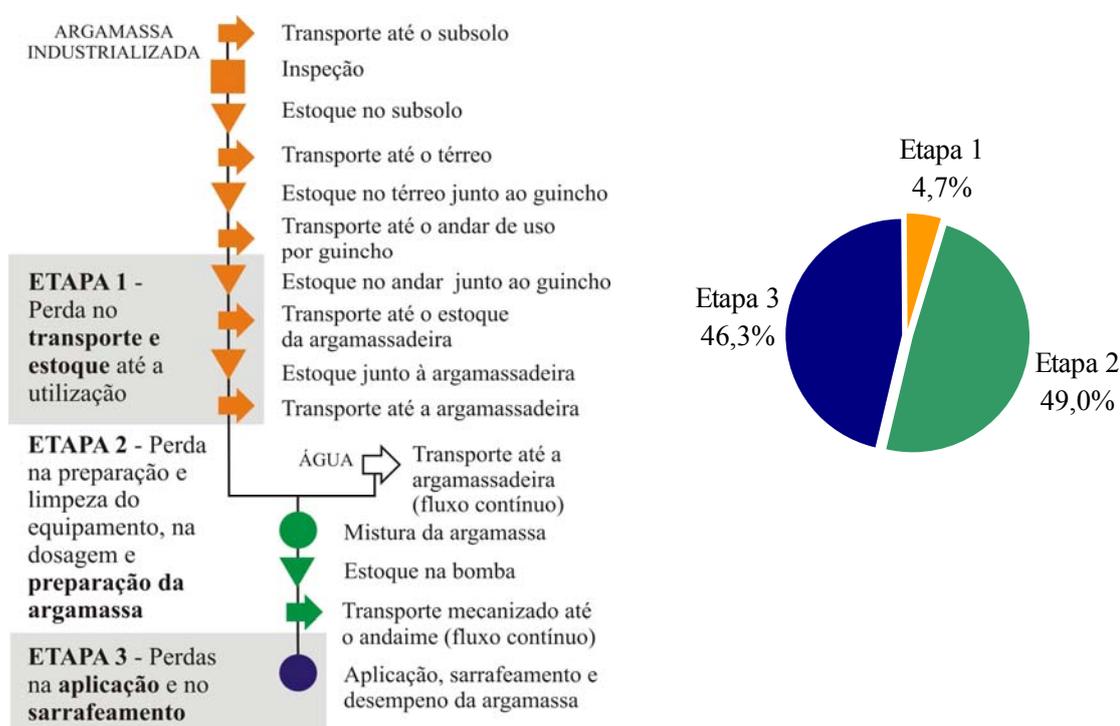


Figura 43: perda de argamassa ao longo do processo

Cabe ressaltar que a experiência adquirida pela mão-de-obra ao longo do estudo pode ter contribuído para a redução no número de problemas com os equipamentos, a solução mais rápida dos problemas que apareciam e a maior rapidez no preparo e na limpeza do local de trabalho e dos equipamentos (tempo de *setup*).

Como já dito, a observação da produção com aplicação mecânica de argamassa nesse estudo de caso evidenciou a necessidade de ampliação do levantamento de perdas de mão-de-obra e equipamentos, pois até então era feita apenas para a etapa de execução do emboço. Portanto, no estudo de caso 2 foram analisadas também as perdas por ociosidade em função de quebra de fluxo de produção entre as subequipes das várias etapas do sistema.

### 5.2.6 Falhas no produto final

O levantamento de falhas no revestimento constatou a presença apenas de fissuras, aparentemente de retração (tabela 8). Tais fissuras apresentaram-se em pequena quantidade e, com isso, o desempenho do sistema nesse aspecto foi considerado satisfatório.

No entanto, a empresa E fez a inspeção dos panos de fachada através de testes de percussão após os 28 dias de idade do revestimento e verificou que existiam pontos com som cavo, indicando a presença de descolamentos do revestimento (figura 44a), principalmente em locais da fachada onde o substrato era de concreto (tabela 8).

Tabela 8: falhas no revestimento

Pano de fachada	Falhas	Orientação solar	Tipo de falha	Contagem de falhas
10	Sim	Sul	descolamento	04
11	Sim	Sul	fissuras de retração	02
12	Sim	Sul	fissuras de retração	03
			descolamento	01
16	Não	Sul	-	-
17	Não	Sul	-	-
18	Sim	Sul	fissura de retração	02
23	Não	Oeste	-	-
25	Não	Oeste	-	-

A partir disso, conclui-se que a projeção mecânica pode não ter contribuído para solucionar o problema de incompatibilidade entre as estruturas de concreto e os revestimentos à base de argamassa. Tal incompatibilidade tem sido motivo de preocupação no setor da construção em função do grande número de obras com descolamentos de revestimentos.

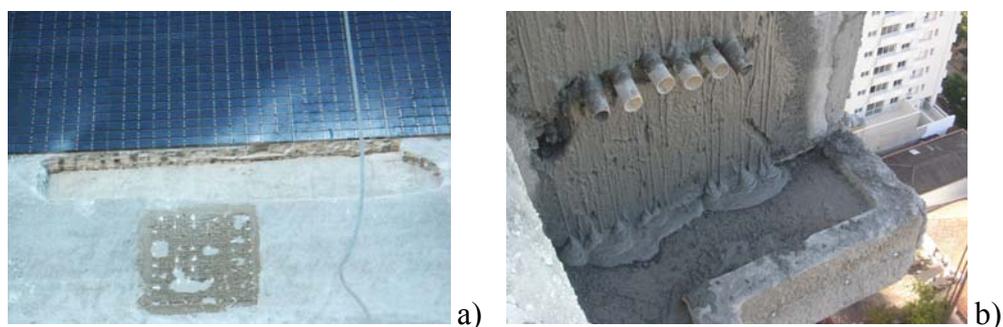


Figura 44: descolamento do revestimento (a) e argamassa muito fluida (b)

Um dos problemas observados em obra durante a execução do revestimento e que pode ter comprometido o desempenho do mesmo foi a aplicação de argamassa excessivamente fluida

(figura 44b). Essa argamassa era produzida com grande fluidez com o objetivo de lubrificar o mangote no início da produção e não deveria ser aplicada à fachada sem ser corrigida.

### 5.2.7 Desempenho do produto final

Os ensaios de resistência de aderência à tração dos panos das fachadas leste, sul e oeste foram realizados por uma empresa contratada pela construtora. Portanto, o equipamento utilizado para tração não é mesmo utilizado no ensaio do estudo de caso 2 e a idade de realização do mesmo muitas vezes excedeu os 28 dias de idade do revestimento. Os corpos-de-prova foram distribuídos ao longo da fachada e, em geral, utilizaram-se três para cada pano.

A primeira fachada, a leste, foi executada durante o teste das ferramentas e observações sobre o funcionamento do sistema. Essa fachada recebeu chapisco manual e revestimento projetado. A média de resistência foi de 0,26 MPa (tabela 9). Um dado importante é que 66,6% dos corpos-de-prova ficaram abaixo de 0,30 MPa, ou seja, abaixo do especificado pela NBR 13749 (ABNT, 1996). A variação da resistência de aderência à tração na fachada leste foi alta. O menor resultado obtido foi de 0,10 MPa e o maior foi 0,55 MPa.

Tabela 9: resistência de aderência na fachada leste

Pano	Substrato	Espessura média (cm)	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
2	Alvenaria	2,4	0,34	97,9
3	Alvenaria	2,1	0,33	21,4
4	Concreto	2,5	0,22	38,8
5	Alvenaria	2,5	0,19	66,9
Média			0,26	

Na fachada sul a resistência de aderência à tração aumentou (tabela 10).

Tabela 10: resistência de aderência à tração na fachada sul

Pano	Substrato	Espessura média (cm)	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
10	Alvenaria	3,5	0,50	14,4
11	Alvenaria	3,6	0,36	23,7
12	Alvenaria	2,9	0,37	51,7
14	Alvenaria	2,5	0,32	7,1
15	Alvenaria	1,0	0,36	32,9
16	Alvenaria	2,2	0,51	9,6
Média			0,39	

Nessa fachada tanto o chapisco quanto o revestimento foram projetados mecanicamente e todos os ensaios foram realizados em revestimentos com substrato de alvenaria de blocos cerâmicos. A média nessa fachada foi de 0,39 MPa (tabela 10). O valor mais baixo de resistência de aderência na fachada sul foi 0,24 MPa e o mais alto 0,59 MPa. Apenas 26,6% dos corpos-de-prova ficaram abaixo de 0,30 MPa, mas todos próximos a esse valor.

Comparando esses resultados aos da fachada leste verifica-se uma melhora ao longo da produção. O aumento de resistência encontrado na fachada sul pode ter ocorrido pelo uso de diferente forma de aplicação do chapisco (mecânica) em relação à fachada leste (manual) e pela orientação solar, mas também pelo aprendizado da equipe. A análise estatística de variância (ANOVA) revelou que a resistência de aderência à tração da fachada sul foi significativamente superior à da fachada leste (tabela 11). A figura 45 apresenta o gráfico obtido com os valores de resistência de aderência nas duas fachadas.

Tabela 11: análise de variância do efeito da orientação da fachada

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Orientação	1	0,100	6,227	0,02057	Sim

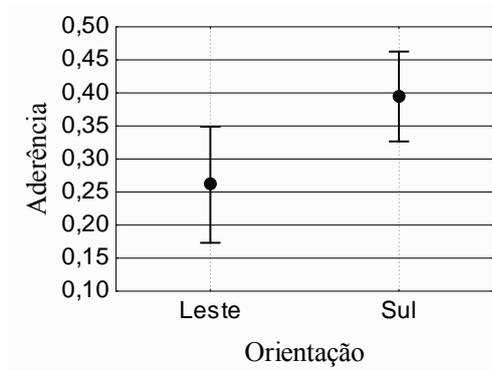


Figura 45: resistência de aderência à tração nas fachadas leste e sul

Na terceira fachada executada, a oeste, o chapisco e o revestimento também foram projetados mecanicamente. O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado nos panos 23, 24 e 25. No entanto, no pano 24 apenas um corpo-de-prova não rompeu na interface cola/pastilha e no pano 25 todos os corpos-de-prova romperam nessa interface. Portanto, esses resultados foram descartados e a empresa que realizou o ensaio não os repetiu.

Assim, a média de resistência dos três corpos-de-prova do pano 23 foi de 0,46 MPa, enquanto o resultado do único corpo-de-prova válido do pano 24 foi de 0,17 MPa (tabela 12).

Tabela 12: resistência de aderência à tração na fachada oeste

Pano	Substrato	Espessura média (cm)	Nº de corpos-de-prova	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
23	Alvenaria	4,2	03	0,46	15,6
24	Concreto	5,5	01	0,17	-
Média				0,38	

A resistência de aderência à tração foi satisfatória apenas no pano 23, onde o substrato era de alvenaria de bloco cerâmico. No pano 24, com substrato de concreto, a resistência ficou abaixo do exigido na NBR 13749 (ABNT, 1996). Porém, em ambos os panos o número de corpos-de-prova deveria ser maior para que o ensaio atendesse à NBR 13528 (ABNT, 1995).

Analisando todos os ensaios em revestimentos com substrato de alvenaria de blocos cerâmicos, as maiores resistências de aderência à tração ocorreram onde foi utilizada aplicação mecânica para as duas etapas da produção, chapisco e revestimento, ou seja, nas fachadas sul e oeste. Observou-se também menor variabilidade nos resultados, pois o número de corpos-de-prova com baixa resistência diminuiu consideravelmente, aumentando a conformidade em relação à meta.

Os ensaios para determinação de permeabilidade à água foram realizados apenas na fachada oeste, cada ponto com quatro corpos-de-prova. Alguns corpos-de-prova do ensaio realizado no pano 23 da fachada oeste (tabela 13) apresentaram vazamento e outros deixaram dúvida em função da grande quantidade de água absorvida em um tempo pequeno.

Tabela 13: ensaio 1 de permeabilidade no pano 23 da fachada oeste

Pano/andar	Espessura média (cm)	Substrato	Absorção média: 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
23/4º	4,25	Bloco/concreto	> 3,66	> 0,15	-
23/7º	3,72	Bloco/concreto	3,05	0,15	28,0
23/14º	4,02	Bloco/concreto	2,58	0,12	32,0
Média				> 0,14	

Bolsoni (2007), através de um estudo exploratório, utilizou o método do cachimbo em revestimentos à base de argamassa com e sem a presença de fissuras, as quais tinham aproximadamente 0,1 mm de espessura. Em todos os cachimbos localizados sobre tais fissuras, a água foi totalmente absorvida em poucos segundos. Portanto, a grande quantidade de água absorvida em um tempo pequeno nos corpos-de-prova do pano 23 pode ter sido

causada pela presença de fissuras muito pequenas. Por isso, esse ensaio foi repetido quatro dias depois (tabela 14). Nessa repetição alguns corpos-de-prova vazaram novamente. Acredita-se que isso ocorreu em função do revestimento em argamassa não ser desempenado, apresentando uma superfície bastante irregular e pouco compacta.

Tabela 14: ensaio 2 de permeabilidade no pano 23 da fachada oeste

Pano/ andar	Espessura média (cm)	Substrato	Absorção média: 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
23/4°	4,25	Bloco/concreto	1,92	0,10	33,0
23/7°	3,72	Bloco/concreto	1,95	0,10	16,0
23/14°	4,02	Bloco/concreto	1,88	0,10	18,0
Média				0,10	

Os panos 25 e 27 também foram ensaiados (tabela 15). A média de permeabilidade do pano 25 foi de 0,11 ml/minuto, enquanto a do pano 27 foi de 0,07 ml/minuto. Não foi observada relação entre a permeabilidade e a média de espessura dos pontos ensaiados do revestimento.

Tabela 15: permeabilidade nos panos 25 e 27 da fachada oeste

Pano/ andar	Espessura média (cm)	Substrato	Absorção média: 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
25/3°	2,92	Bloco	2,21	0,12	37,0
25/8°	2,87	Bloco	2,17	0,11	12,0
25/13°	2,35	Bloco	2,03	0,11	27,0
Média: pano 25				0,11	
27/4°	2,07	Bloco	1,25	0,07	36,0
27/7°	1,95	Bloco	1,20	0,06	62,0
27/12°	4,12	Bloco	1,75	0,08	15,0
Média: pano 27				0,07	

Além da dificuldade de colagem dos cachimbos sobre uma superfície não desempenada, observou-se grande variação nos resultados tanto de ensaios realizados em dias distintos como de corpos-de-prova ensaiados no mesmo dia e na mesma região do pano de fachada. Apesar do mesmo ser realizado sempre sem a incidência direta do sol, as condições climáticas pareciam influenciar os resultados.

Comparando esses resultados aos de Duailibe et al. (2005), que estudaram a influência do tipo de aplicação de argamassa, mecânica ou manual, na permeabilidade dos revestimentos, pode-se afirmar que o desempenho do revestimento da empresa E foi satisfatório. Naquela pesquisa os autores testaram também revestimentos com e sem cura e três traços diferentes de argamassa em substrato de blocos cerâmicos. A menor permeabilidade obtida aos 28 dias foi do revestimento que combinava projeção mecânica com cura e traço 1:3:8+aditivo, mas mesmo esse revestimento apresentou-se mais permeável que o revestimento da empresa E. Avaliando os resultados de absorção total de água, os revestimentos da empresa E obtiveram valores menores que os revestimentos daquele estudo. Já considerando a variação de absorção entre a medição de 5 e 15 minutos, conforme recomendação do CSTC (1976), as menores permeabilidades na empresa E são semelhantes às menores permeabilidades daquele estudo. Mas, os revestimentos mais permeáveis apresentaram permeabilidade bem menor que os revestimentos mais permeáveis daquele estudo.

### 5.2.8 Custos

O cálculo dos custos considerando apenas os recursos efetivamente utilizados na execução da etapa de revestimento revelou que em média o valor do metro quadrado ficou em 21,44 reais, com variação de 17,58% entre os panos de fachada avaliados (tabela 16).

Tabela 16: custos do sistema em funcionamento

Pano	Espessura (cm)	Requadro	Custo			
			Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
16 e 17	2,92	Sim	6,11	5,17	9,02	20,30
18	2,99	Não	4,80	4,04	8,34	17,18
23	3,94	Não	7,26	7,22	11,67	26,15
25	2,66	Sim	7,88	5,63	7,48	20,99
Média						21,44

Observa-se que o pano 18 apresentou o custo mais baixo, enquanto o 23 o mais alto, apesar dos dois não possuírem requadros nem detalhes de fachada. Uma das razões foi a maior espessura do pano 23. Como já dito, nesse pano também houve problemas durante a execução que reduziram sua produtividade. Já na execução do pano 18 tais problemas não ocorreram.

Já os custos considerando os recursos ociosos pela desmobilização das equipes ou o remanejamento das mesmas para outras atividades revelou significativos aumentos no custo dos equipamentos

(tabela 17). No entanto, a bomba de argamassa não foi a maior responsável por isso, grande parcela desse custo foi em função do aluguel do balancim elétrico. Esse equipamento apresentou grande ociosidade, ocasionada não só pela falta de sincronização entre as equipes, mas também pela necessidade de aguardar 14 dias entre a execução do revestimento de argamassa e o acabamento em pastilha. Com isso, a média de custo por metro quadrado passou para 26,50 reais.

Tabela 17: custos do sistema com ociosidade

Pano	Espessura (cm)	Custo			
		Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
16 e 17	2,92	7,03	6,77	9,02	22,43
18	2,99	5,06	12,12	8,34	25,26
23	3,94	9,98	13,78	11,67	34,79
25	2,66	10,41	6,63	7,48	23,99
Média					26,50

Porém, ressalta-se que o fabricante de argamassa disponibilizava seu produto com custo abaixo do preço de mercado e possuía parceria com o fornecedor da bomba de argamassa, obtendo desconto no aluguel do equipamento. Assim, a proporção entre o custo dos três recursos, mão-de-obra, equipamento e argamassa, ficou equilibrada (figura 46).

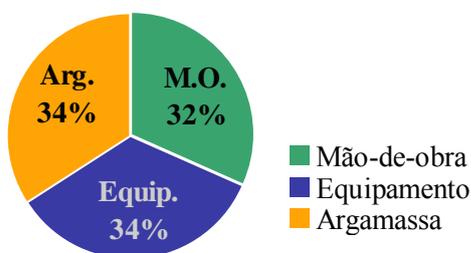


Figura 46: percentual dos custos por recurso

### 5.2.9 Determinação do potencial do sistema

Os resultados de amostragem de trabalho indicaram que existem um grande potencial de melhoria desse sistema de produção, considerando os altos índices de tempos improdutivos e auxiliares, principalmente entre os serventes e na etapa de chapisco. Os serventes da etapa de chapisco e de revestimento apresentaram percentual de perdas excessivas de 16,7% e 22,5%, respectivamente, enquanto os aplicadores do chapisco e os pedreiros do revestimento apresentaram percentual de perdas excessivas de 52,9% e 24,3%, respectivamente.

Por outro lado, o mapofluxograma e o diagrama de processos (figura 47) revelaram um fluxo de argamassa substancialmente melhorado em relação aos processos tradicionais avaliados por Costa (2005), ou seja, a parcela de atividades de transporte era bem menor (tabela 18).

O uso de argamassa industrializada e o transporte mecânico da argamassa fresca possibilitaram a redução no número de atividades, principalmente daquelas que não agregam valor à produção. Tais características refletiram-se no índice de perdas desse material ao longo do processo de produção, que foi bastante baixo em relação às perdas nas empresas avaliadas por Costa (2005), conforme pode ser visto na tabela 18.

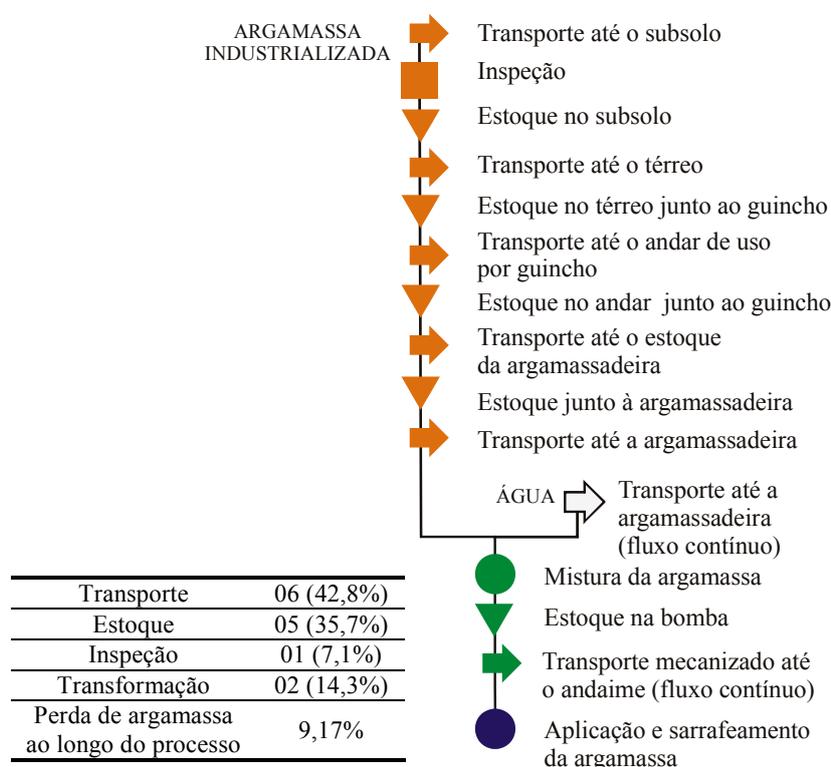


Figura 47: diagrama do processo na empresa E

Tabela 18: atividades do processo de produção de revestimento nas empresas avaliadas por Costa (2005)

Atividade	Empresas avaliadas por Costa (2005)				
	X	C	Z	W	A
Transporte	17 (56,7%)	23 (57,5%)	24 (60,0%)	12 (54,6%)	15 (60,0%)
Estoque	07 (23,3%)	10 (25,0%)	11 (27,5%)	04 (18,2%)	06 (24,0%)
Inspeção	03 (10,0%)	03 (7,5%)	02 (5,0%)	03 (13,6%)	02 (7,5%)
Transformação	03 (10,0%)	04 (10,0%)	03 (7,5%)	03 (13,6%)	02 (7,5%)
Perda de argamassa ao longo do processo	60,6%	65,0%	60,5%	47,1%	53,9%

No entanto, a avaliação realizada por Costa (2005) do processo de produção nessa empresa, quando a mesma utilizava argamassa industrializada, aplicação manual e andaime elétrico, revelou que ainda existe a possibilidade de redução do número de estoques e transportes entre o estoque geral de argamassa em sacos e a argamassadeira no processo de produção com aplicação mecanizada da empresa E. Naquele processo, 58,33% das atividades eram de transporte, 8,3% eram de inspeção, 16,7% eram de estoque e 16,7% eram de transformação. Porém, como se observa na figura 48, havia poucas atividades de transporte e estoque entre o estoque geral e a betoneira.

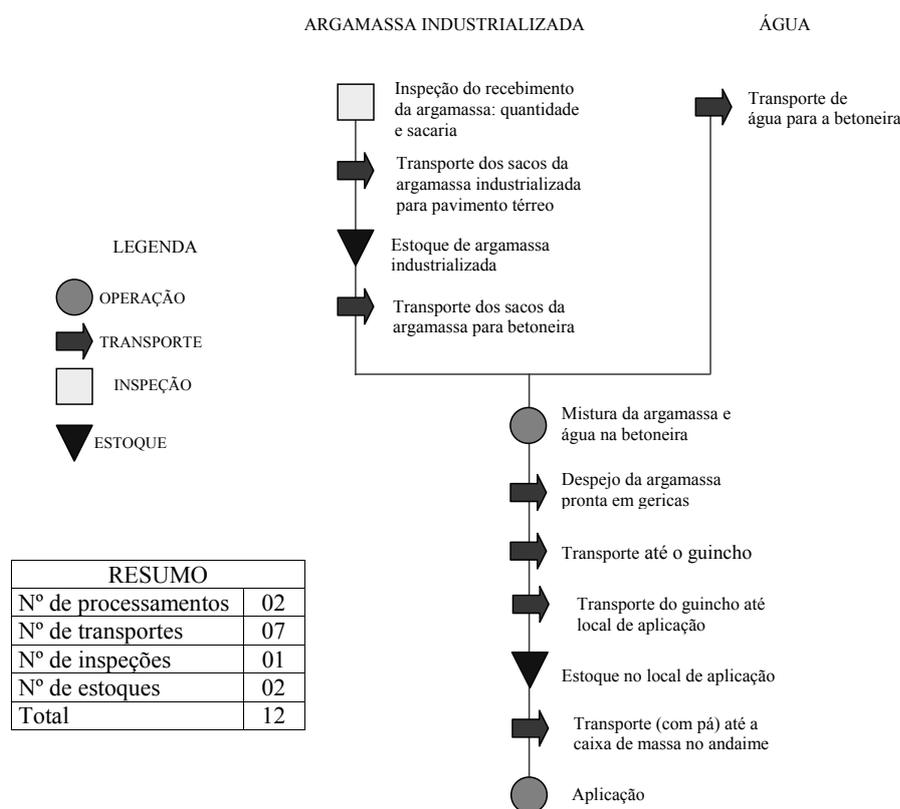


Figura 48: fluxo de argamassa na empresa E com uso de argamassa industrializada e aplicação manual durante o estudo de COSTA (2005)

Além disso, apesar do seu processo ser mais enxuto, o índice de produtividade da empresa E (1,25 Hh/m<sup>2</sup>) foi apenas equivalente à média das empresas analisadas por Costa (2005). Isso revela que deviam existir outras dificuldades em obra. Os problemas mais frequentes observados pela pesquisadora foram a falta de sincronização entre as equipes de produção, a ociosidade dos equipamentos e a dificuldade na preparação da argamassadeira e da bomba de argamassa. Esses problemas revelam que existiam deficiências de planejamento, ausência de procedimentos de produção e de treinamento da mão-de-obra, os quais poderiam ser alvo de melhorias, aumentando a produtividade do sistema e reduzindo os custos.

### 5.3 ESTUDO DE CASO 2

O estudo de caso 2 foi realizado em empresa construtora de Porto Alegre com atuação na região Metropolitana e que estava utilizando pela primeira vez o sistema de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica de argamassa. Para esse estudo de caso, a produção de revestimento foi acompanhada durante dois meses. O revestimento era executado com aplicação mecânica e manual de argamassa.

#### 5.3.1 Características da empresa “V”

A empresa participante desse estudo, aqui chamada de empresa “V”, havia se interessado previamente pelo sistema de produção de revestimento de fachada com bomba de argamassa. Nessa pesquisa foi acompanhado o processo de implantação e evolução do sistema na empresa. Os dados utilizados no cálculo dos índices de desempenho foram coletados após um mês do início da produção, ou seja, após etapa de treinamento e aprendizado da mão-de-obra.

A obra acompanhada possuía 11 edificações de quatro pavimentos para habitação de interesse social. Cada edificação possuía quatro tipos de fachada (figura 49).

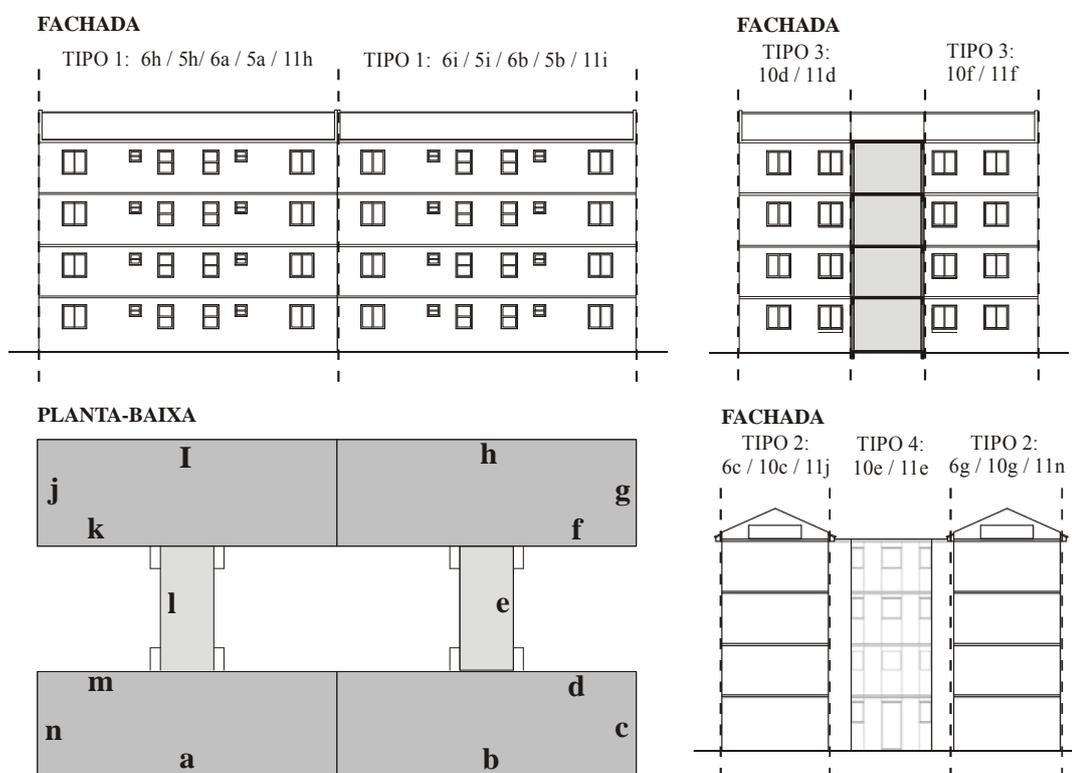


Figura 49: planta-baixa e fachadas do bloco de apartamentos padrão

O sistema estrutural das edificações era alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e laje pré-moldada em concreto. Nesse trabalho cada pano de fachada recebeu um nome, que varia conforme o número do bloco de apartamento em que se localiza, a posição da fachada e o tipo (desenho) da mesma. Por exemplo, o pano “6c” pertence ao bloco 6 e sua posição é “c”, portanto, conforme a figura 49, é um pano do tipo 2.

### 5.3.2 Características do sistema de produção

Antes da implantação do sistema com aplicação mecânica de argamassa, a empresa já estava produzindo revestimento com várias equipes nessa obra, utilizando o sistema com aplicação manual de argamassa, o qual foi chamado nessa pesquisa de sistema manual. No entanto, a construtora vinha tendo problemas, não obtendo a produtividade esperada. Portanto, ao implantar o sistema com aplicação mecânica de argamassa (chamado nesse estudo de sistema mecanizado), apenas duas equipes do sistema manual (equipes B e C) foram mantidas na produção das fachadas externas, ou seja, foram mantidas apenas aquelas equipes que apresentavam melhores resultados de produtividade.

Esse estudo de caso avalia a produção dessas duas equipes do sistema manual (equipes B e C) e da equipe do sistema mecanizado (equipe A). As equipes dos dois sistemas produziram panos de fachada com as mesmas características arquitetônicas, mas com uso de argamassas industrializadas diferentes, as quais eram produzidas pelo mesmo fabricante nacional. Outras características comuns aos dois sistemas avaliados eram a utilização de andaimes fachadeiros, a aplicação manual de argamassa de chapisco feita em obra, esquadrias pré-instaladas e protegidas e mão-de-obra própria com bonificação por produtividade. A prévia colocação das esquadrias tinha a função de facilitar o acabamento dos requadros. A proteção utilizada nas mesmas era retirada após o término da fachada, evitando que fossem danificadas ou sujassem.

Dos onze blocos de apartamentos, a equipe A produziu os blocos 5 e 6, a equipe B produziu alguns panos de fachada do bloco 11 e a equipe C produziu alguns panos dos blocos 10 e 11.

#### 5.3.2.1 Sistema mecanizado

A figura 50 representa a seqüência de produção realizada pela equipe A do sistema mecanizado para a produção de revestimento. Existem várias etapas de produção, que são realizadas por diferentes subequipes da equipe A. Isso ocorre porque esse sistema precisa

manter a bomba de argamassa sempre em funcionamento para aumentar a produtividade, diluindo o custo de aluguel do equipamento. Essa organização permitia que as atividades fossem realizadas de forma paralela, mas, por outro lado, era mais complexa, exigindo maior planejamento para se obter a sincronização das subequipes.

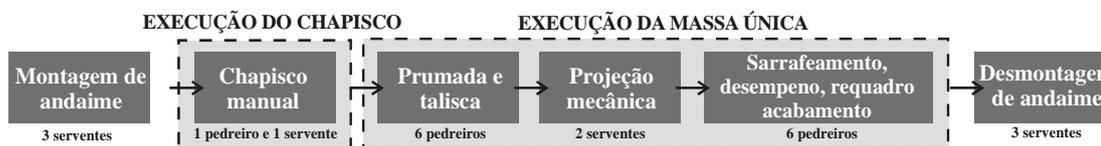


Figura 50: seqüência de produção do sistema mecanizado

Pelo gráfico de balanceamento das subequipes da equipe A do sistema mecanizado observa-se que existem perdas por ociosidade dos andaimes, pois em alguns turnos não havia nenhuma subequipe trabalhando em determinados panos de fachada (figura 51). Além disso, em alguns turnos não havia produção de revestimento (R) e, portanto, a bomba de argamassa estava ociosa. A subequipe de chapisco e a subequipe de montagem e desmontagem de andaime não estavam produzindo chapisco (C) e montando ou desmontando andaime (M ou D) em todos os turnos, ou seja, ou estavam ociosas ou haviam sido deslocadas para outra atividade na obra.

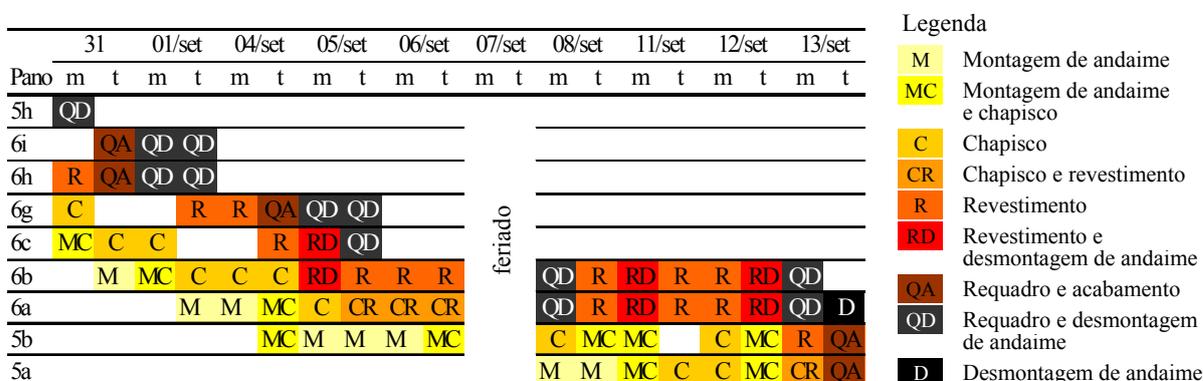


Figura 51: balanceamento das subequipes da equipe A

Ressalta-se que a empresa não segue a recomendação de tempo de cura do chapisco entre dois e três dias conforme a NBR 7200 (ABNT, 1998). Mas, após a produção do revestimento com argamassa, a empresa aguardava no mínimo 28 dias para executar a pintura. Porém, a produção desse acabamento não foi acompanhada pela pesquisadora.

As características desse sistema eram:

- a) central própria para produção de argamassa de projeção localizada no térreo, sempre junto à fachada que estava sendo produzida. Possui bomba de

argamassa e argamassadeira alugados e um reservatório de água, que eram controlados por um servente treinado;

- b) argamassa de chapisco produzida pela central de argamassa que atende o sistema manual, a mistura era feita em betoneira e realizada pelo mesmo servente que atendia a produção de argamassa de chapisco e de massa única das equipes do sistema manual e de outras equipes da obra;
- c) argamassa industrializada e específica para projeção na produção de massa única que, segundo o fabricante, possui resistência à compressão aos 28 dias conforme NBR 13279 (ABNT, 1995) de 4,9 MPa, capacidade de retenção de água conforme NBR 13277 (ABNT, 1995) de 94,4% e teor de ar incorporado conforme NBR 13278 (ABNT, 1995) de 22,1%;
- e) montagem e desmontagem de andaimes fachadeiros feita por subequipe com três serventes;
- f) aplicação de chapisco feita por subequipe de um pedreiro e um servente;
- g) prumo e taliscamento feito por subequipe de seis pedreiros;
- h) aplicação de argamassa para revestimento com bomba de argamassa por um servente treinado (figura 52a) e apoiado pelo servente da central de argamassa do sistema mecanizado;
- i) sarrafeamento, desempenho, requadro e acabamento do revestimento feito pela mesma subequipe de seis pedreiros (figura 52b).



Figura 52: projeção de argamassa (a) e aplicação, sarrafeamento e desempenho (b)

O uso de andaime fachadeiro foi importante para essa forma de organização do sistema mecanizado, pois permitiu que várias subequipes trabalhassem simultaneamente no mesmo pano de fachada, facilitando o planejamento da produção.

Parte da seqüência de produção pode ser observada na figura 52b, enquanto a aplicação mecânica de argamassa era realizada por um operário, outra subequipe o acompanhava fazendo o sarrafeamento, desempeno, acabamento e requadro. Ou seja, havia uma relação de interdependência entre as duas etapas, pois a segunda dependia da quantidade de argamassa aplicada pela primeira, enquanto essa só podia aplicar a quantidade de argamassa que a segunda tinha capacidade de sarrapear, desempenar e dar acabamento. A etapa de aplicação de argamassa “puxava<sup>19</sup>” a produção, pois o operário dessa etapa ligava e desligava a bomba de argamassa através de um controle localizado no bico de projeção, determinando quando o servente da central devia produzir mais argamassa.

O mapofluxograma da figura 53 mostra o fluxo de argamassa no canteiro para a produção dos panos de fachada 6i e 6h, bem como a localização dos estoques e da central de argamassa. O fluxo do sistema mecanizado apresentava 10 atividades, dessas apenas 20% eram de transformação. Existiam dois estoques de argamassa seca, um geral, no local de recebimento e inspeção do material, e outro junto à central de argamassa para atender a produção diária. Existia ainda um estoque de argamassa fresca no tanque da bomba para garantir o fornecimento contínuo do material à subequipe de projeção.

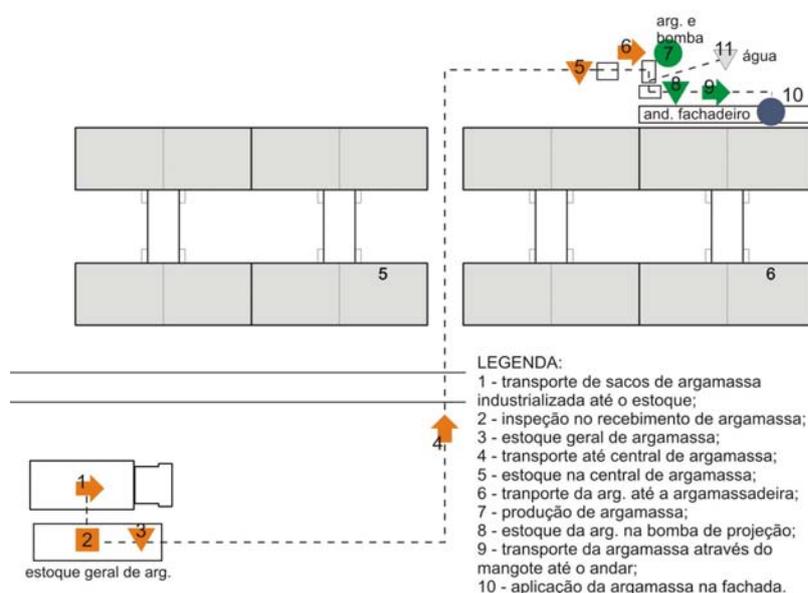


Figura 53: mapofluxograma do sistema mecanizado

Nesse sistema, o transporte de argamassa em sacos era realizado por vários serventes da obra. A argamassa somente saía do saco ao ser introduzida na argamassadeira, o que tornava o

<sup>19</sup> “Puxar” é, segundo Rother e Shook (1999), um método para controlar a produção entre dois fluxos. Puxar a produção é uma maneira de dizer ao processo anterior o que deve ser produzido e quando deve ser produzido com o objetivo de tornar a produção enxuta.

processo mais limpo. O transporte de argamassa fresca também era um ponto positivo desse sistema, o material saía da argamassadeira diretamente para a bomba de argamassa e era transportado até o bico de projeção continuamente através de um mangote (figura 54).

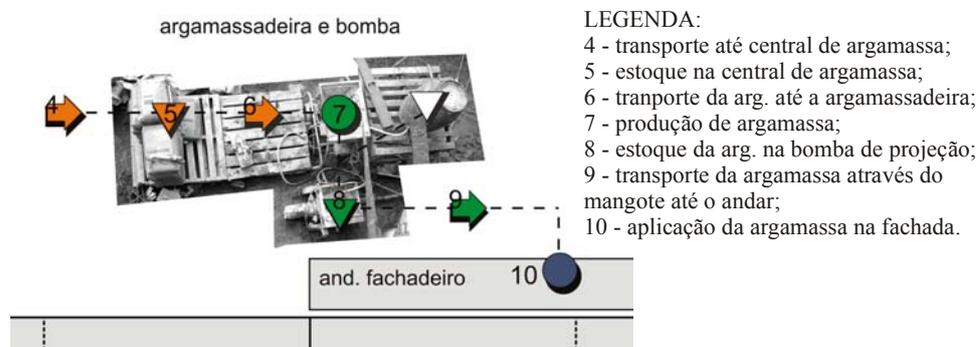


Figura 54: central de argamassa do sistema mecanizado

### 5.3.2.2 Sistema manual

A seqüência de atividades das equipes do sistema manual (figura 55) era mais simples que a do sistema mecanizado. Existiam apenas três etapas, as quais eram realizadas pela mesma equipe, isto é, as atividades não eram paralelas, portanto, assim que uma terminava, a outra podia iniciar, facilitando a organização do trabalho.

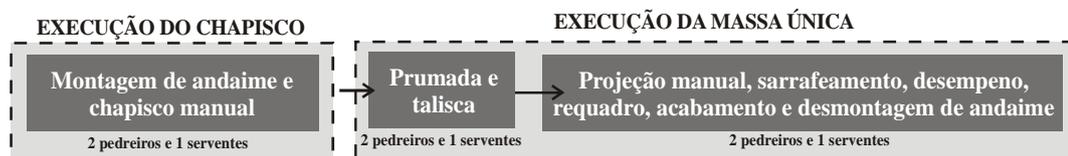


Figura 55: seqüência de produção do sistema manual

A equipe subia montando o andaime fachadeiro e chapiscando. Após executava a prumada e o taliscamento para depois descer desmontando o andaime e executando a massa única de revestimento. Com isso, não havia paradas entre as etapas de produção. A produção do revestimento era iniciada sem aguardar o tempo de cura do chapisco, em desconformidade com a NBR 7200 (ABNT, 1998). Após a produção do revestimento à base de argamassa, a empresa aguardava no mínimo 28 dias para, então, executar a pintura.

O mapeamento do fluxo de valor e a simulação computacional confirmaram que esse sistema era bastante simples. A figura 56 mostra as etapas de produção da equipe C nos panos 11n, 10g, 11j, 10f e 10d. Observa-se que assim que etapa terminava, a outra iniciava, sem haver perdas por espera entre elas. Assim, a mão-de-obra e os equipamentos não ficavam ociosos.

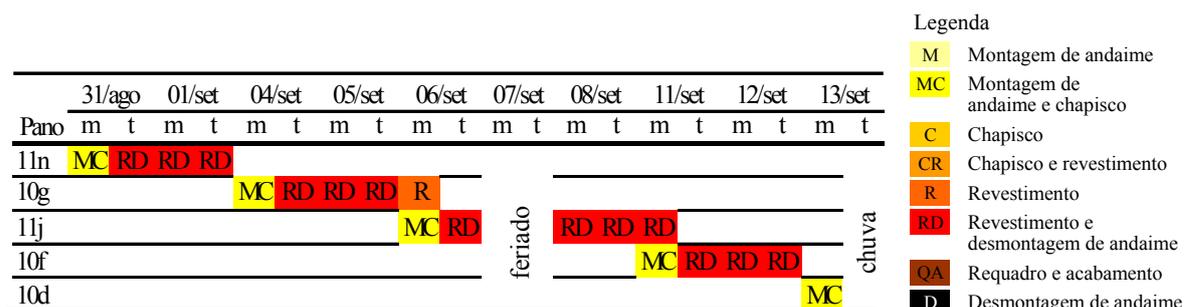


Figura 56: balanceamento da equipe C do sistema manual

As características do sistema manual da empresa são:

- a) central de argamassa (figura 57a) para produção de argamassa de chapisco com betoneira e produção de argamassa para massa única com argamassadeira de eixo horizontal. Era controlada por um servente treinado que atendia também o chapisco do sistema mecanizado e outras equipes da obra;
- b) argamassa feita em obra para chapisco;
- c) argamassa industrializada de uso múltiplo para a produção de massa única que, segundo o fabricante, possui resistência à compressão aos 28 dias conforme NBR 13279 (ABNT, 1995) de 5,3 MPa, capacidade de retenção de água conforme NBR 13277 (ABNT, 1995) de 94,4% e teor de ar incorporado conforme NBR 13278 (ABNT, 1995) de 22,9%;
- d) as atividades da seqüência de produção do sistema manual são realizadas pela mesma equipe, composta por 2 pedreiros e 1 servente (figura 57b);

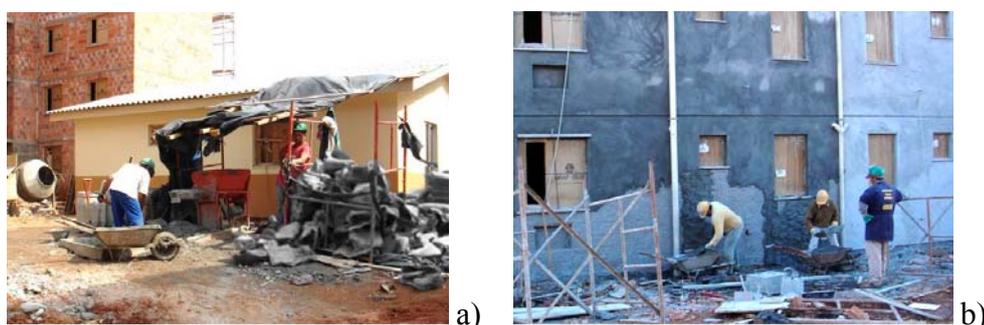


Figura 57: central de argamassa (a) e equipe do sistema manual (b)

Observando-se o fluxo de argamassa no mapofluxograma do sistema manual (figura 58), percebe-se que o mesmo possui 13 atividades, três a mais que o do sistema mecanizado. Dessas, apenas 15% eram de transformação, isto é, atividades que agregam valor ao produto.

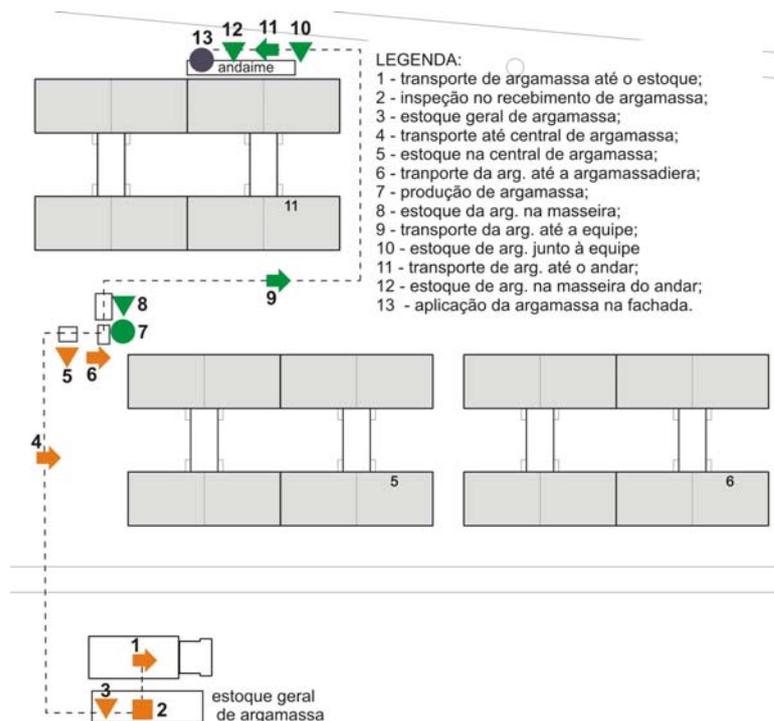


Figura 58: mapofluxograma do sistema manual

Assim como no sistema mecanizado, existiam dois estoques de argamassa seca, um geral, no local de recebimento e inspeção do material, e outro junto à central de argamassa (figura 57a) para atender a produção diária. Além desses, existiam outros três estoques de argamassa pronta. Um na masseira que ficava junto à central de argamassa, onde os serventes abasteciam as gericas, e outro na própria gerica, junto à equipe de produção B e C. Por fim, existia um estoque na masseira do andar onde estava sendo produzido o revestimento.

Ao chegar à obra, a argamassa era transportada do caminhão até o estoque geral por vários serventes, que deixavam suas atividades para esse fim. O transporte dos sacos entre o estoque geral e o estoque diário era feito por serventes. A argamassa fresca era transportada da central até a equipe de aplicação através de gericas pelo servente. A argamassa era então transportada até o andar do andaime por corda e roldana e com balde de pedreiro.

Portanto, comparando o mapofluxograma dos processos dos dois sistemas, pode-se afirmar que o sistema manual possui mais atividades, sendo elas de estoque e de transporte.

### 5.3.3 Produtividade

A média de produtividade do sistema mecanizado em 5 panos de fachada de revestimento de argamassa (509,54 m<sup>2</sup>) considerando a mão-de-obra desde a montagem até a desmontagem de

andaime e da produção de argamassa foi de 1,14 Hh/m<sup>2</sup> (tabela 19). Enquanto a produtividade dos pedreiros na etapa de produção de massa única foi de 14,79 m<sup>2</sup>/dia por pedreiro. No entanto, as duas melhores equipes do sistema manual (equipes B e C) apresentaram resultados superiores. As mesmas produziram 11 panos de fachada (678,30 m<sup>2</sup>) com as mesmas características arquitetônicas das fachadas do sistema mecanizado, obtendo média de 1,00 Hh/m<sup>2</sup> e de 16,43 m<sup>2</sup>/dia por pedreiro.

Tabela 19: média de produtividade dos sistemas

Sistema	Produtividade	
	(Hh/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /dia por pedreiro)
Sistema mecanizado	1,14	14,79
Sistema manual	1,00	16,43

Ressalta-se ainda que no sistema manual a etapa de desmontagem de andaime era realizada ao longo da produção de massa única e pela mesma equipe, portanto, a produtividade em m<sup>2</sup>/dia por pedreiro do sistema manual considerou a mão-de-obra tanto da execução da massa única quanto da desmontagem de andaime.

Apesar disso, a empresa apresentava-se satisfeita com o sistema mecanizado, pois, segundo ela, tais índices de produtividade não eram obtidos pelas equipes do sistema manual que foram substituídas. Esses índices não foram informados pela empresa.

Analisando a variação dos resultados de produtividade dos pedreiros apenas na etapa de produção de massa única do sistema mecanizado (tabela 20), percebe-se que os mesmos não são proporcionais ao grau de complexidade do pano de fachada como era esperado.

Tabela 20: produtividade por pano de fachada do sistema mecanizado

Pano de fachada	Área (m <sup>2</sup> )	Requadro	Equipe	Produtividade	
				(Hh/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /dia por pedreiro)
5h Tipo 1	129,92	Sim	A	1,09	15,79
6i Tipo 1	129,92	Sim	A	1,18	12,57
6h Tipo 1	129,92	Sim	A	1,08	15,71
6g Tipo 2	59,89	Não	A	1,36	10,23
6c Tipo 2	59,89	Não	A	1,08	20,00
Média				1,14	14,79

O pano 6g, apesar de não possuir aberturas, obteve produtividade bastante inferior a de todos os demais panos, inclusive aqueles que possuíam muitas aberturas. Essa situação tem duas possíveis causas. A principal é a deficiência de planejamento. No acompanhamento da

produção observaram-se problemas de dimensionamento das equipes para fachadas de diferentes tamanhos, como ocorrido no pano 6g, que possuía uma equipe superdimensionada para aquela área de fachada, resultando em menor produtividade. Tal problema foi solucionado no pano 6c, já que parte da equipe foi deslocada para outras atividades. Houve também problemas de entupimento do mangote da bomba, que acontecia freqüentemente, mas que no pano 6g demorou a ser resolvido, deixando uma grande equipe ociosa.

Como resultados dessas deficiências, panos iguais, 6g e 6c, obtiveram índices muito diferentes, 10,23 e 20 m<sup>2</sup>/dia por pedreiro. Pelas observações em obra, 20 m<sup>2</sup>/dia por pedreiro pode ser obtido com uma melhor utilização da mão-de-obra, e talvez represente o potencial do sistema mecanizado para essa etapa da produção e com essa organização.

Pode-se afirmar, portanto, que o número de requadros não deveria limitar a produtividade da bomba de argamassa, pois quem os executava eram alguns dos operários da subequipe de 6 pedreiros. Conforme a quantidade de requadros, essa subequipe poderia ser ampliada ou reduzida, sem influenciar no trabalho da bomba, mas consumindo mais ou menos Hh/m<sup>2</sup>. Possivelmente detalhes arquitetônicos de fachada, como reentrâncias e saliências, tivessem maior influência sobre a produtividade da bomba, já que exigiam maior cuidado do aplicador.

A partir das observações em obra, pode-se afirmar que os problemas de utilização do equipamento de projeção influenciaram consideravelmente os resultados de produtividade, as interrupções e os atrasos nessa etapa da produção refletiam-se em todo o sistema, prejudicando a busca por sincronismo das equipes de produção. Constantemente o mangote de projeção apresentava entupimentos durante a sua lubrificação para o início do uso, atrasando a projeção de argamassa e deixando ociosas as demais equipes. Podem-se citar três possíveis razões para isso: a principal é a baixa qualificação da mão-de-obra, a segunda são os problemas de composição da argamassa de projeção e a terceira são as deficiências do equipamento. Verificou-se através de observações visuais que o material que ficava retido dentro do mangote era constituído principalmente de agregado miúdo, pela segregação da argamassa que era bombeada muito fluida. A argamassa era produzida mais fluida com o objetivo de lubrificar o mangote. Porém, alguns fabricantes de equipamentos recomendam que a lubrificação seja realizada com nata de cimento, evitando a presença do agregado.

Os problemas com o equipamento fizeram com que os próximos panos de fachada executados pela equipe A, panos 6a, 6b, 5a e 5b, fossem em grande parte produzidos com aplicação manual, mas com organização do trabalho semelhante e com uso da argamassa específica para projeção. Ou seja, os seis pedreiros que executavam o sarrafeamento, desempenho, acabamento

e requadro passaram também a aplicar argamassa manualmente. Já o operário que aplicava argamassa com a bomba passou a auxiliar o trabalho dos pedreiros e do operário da central de argamassa. A produtividade nesses panos foi em média de 11,39 m<sup>2</sup>/dia por pedreiro, ou seja, inferior a dos dois sistemas em estudo. Foram observadas situações em que os pedreiros reclamavam que alguns dos colegas estariam trabalhando menos, ou seja, aproveitando o fato de estarem em uma grande equipe para reduzir o ritmo.

Já ao observar a produtividade das equipes B e C do sistema manual, o maior resultado foi 20,95 m<sup>2</sup>/dia/pedreiro e, assim como no sistema mecanizado, os panos sem requadro (Tipo 2) não obtiveram os melhores índices de produtividade (tabela 21). Mas, os piores desempenhos foram os dos panos Tipo 4, que possuíam muitos requadros e detalhes na fachada, como reentrâncias e saliências.

Tabela 21: produtividade por pano de fachada do sistema manual

Pano de fachada	Área (m <sup>2</sup> )	Requadro	Equipe	Produtividade	
				(Hh/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /dia por pedreiro)
11hi Tipo 1	98,6	Sim	B	0,94	18,33
11h Tipo 1	70,56	Sim	B	1,11	15,17
11n Tipo 2	59,89	Não	C	0,88	20,95
10g Tipo 2	59,89	Não	C	1,11	14,42
11j Tipo 2	59,89	Não	C	1,16	15,67
10d Tipo 3	48,97	Sim	C	0,99	19,13
11d Tipo 3	56,43	Sim	B	1,12	16,00
10f Tipo 3	56,43	Sim	C	0,87	18,39
11f Tipo 3	44,68	Sim	B	1,06	18,72
10e Tipo 4	58,94	Sim	C	1,46	11,13
11e Tipo 4	64,79	Sim	B	1,24	13,13
Média				1,00	16,43

A variação dos resultados das equipes dos dois sistemas foi comparada. O coeficiente de variação de produtividade da equipe B (sistema manual) para panos de fachada Tipo 1 foi de 13,34%, enquanto o da equipe A (sistema mecanizado) para o mesmo tipo de pano foi de 12,50%. Já o coeficiente de variação dos resultados da equipe C (sistema manual) para panos de fachada Tipo 2 foi de cerca de 20,37%, enquanto o da equipe A para o mesmo tipo de pano foi de 45,70%. A causa da alta variabilidade do sistema mecanizado nos panos do tipo 2 deve ter sido os problemas de planejamento e de preparação da bomba de argamassa.

Foram percebidas através de observações e entrevistas com os participantes do processo de produção que os bons índices de produtividade do sistema manual são influenciados pela forma de remuneração dos operários, os quais recebem por produção. Além disso, os mesmos

pareciam estar “competindo” com o outro sistema. Por outro lado, a equipe do sistema mecanizado expressou preocupação com a grande produtividade que a mecanização poderia possibilitar. Os operários afirmaram que ficariam sem trabalho antecipadamente em função do uso da bomba de argamassa. Além disso, empresa estava assegurando uma remuneração mínima a esses operários por esse sistema estar sendo usado pela primeira vez na empresa.

Comparando a produtividade das empresas E e V com as de Costa (2005), conforme o método de cálculo daquele autor, percebe-se o ótimo desempenho da empresa V (figura 59). O sistema manual da empresa V obteve 0,80 Hh/m<sup>2</sup>, enquanto o mecanizado obteve 0,83 Hh/m<sup>2</sup>. A empresa E obteve produtividade de 1,25 Hh/m<sup>2</sup>. Dois fatores foram significativos para a melhor produtividade do sistema mecanizado da empresa V em relação ao sistema mecanizado da empresa E. Um deles foi o uso de andaimes fachadeiros, que facilitou o planejamento da produção e permitiu o trabalho simultâneo de várias subequipes no mesmo pano de fachada. O outro foi a utilização de uma subequipe que atendesse exclusivamente a etapa de projeção mecânica, diminuindo a ociosidade da mão-de-obra.

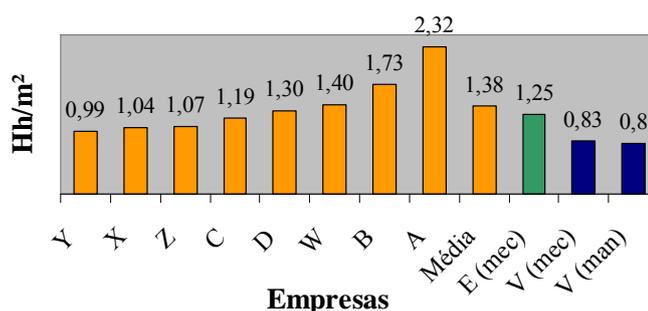


Figura 59: produtividade de oito empresas e da empresa em estudo (adaptado de COSTA, 2005)

Utilizando esse mesmo critério de cálculo de produtividade para os panos 6a, 6b, 5a e 5b, produzidos pela equipe A com aplicação manual e argamassa específica para projeção, a média foi de 1,00 Hh/m<sup>2</sup>, ou seja, inferior aos dois sistemas da empresa V.

Todas essas análises de produtividade permitem afirmar que, ao comparar o sistema mecanizado e o manual, existe diferença entre o desempenho de todo o sistema e o desempenho da etapa de execução de revestimento em massa única. A produtividade dessa etapa foi semelhante nos dois sistemas (0,80 e 0,83 Hh/m<sup>2</sup>), sendo um pouco superior no manual. Mas, comparando a produtividade de todas as etapas de produção, o desempenho do sistema manual foi superior ao mecanizado (1,00 e 1,14 Hh/m<sup>2</sup>). Isso ocorreu não somente em função da variabilidade da mão-de-obra, mas também pela organização do sistema mecanizado, que não conseguia sincronizar as subequipes de produção.

### 5.3.4 Consumo de materiais

O acompanhamento do consumo de argamassa revelou diferenças importantes entre os sistemas. O consumo do sistema mecanizado, média de 43,22 kg/m<sup>2</sup> (tabela 22), foi menor que o consumo obtido pelas equipes B e C do sistema manual, 85,87 kg/m<sup>2</sup> e 64,64 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente (tabela 23).

Tabela 22: consumo de argamassa do sistema mecanizado

Pano	Espe- ssura média (cm)	Área (m <sup>2</sup> )	Requadro	Equipe	Consumo (kg/m <sup>2</sup> )
5h Tipo 1	Não obtida	129,92	Sim	A	41,18
6i Tipo 1	1,78	129,92	Sim	A	44,07
6h Tipo 1	2,15	129,92	Sim	A	46,18
6g Tipo 2	1,83	59,89	Não	A	41,32
6c Tipo 2	1,68	59,89	Não	A	41,32
Média					43,22

Tabela 23: consumo de argamassa do sistema manual

Pano	Espe- ssura	Área (m <sup>2</sup> )	Requadro	Equipe	Consumo (kg/m <sup>2</sup> )
11hi Tipo 1	1,95	98,6	Sim	B	80,99
11h Tipo 1	1,79	70,56	Sim	B	91,41
11n Tipo 2	2,02	59,89	Não	C	71,48
10f Tipo 3	2,50	56,43	Sim	C	61,40
10d Tipo 3	2,00	48,97	Sim	C	60,03
11g Tipo 2	1,94	59,89	Não	B	87,38
Média: equipe C					64,64

O registro da argamassa consumida era realizado pelos próprios operários, que eram orientados a preencher uma planilha diariamente. No entanto, a pesquisadora também fez o acompanhamento de consumo de um dos panos para conferência, revelando que os dados coletados pela equipe B não estavam corretos. Por esse motivo, foram considerados apenas os dados da equipe C para avaliação do sistema.

A espessura do revestimento influenciou ligeiramente nas diferentes taxas de consumo. Registraram-se médias de 1,81 cm no sistema mecanizado e 1,93 cm no manual, valores próximos ao especificado pela empresa, 2,0 cm. No entanto, a NBR 13749 (ABNT, 1996) recomenda espessura mínima de 2 cm para que sejam atendidos os requisitos de desempenho. O levantamento mostrou que em ambos os sistemas a variação de espessura não é alta, concentrando-se entre 1 e 2,9 cm (figura 60), portanto o custo não se elevaria muito se utilizada a espessura mínima especificada pela norma.

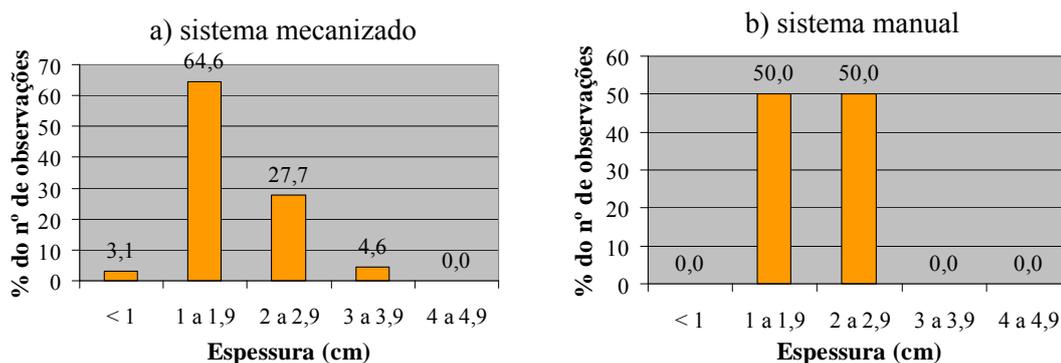


Figura 60: distribuição das espessuras do sistema mecanizado (a) e do sistema manual (b)

### 5.3.5 Perdas

A amostragem de trabalho dos operários do sistema mecanizado das etapas de produção de argamassa pra revestimento, aplicação de argamassa, sarrafeamento, desempenho e requadro revelou que os serventes utilizavam 40% de tempo em atividades improdutivas e os pedreiros 23,5% de tempo (figura 61). A bomba de argamassa apresentou-se 33,3% improdutivo. Entre os serventes, as principais atividades improdutivas foram: operário esperando atividade (18,7% das observações), operário deslocando-se (6,8% das observações), operário parado sem motivo aparente (3,5% das observações) e operário não encontrado (3,2% das observações). Entre os pedreiros foram: operário deslocando-se (6,6% das observações), operário esperando atividade (5,9% das observações), operário parado sem motivo aparente (5,3% das observações) e necessidades pessoais (2,3% das observações).

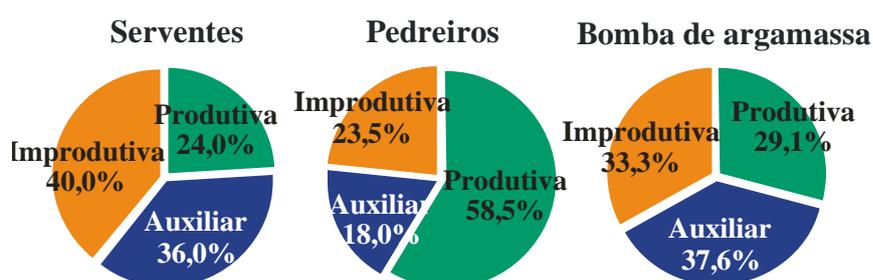


Figura 61: resultado da amostragem do sistema mecanizado

Os tempos auxiliares das equipes e equipamento também não agregam valor ao produto final. Os pedreiros obtiveram 18% de tempos auxiliares, a bomba de argamassa obteve 37,6% e os serventes 36% (figura 61). Apesar das atribuições dos serventes serem tipicamente auxiliares, eles executavam atividades produtivas, como produção e aplicação de argamassa na fachada.

As principais atividades auxiliares realizadas pelos serventes foram: limpeza e organização

dos equipamentos e ferramentas (10,7% das observações), preparação dos equipamentos e ferramentas (8,9% das observações), transporte dos equipamentos e ferramentas (7,0% das observações) e desentupimento dos equipamentos (5,4% das observações). As principais atividades auxiliares dos pedreiros foram: transporte das ferramentas e equipamentos (5,3% das observações), colocação das peças de madeira para arremates (1,8% das observações), troca de informações (1,6% das observações), limpeza da fachada (1,6% das observações) e montagem e desmontagem de andaime (1,6% das observações).

O índice de ociosidade do equipamento de projeção permite afirmar que a produtividade do sistema ainda não está sendo limitada pelo potencial do equipamento, já que o mesmo está subutilizado. Percebe-se em obra que as atividades de sarrafeamento e desempenho não acompanham o ritmo da aplicação mecânica de argamassa e que os pedreiros dessa atividade estão com alto índice de tempos produtivos, 58,5%. Além disso, a ociosidade do equipamento é gerada pelo encerramento do seu uso em média 2 horas antes das demais atividades, e apenas cerca de  $\frac{1}{4}$  desse tempo é compensado em outros horários, principalmente no início do dia. Essa situação é ocasionada pela necessidade de execução manual do sarrafeamento e desempenho após a aplicação de argamassa. Portanto, o equipamento estava projetando uma quantidade máxima de argamassa para que as demais atividades pudessem ser finalizadas dentro do horário de expediente. Portanto, era necessário aumentar a capacidade produtiva da subequipe de sarrafeamento e desempenho para reduzir a ociosidade da bomba de argamassa.

Além disso, as altas porcentagens de atividades auxiliares dos serventes e da bomba deviam-se à necessidade de um grande tempo de preparação e limpeza do equipamento no início e no fim de sua utilização e dos entupimentos do mangote da bomba de argamassa. Isso fazia com que a subequipe de sarrafeamento e desempenho ficasse parada, esperando atividade. Portanto, a maior velocidade de aplicação proporcionada pela bomba de argamassa não necessariamente se refletia na produtividade final do processo.

Os resultados da amostragem de trabalho das equipes do sistema manual, B e C, demonstraram que os pedreiros apresentavam altos índices de tempos produtivos (figura 62), podendo-se concluir que o sistema poderia estar próximo do potencial máximo de produtividade, apresentando pequenas perdas de mão-de-obra.

O elevado tempo improdutivo dos serventes demonstra sua subutilização. No entanto, a empresa mantinha-os para garantir que o trabalho dos pedreiros não seria paralisado por falta de argamassa. Porém, a amostragem de trabalho revelou que a maior parcela dos tempos improdutivos dos pedreiros ocorreu por falta de material. Além da falta de material, que deixou os pedreiros ociosos em 4,8% do tempo, as principais atividades improdutivas dos

mesmos foram: operário deslocando-se (2,4% das observações), operário esperando atividade (2,3% das observações) e necessidades pessoais (1,8% das observações). Já entre os serventes foram: operário esperando atividade (29% das observações), operário não encontrado (11,3% das observações), operário deslocando-se (6,0% das observações) e executando outro serviço.

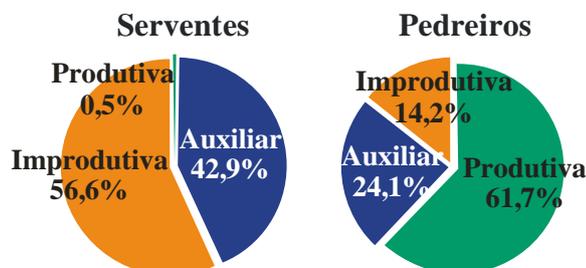


Figura 62: resultado da amostragem do sistema manual

As principais atividades auxiliares dos serventes foram: fornecimento de argamassa aos pedreiros (13,7% das observações), transporte de argamassa (11% das observações), limpeza e organização do local de trabalho (5,7% das observações) e transporte de equipamentos e ferramentas (4,2% das observações). As principais atividades auxiliares dos pedreiros foram: montagem e desmontagem de andaime (5,6% das observações), recebimento de argamassa do servente (3,4% das observações), colocação das peças de madeira para arremates (2,5% das observações) e transporte dos equipamentos e ferramentas (2,1% das observações).

Os pedreiros dos dois sistemas, mecanizado e manual, obtiveram tempos produtivos muito bons, já que médias de 55 a 60% são obtidas excepcionalmente e conforme a natureza do trabalho (figura 63).

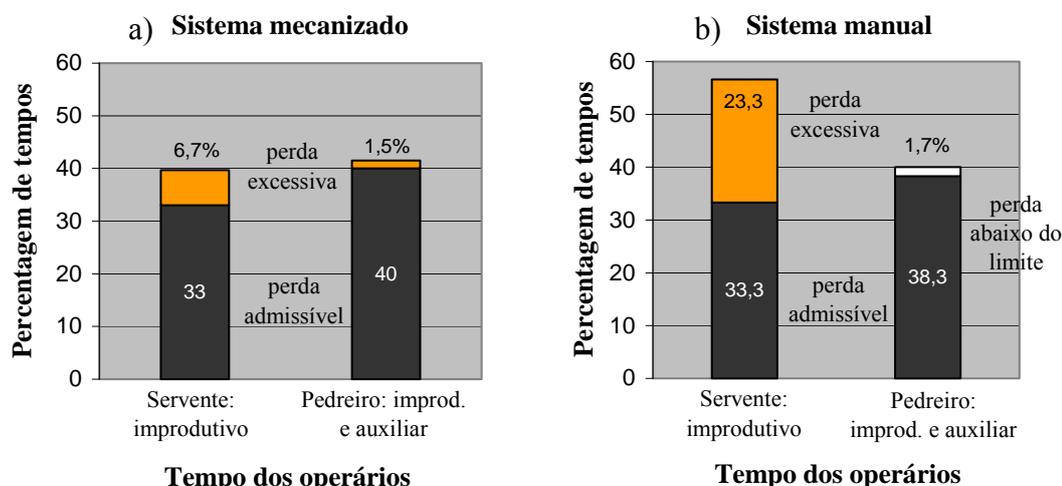


Figura 63: perdas de mão-de-obra no sistema mecanizado (a) e manual (b)

Essa situação se refletiu nos índices de produtividade, que foram altos. No entanto, os serventes obtiveram tempos improdutivos elevados, 40% no sistema mecanizado e 56,6% no sistema manual, ou seja, acima dos 33,3% considerados ótimos.

O tempo de desmobilização das subequipes dos dois sistemas durante a produção de revestimento e a ociosidade dos equipamentos ao longo dessa etapa também foi quantificada. Durante a execução da etapa de revestimento dos panos 6h, 6i, 6g e 6c, as subequipes de produção de massa única do sistema mecanizado trabalharam em 100% dos turnos de trabalho. No entanto, em 25,0% deles, a subequipe de aplicação de argamassa não pode produzir revestimento, ficando apenas com atividades de auxílio à equipe de acabamento. Isso ocorreu porque a etapa de produção de requadros, que era realizada simultaneamente ao revestimento, estava atrasada. Assim, nesses turnos, os operários responsáveis pelo sarrafeamento, desempenho, requadro e acabamento passaram a produzir apenas requadros, gerando também a ociosidade da bomba de projeção e de alguns andaimes.

Além disso, a bomba de argamassa ficou 25,0% de turnos ociosos e os andaimes fachadeiros ficaram em média de 25,9% dos turnos ociosos ao longo da execução da etapa de revestimento. Já a argamassadeira da central de produção do sistema mecanizado esteve sempre em funcionamento, pois mesmo que não estivesse sendo projetada argamassa com a bomba, a mesma deveria produzir argamassa para os acabamentos e requadros.

Os panos de fachada 6a, 6b, 5a e 5b também deveriam ter sido produzidos com o sistema mecanizado. Porém, grande parte desses panos foi feita manualmente, pois a bomba de argamassa teve problemas elétricos e o mangote da bomba apresentou entupimentos constantes, impossibilitando a passagem de argamassa.

No sistema manual a única causa de ociosidade das equipes foi a chuva, que resultou na também na ociosidade dos equipamentos. Tanto a equipe B, quanto a C, e os equipamentos utilizados estiveram 10,7% dos turnos ociosos. Além disso, como a mesma equipe era responsável pela produção da etapa de chapisco e de revestimento, a argamassadeira não era utilizada pela equipe durante a produção de chapisco. Porém, esse equipamento estava sempre em funcionamento por atender outras equipes da obra.

Já as perdas de argamassa por produção de revestimento com espessura excessiva foram baixas. Apenas o pano 6h do sistema mecanizado e os panos 10f, 11n e 10e possuíam espessura maior que 2 cm. Portanto, não há grandes perdas de recursos por espessura excessiva, ou seja, o controle da empresa tem sido eficiente nesse aspecto. Os baixos índices podem ter sido obtidos em função da necessidade de controle de prumo da alvenaria

estrutural, mas também por essa edificação ter apenas quatro pavimentos. Mesmo assim, no pano 6h utilizou-se 7,5% a mais de argamassa, o que representa uma perda de 6,6 sacos de 50 kg do material, conforme dados de consumo do fabricante. Enquanto os panos 10f, 11n e 10e do sistema manual utilizaram em média 8,75% a mais de argamassa, ou seja, um total de 9,8 sacos de 50 kg. A produção de revestimentos com espessura excessiva gera também perdas de mão-de-obra e de equipamento, devendo ser controladas.

Além das perdas de argamassa por espessura excessiva, foi calculada a perda desse material ao longo da execução da etapa de revestimento. O levantamento do consumo efetivo revelou que as perdas do sistema manual são muito superiores às perdas do mecanizado (tabelas 24 e 25), devendo-se tanto pela forma de transporte e estoque como de aplicação do produto.

A média de perda de argamassa do sistema mecanizado ficou em 31,08%, enquanto a da equipe B e C sistema manual foi de 139,99% e 88,63%, respectivamente. Porém, como já dito, foram considerados apenas os dados de consumo da equipe C para avaliação desse sistema. A produção da argamassa que foi perdida ao longo do processo também gera perdas de mão-de-obra e equipamento, já que sua produção consome esses recursos.

Tabela 24: perdas de argamassa do sistema mecanizado

Pano	Equipe	Espessura (cm)	Consumo (Kg/m <sup>2</sup> )		Perda (%)		
			Real	Ideal	Ao longo do processo	Espessura excessiva	total
6i	A	1,78	40,02	30,26	32,25	0,00	32,25
6h	A	2,15	46,18	34,00	28,32	7,50	35,82
6g	A	1,83	41,32	31,11	32,82	0,00	32,82
6c	A	1,68					
Média					31,08	2,57	33,65

Tabela 25: perdas de argamassa do sistema manual

Pano	Equipe	Espessura (cm)	Consumo (Kg/m <sup>2</sup> )		Perda (%)		
			Real	Ideal	Ao longo do processo	Espessura excessiva	Total
11h	B	1,79	86,61	28,64	202,40	0,00	202,40
11d	B	2,00	75,48	32,00	135,87	0,00	135,87
11e	B	1,81	48,86	28,96	68,71	0,00	68,71
10f	C	2,50	61,40	32,00	66,87	25,00	91,87
11n	C	2,02	67,43	32,00	109,72	1,00	110,72
10d	C	2,00	60,03	32,00	87,59	0,00	87,59
10e	C	2,02	61,46	32,00	89,17	1,00	90,17
Média: equipe C					88,63	6,84	95,47

Somando as perdas de argamassa ao longo do processo e em espessura excessiva, o sistema mecanizado obteve em média 33,65% de perdas, enquanto a equipe C do sistema manual chegou a 95,47%, valor que pode ser considerado alto se comparado ao desempenho dos processos de produção avaliados por Costa (2005), já que, conforme pode ser visto na figura 64, apenas a empresa Z obteve perdas totais maiores.

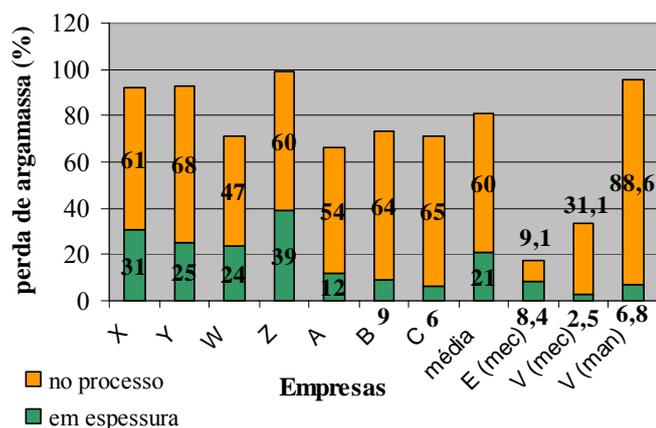


Figura 64: perdas de argamassa (adaptado de COSTA, 2005)

Mas, ao observar apenas as perdas ao longo do processo (figura 64), o sistema manual apresentou o pior desempenho, enquanto o sistema mecanizado da empresa E e da empresa V obtiveram as menores perdas.

Um dos motivos para o bom resultado do sistema mecanizado é que a argamassa é produzida diretamente sobre o tanque de projeção (figura 65a), o qual funciona como estoque e evita desperdícios nessa etapa. Além disso, o transporte contínuo de argamassa pronta através do mangote (figura 66a) até o bico de projeção (figura 66b) evita perdas do produto.



Figura 65: sistema mecanizado (a) e sistema manual (b)

O mesmo não ocorre no sistema manual. A argamassa pronta é estocada em uma masseira e com o auxílio de pás é transferida para gericas (figura 65b), que a transporta até o pano de

fachada em execução. Nesse sistema existem ainda mais dois estoques, no térreo, junto do local de uso, e no andar de aplicação (figura 67a), havendo o transporte entre esses dois estoques através de corda e roldana e com balde de pedreiro (figura 67b), o que gera mais desperdícios de argamassa.

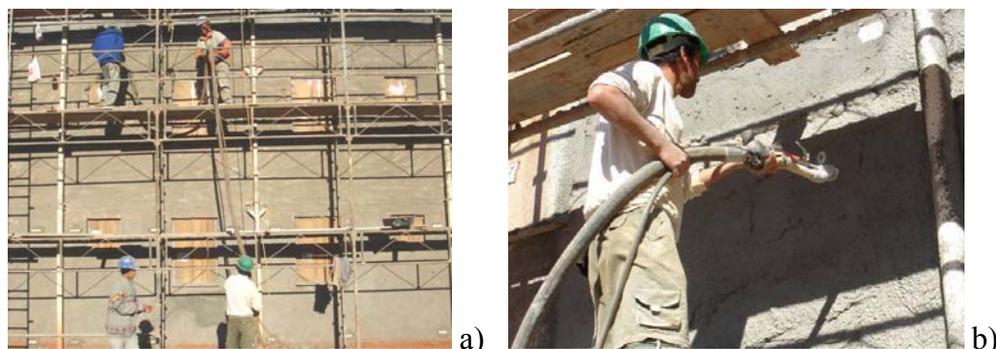


Figura 66: transporte contínuo até o andar (a) e aplicação mecânica (b)

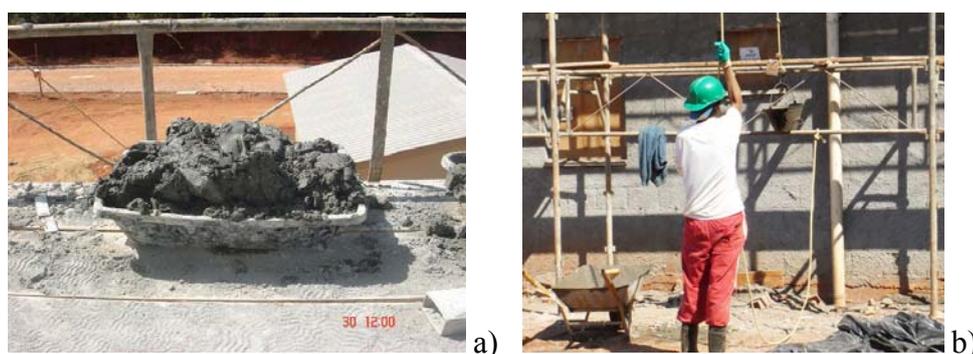


Figura 67: estoque no andar do sistema manual (a) e transporte manual até o andar (b)

Apesar da perda de argamassa ter sido baixa no sistema mecanizado, a identificação da origem dessas perdas (figura 68) revelou que a maior parcela, 90%, ocorria durante as etapas de aplicação e sarrafeamento e desempenho da argamassa (figura 69a). Segundo Fernandes e John (2007), as perdas na aplicação de argamassa são relativas à pressão de operação, podendo ser elevadas quando o material é aplicado com baixa pressão.

As perdas durante a preparação e limpeza dos equipamentos ou por entupimento do mangote (figura 69b) e da argamassadeira foram substancialmente menores, cerca de 9% do total das perdas. Como esperado, a etapa de transporte e estoque de argamassa ainda seca apresentou perdas muito pequenas.

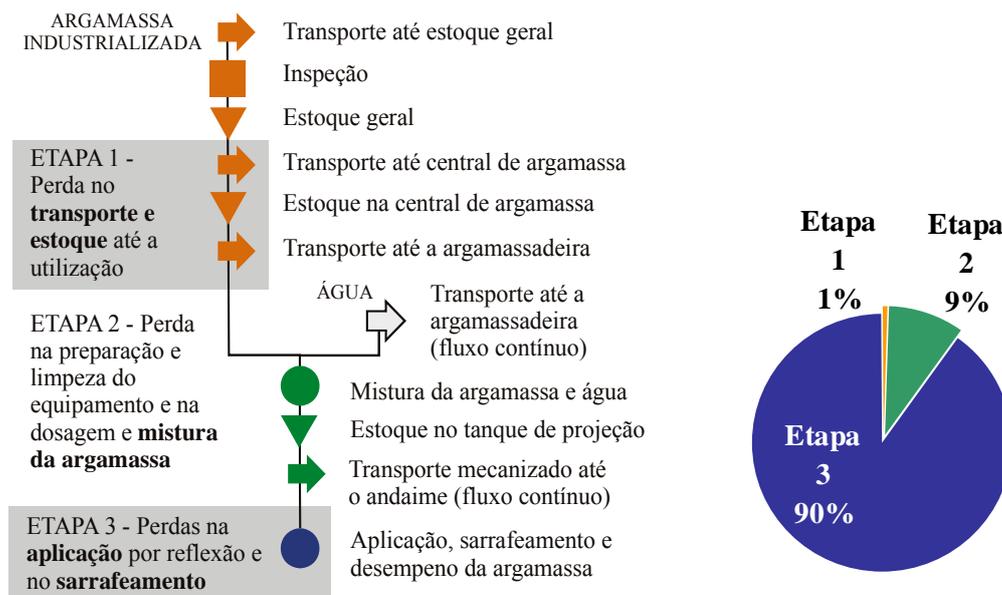


Figura 68: perdas de argamassa ao longo do processo



Figura 69: aplicação, sarrafeamento e desempenho (a) e desentupimento do mangote (b)

Essa análise foi feita apenas para o sistema mecanizado, pois exigia o acompanhamento em período integral pela pesquisadora. Além disso, os dois sistemas foram estudados simultaneamente, exigindo maior dedicação e não sendo possível destiná-lo ao próprio operário. Priorizou-se, então, o sistema mecanizado em função do manual ser um sistema convencional em Porto Alegre e já ter sido estudado por outros pesquisadores.

### 5.3.6 Falhas no produto final

No sistema mecanizado foram constatados apenas dois casos isolados de presença de fissuras de retração nos cinco panos de fachada monitorados (tabela 26). Portanto, esse sistema mostrou-se eficaz na prevenção ao aparecimento de falhas. O mesmo não ocorreu nas fachadas executadas pelas equipes do sistema manual, que apresentaram áreas com fissuração.

Tabela 26: levantamento de falhas do sistema mecanizado

Pano de fachada	Falhas	Orientação solar	Equipe	Tipo	Contagem de falhas
5h	sim	leste	A	fissura de retração	1
6i	sim	leste	A	fissura de retração	1
6h	não	leste	A	-	0
6g	não	sul	A	-	0
6c	não	sul	A	-	0

A equipe B executou os panos 11h, 11i e 11d, os quais apresentaram maior intensidade de fissuração (tabela 27), podendo comprometer a estanqueidade do revestimento e a aderência à base. Duas situações podem ter influenciado no aparecimento das fissuras de retração. Foi constatado visualmente que, ao contrário da equipe C, a equipe B muitas vezes não respeitava o “tempo de puxar” da argamassa para executar o sarrafeamento, talvez com o objetivo de aumentar a produtividade. Além disso, o maior número de estoques de argamassa fresca ao longo do processo nesse sistema permitia que o material ficasse mais tempo parado. Isso pode ter estimulado a adição posterior de água à mistura, sem haver controle. A pesquisadora não presenciou essa última situação, mas a possibilidade deve ser considerada.

Tabela 27: levantamento de falhas do sistema manual

Pano de fachada	Falhas	Orientação solar	Equipe	Contagem de falhas	Tipo
11h	sim	leste	B	68	fissuras de retração
11i	sim	leste	B	10	fissuras de retração
10g	sim	sul	C	2	fissuras de retração
10c	não	sul	C	0	-
11n	não	norte	C	0	-
11d	sim	leste	B	17	fissura de retração
10d	sim	leste	C	5	fissura de retração

No sistema mecanizado não era necessário esperar o “tempo de puxar” para o alisamento da argamassa, pois o fabricante especificava o alisamento do material ainda fresco. Porém, o “tempo de puxar” era recomendado para o sarrafeamento e desempenho finais, o que muitas vezes não era respeitado pelos operários. Mesmo assim, foram constatados apenas dois casos isolados de presença de fissuras nos panos desse sistema. O bom desempenho pode ainda ter sido influenciado pelo reduzido número de estoques de argamassa fresca e pelo transporte contínuo de argamassa da bomba até a aplicação. Essa organização permite maior controle sobre o tempo de uso do material e evita a adição posterior de água à mistura.

Os panos 6a, 6b, 5a e 5b, produzidos pela equipe A com argamassa específica para projeção e com aplicação manual e mecânica de argamassa, apresentaram uma fissura na parte executada com aplicação mecânica e 12 fissuras na manual (tabela 28). Porém, não foram encontradas falhas no pano 5a, que foi produzido principalmente com aplicação manual.

Tabela 28: levantamento de falhas da equipe A com aplicação mecânica e manual

Pano de fachada	Falhas	Orientação solar	Equipe	Contagem de falhas	Tipo
6a	Sim	Oeste	A/mecanizado	1	fissuras de retração
6a	Sim	Oeste	A/manual	3	fissuras de retração
6b	Não	Oeste	A/mecanizado	0	-
6b	Sim	Oeste	A/manual	7	fissuras de retração
5a	Não	Oeste	A/mecanizado	0	-
5a	Não	Oeste	A/manual	0	-
5b	Não	Oeste	A/mecanizado	0	-
5b	Sim	Oeste	A/manual	2	fissuras de retração

A partir desses resultados é possível afirmar que o tipo de argamassa e a mão-de-obra também podem ter influenciado os resultados de qualidade do produto. Mesmo assim, o sistema aqui chamado de mecanizado obteve o melhor desempenho nesse aspecto.

### 5.3.7 Desempenho do produto final

Os ensaios para determinação da resistência de aderência à tração foram realizados em dois momentos, ou seja, contemplando fachadas executadas em dois dias distintos. Em cada um desses dias foram ensaiados três panos de fachada, um de cada equipe de produção. Todos os ensaios foram realizados em substrato de alvenaria de blocos cerâmicos e segundo o procedimento descrito na NBR 13528 (ABNT, 1995). O procedimento de ruptura contou com o aderímetro digital e com os laboratoristas da CIENTEC. O primeiro ensaio foi realizado em revestimentos com 30 dias de idade. Já o segundo ensaio foi realizado em revestimentos já com 42 dias de idade, pois houve problemas de colagem das pastilhas aos 30 dias.

No primeiro ensaio do sistema mecanizado as diferentes resistências de aderência à tração encontradas em um mesmo pano de fachada indicam que pode ter havido falhas na produção (tabela 29). O ponto que apresentou resistência de aderência à tração inferior, com todos os corpos-de-prova abaixo de 0,30 MPa, estava localizado na região onde foi projetada argamassa excessivamente fluida, ou seja, no quarto pavimento do pano 6g (figura 70). Era

comum em obra a argamassa mais fluida, produzida para a lubrificação do mangote, ser aplicada sobre a alvenaria (figura 71). Todos os corpos-de-prova desse ponto romperam na profundidade correspondente àquela camada de argamassa.

Tabela 29: resistência de aderência à tração do sistema mecanizado

Pano/pavto	Orientação solar	Espessura média (cm)	Equipe	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
6g/4°	Sul	2,02	A	0,12	36,2
6g/1°	Sul	1,60	A	0,30	21,9

No ponto que obteve resistência média de 0,30 MPa, primeiro pavimento do pano 6g, não foram constatados problemas de execução, mesmo assim, 50% dos corpos-de-prova apresentaram resistência abaixo de 0,30 MPa. A maioria dos corpos-de-prova rompeu tanto na interface argamassa/chapisco quanto na argamassa.

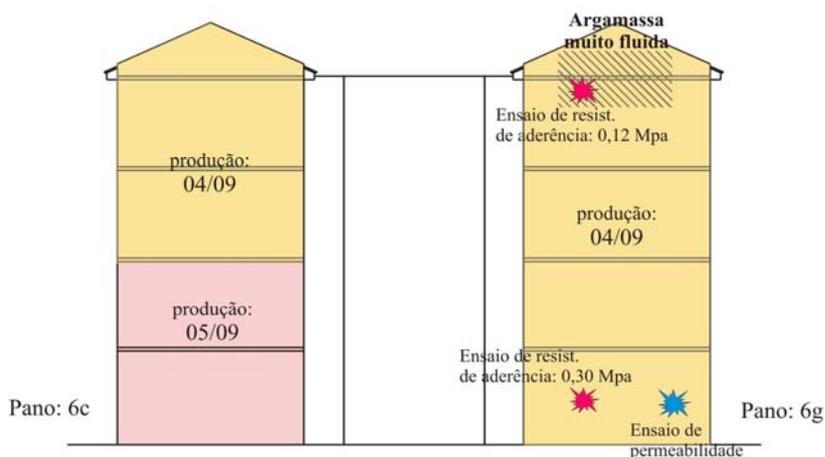


Figura 70: mapeamento do pano 6g e 6c do sistema mecanizado

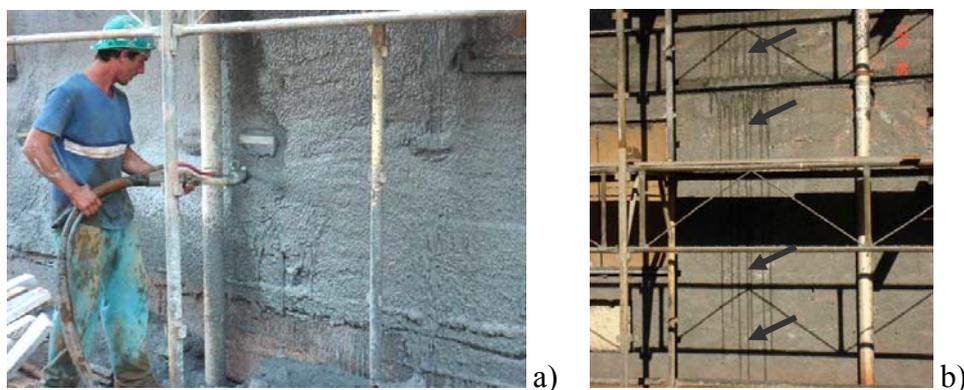


Figura 71: aplicação de argamassa muito fluida (a) e argamassa muito fluida escorrendo pela fachada (b)

O gráfico da figura 72 apresenta o resultado desse ensaio nos dois pontos do pano 6g. A análise estatística de variância (ANOVA) revelou que existe diferença significativa entre a resistência de aderência à tração do revestimento que foi produzido com argamassa muito fluida e daquele em que não foram percebidos problemas durante a produção (tabela 30).

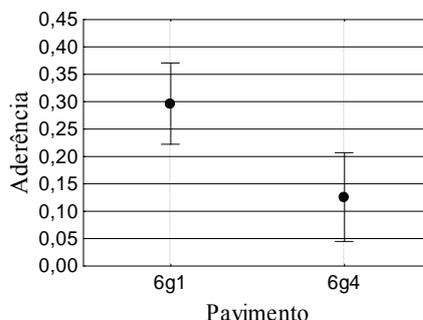


Figura 72: resistência de aderência à tração nos pavimentos do pano 6g

Tabela 30: análise de variância do efeito do uso da argamassa muito fluida

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Fluidez	1	0,079	12,44	0,00644	Sim

Os resultados de resistência de aderência à tração dos quatro pontos do sistema manual no primeiro ensaio estão apresentados na tabela 31 e na figura 73.

Tabela 31: resistência de aderência à tração do sistema manual

Pano/pavto	Orientação Solar	Espessura média (cm)	Equipe	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
11h/1°	Leste	1,97	B	0,18	79,7
11h/2°	Leste	1,67	B	0,18	28,9
10g/2°	Sul	1,64	C	0,16	47,9
10g/4°	Sul	2,41	C	0,18	16,3

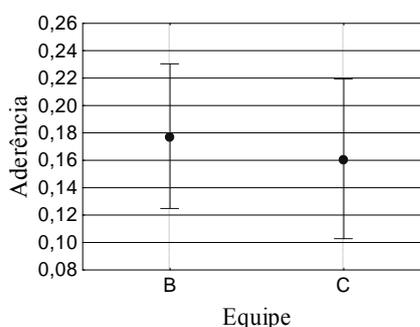


Figura 73: resistência de aderência das equipes B e C

As médias dos resultados desse ensaio foram bem inferiores ao exigido pela norma brasileira e apenas um corpos-de-prova apresentou resistência de aderência maior que 0,30 MPa.

A análise estatística de variância (ANOVA) desses resultados revelou que não há diferença significativa na resistência de aderência à tração dos revestimentos executados pelas equipes B e C (tabela 32). Portanto, as variáveis envolvidas, equipe e orientação solar, podem não ter influenciado os resultados.

Tabela 32: análise de variância do efeito da equipe

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Equipe	1	0,001	0,192	0,66578	Não

Em ambos os sistemas observou-se a aplicação da argamassa de revestimento sobre o chapisco ainda fresco (figura 74). Em um desses locais foi realizado ensaio, mas não foi constatada redução na resistência de aderência à tração, como pode ser observado no resultado do 4º pavimento do pano 10g (tabela 31).

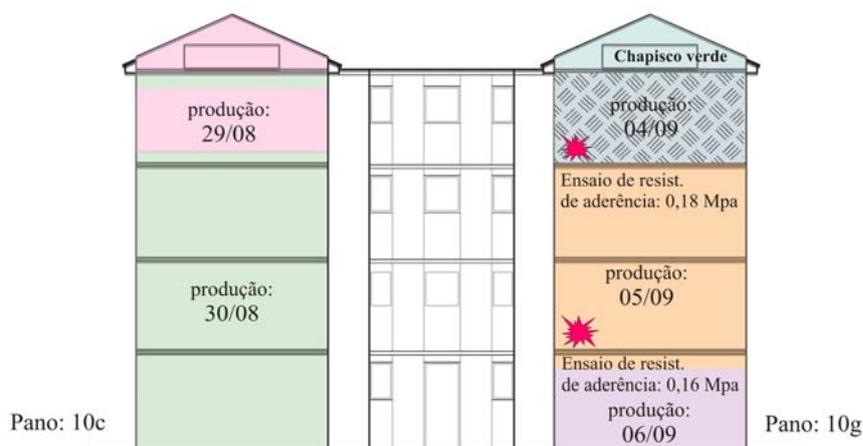


Figura 74: mapeamento do pano 10g e 10c do sistema manual

Analisando todos os resultados do sistema mecanizado e manual nesse primeiro ensaio (figura 75) através da análise estatística de variância (ANOVA) pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre os sistemas (tabela 33). No entanto, isso se deve provavelmente à diferença significativa entre a resistência de aderência à tração dos dois pontos ensaiados do sistema mecanizado, no primeiro e quarto pavimentos do pano 6g (tabela 30).

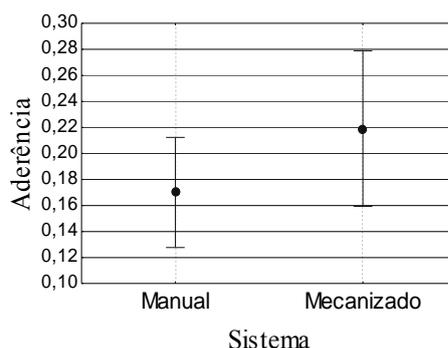


Figura 75: resistência de aderência do sistema manual e mecanizado

Tabela 33: análise de variância do efeito do sistema

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Sistema	1	0,018	1,871	0,18125	Não

O melhor resultado de resistência de aderência à tração nesse primeiro ensaio ocorreu no primeiro pavimento do pano 6g, ou seja, no ponto executado com o sistema mecanizado em que não foram percebidos problemas durante a produção.

Já no segundo ensaio de resistência de aderência à tração foi possível comparar revestimentos executados com o equipamento de projeção e com aplicação manual, ambos da equipe A e com uso de argamassa específica para projeção (tabela 34).

Tabela 34: resistência de aderência à tração da equipe A com aplicação mecânica e manual de argamassa

Pano/pavto	Orientação Solar	Espessura média (cm)	Equipe	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
5a/1°	Oeste	2,00	A/mechanizado	0,39	39,7
5a/1°	Oeste	2,10	A/manual	0,31	35,3
5b/1°	Oeste	1,80	A/manual	0,38	53,8

Todas médias foram satisfatórias, mas 41,6% dos corpos-de-prova da região com argamassa aplicada manualmente e 50% dos corpos-de-prova com aplicação mecanizada de argamassa ficaram abaixo de 0,30 MPa. O uso de argamassa de projeção tanto para a aplicação manual quanto mecanizada pode ter contribuído para que os resultados fossem semelhantes. Mas essa contribuição deve ser mais testada, assim como a influência dessa argamassa nos menores índices de falhas encontrados no sistema mecanizado. No entanto, o uso dessa argamassa em sistemas manuais pode não ser viável economicamente, pois esse material tem um custo mais elevado e as perdas de argamassa do sistema manual são altas.

A análise estatística de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos revestimentos executados pela equipe A com aplicação mecânica e manual de argamassa revelou que não existe diferença significativa nos pontos ensaiados (tabela 35). A figura 76 mostra as resistências de aderência à tração com aplicação mecânica e manual de argamassa.

Tabela 35: análise de variância do efeito do tipo de aplicação de argamassa

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Aplicação	1	0,007	0,282	0,60247	Não

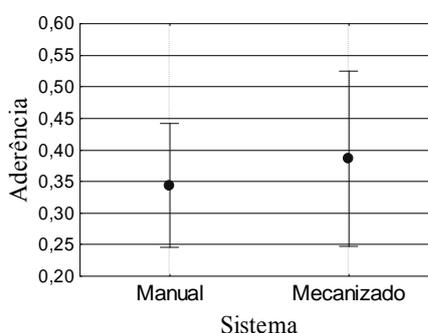


Figura 76: resistência de aderência dos revestimentos da equipe A

Nesse segundo ensaio foi determinada também a resistência de aderência à tração das equipes B e C do sistema manual (tabela 36). Nesse ensaio 50% dos corpos-de-prova da equipe B e apenas 16,6% dos da equipe C tiveram resistência abaixo de 0,30 MPa.

Tabela 36: resistência de aderência à tração do sistema manual

Pano/pavto	Orientação Solar	Espessura média (cm)	Equipe	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
11f/1°	Oeste	2,10	B	0,26	48,6
10d/1°	Leste	2,00	C	0,39	26,3

Os ensaios mostraram que o revestimento da equipe C obteve maior média que o da equipe B (figura 77), obtendo resultado semelhante ao do sistema mecanizado, mas com argamassa de uso múltiplo. A análise estatística de variância (ANOVA) revelou que a diferença entre os revestimentos da equipe B e da C não é significativa, mas chegou a um valor-p próximo de 0,05, ou seja, 0,07100 (tabela 37). Esses resultados demonstram que pode haver grande influência da mão-de-obra no desempenho desse sistema. Além disso, a variabilidade do substrato e dos materiais e a orientação solar do pano também poderiam estar influenciando.

Tabela 37: análise de variância do efeito da equipe

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Equipe	1	0,055	4,080	0,07100	Não

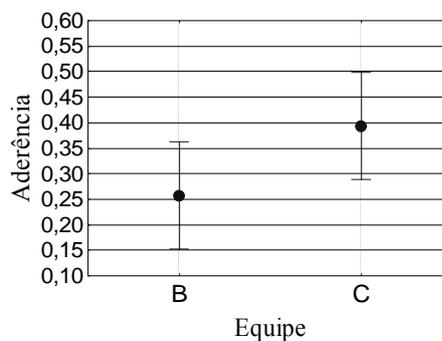


Figura 77: resistência de aderência à tração dos revestimentos das equipes B e C

A partir de todas essas análises pode-se dizer que, apesar da etapa de aplicação de argamassa do sistema mecanizado ser menos dependente em relação à mão-de-obra que o sistema manual, ainda há variações na qualidade do produto que possivelmente foram causados pela projeção de argamassa muito fluida. Portanto, essa etapa da produção deve ser alvo de melhorias, já que pode comprometer o desempenho do revestimento.

A empresa também forneceu o histórico de resistência de aderência à tração do revestimento dessa obra (tabela 38). Por esses resultados, o revestimento do sistema mecanizado apresentou melhor desempenho na resistência de aderência à tração.

Tabela 38: histórico de resistência de aderência à tração

Orientação solar	Espessura média (cm)	Sistema	Resistência média (MPa)	Coefficiente de variação (%)
Leste	2,0	Manual	0,18	32,0
Leste	1,9	Mecanizado	0,32	34,0
Leste	2,2	Manual	0,19	81,0
Sul	2,1	Manual	0,30	24,0
Oeste	1,4	Mecanizado	0,44	10,0

O comportamento do revestimento em relação à permeabilidade foi semelhante ao comportamento do mesmo no segundo ensaio de resistência de aderência à tração. Como visto na tabela 40, os revestimentos da equipe C obtiveram desempenho superior aos da equipe B. Já os revestimentos executados pela equipe A do sistema mecanizado (tabela 39) obtiveram desempenho superior aos da equipe B, mas inferior aos da equipe C.

Tabela 39: permeabilidade à água do sistema mecanizado

Pano	Equipe	Condição climática	Orientação solar / data de ensaio	Absorção em 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
6h	A	Calor/sol	Leste / 27.09	1,05	0,059	75,2
6g	A	Calor /	Sul / 02.10	1,65	0,088	8,6
5a	A	sombra	Oeste / 13.10	0,55	0,029	36,7

Tabela 40: permeabilidade à água do sistema manual

Pano	Equipe	Condição climática	Orientação solar / data de ensaio	Absorção em 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
11i	B	Calor/sol	Leste / 27.09	1,50	0,107	74,9
11h	B	Calor / sombra	Leste / 02.10	2,25	0,125	12,0
10d	C	Úmido /	Leste / 16.10	0,33	0,017	16,1
10e	C	sombra	Sul / 16.10	0,23	0,013	30,6
10d	C	Sombra	Leste / 20.10	0,30	0,015	47,1

No entanto, em ambos os sistemas observou-se grande variabilidade nos resultados, como o ocorrido no pano 6h do sistema mecanizado e no pano 11i da equipe B do sistema manual. Esse ensaio mostrou-se bastante sensível às variações de clima e às condições do substrato no momento de sua realização, apresentando-se pouco adequado ao uso em obra. Portanto, a comparação de dados entre os sistemas deve ser mais confiável se considerar os ensaios realizados no mesmo dia e em fachadas com a mesma insolação.

A partir disso, foram comparados os resultados dos ensaios realizados nos dias 27/09 e do dia 02/10. Nesses ensaios a média de permeabilidade do revestimento do sistema mecanizado foi menor que a média do revestimento da equipe B do sistema manual (figura 78). Porém, a análise estatística de variância (ANOVA) revelou que essa diferença não foi significativa nos ensaios do dia 27/09 (tabela 41), mas foi significativa nos ensaios do dia 02/10 (tabela 42).

Tabela 41: análise de variância do efeito do sistema no ensaio do dia 27/09

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Sistema	1	0,004	0,814	0,40168	Não

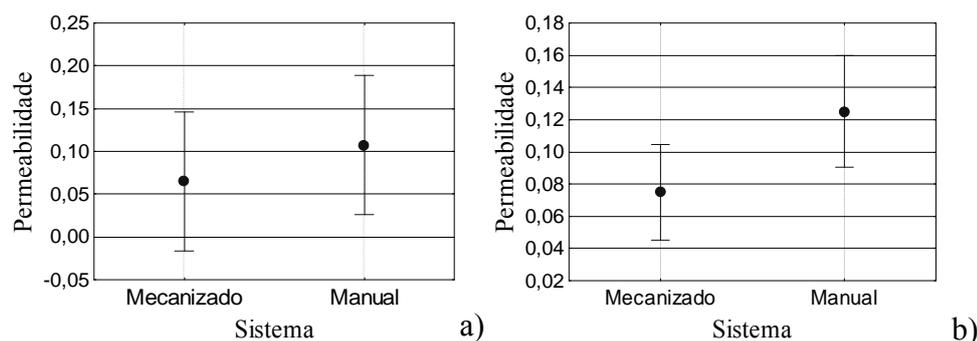


Figura 78: permeabilidade do revestimento da equipe A do sistema mecanizado e da B do sistema manual no dia 27/09 (a) e no dia 02/10 (b)

Tabela 42: análise de variância do efeito do sistema no ensaio do dia 02/10

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Sistema	1	0,004	7,937	0,03723	Sim

Foi possível também comparar a permeabilidade do revestimento executado pela equipe A com argamassa específica para projeção tanto com aplicação mecânica quanto manual de argamassa (tabela 43).

Tabela 43: permeabilidade à água da equipe A com aplicação mecanizada e manual

Pano	Condição climática	Orientação solar / data de ensaio	Equipe / Aplicação	Absorção em 15 minutos (ml)	Permeabilidade média ( $\Delta 15 - 5$ ) (ml/minuto)	Coefficiente de variação (%)
5a	Calor /	Oeste / 20.10	A/mecânica	0,60	0,033	22,9
5a	sombra	Oeste / 20.10	A/manual	0,60	0,032	19,8

Assim como o ocorrido no ensaio de resistência de aderência à tração, o desempenho dos dois foi semelhante, a permeabilidade média com aplicação manual foi de 0,032 ml/min e com aplicação mecânica foi de 0,033 ml/min (figura 79). A análise estatística de variância (ANOVA) indicou que não há diferença significativa entre eles (tabela 44).

Tabela 44: análise de variância do efeito tipo de aplicação de argamassa

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Aplicação	1	0,000	0,025	0,88143	Não

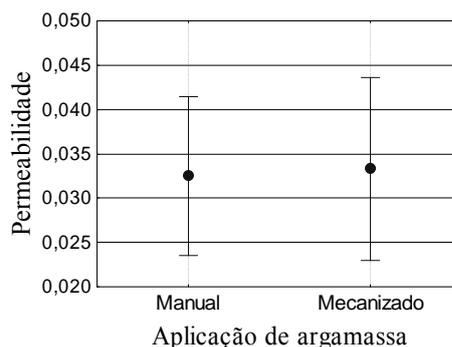


Figura 79: permeabilidade do revestimento da equipe A

Como esse último ensaio foi realizado no dia 20/10, os resultados foram comparados com o do revestimento da equipe C executado no mesmo dia. O revestimento da equipe C obteve permeabilidade média de 0,015 ml/min, desempenho superior ao do revestimento da equipe A com aplicação mecânica e manual de argamassa (figura 80). A análise de variância (ANOVA) revelou que os resultados das equipes C e A diferem significativamente (tabela 45).

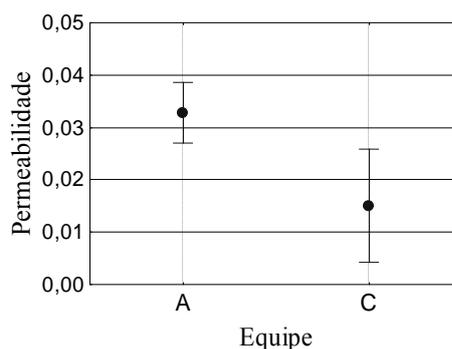


Figura 80: permeabilidade do revestimento das equipes C e A

Tabela 45: análise de variância do efeito da equipe

Variável	Grau de liberdade	Média Quadrática	F calculado	Valor-p	Significância
Equipe	1	0,000	11,86	0,01079	Sim

Com isso, pode-se dizer que a mão-de-obra utilizada e o tipo de argamassa, entre outros fatores, podem ter influenciado consideravelmente os resultados de qualidade do produto.

Comparando esses resultados aos de Duailibe et al. (2005), que estudaram a influência do tipo de aplicação de argamassa, mecânica ou manual, na permeabilidade dos revestimentos, pode-se afirmar que o desempenho do revestimento da empresa V, assim como o ocorrido na empresa E, foi satisfatório. Considerando a variação de absorção entre a medição de 5 e 15 minutos, conforme recomendação do CSTC (1976), os revestimentos com menor

permeabilidade na empresa V, ou seja, os produzidos pela equipe C e os produzidos pela equipe A na fachada 5a, são menos permeáveis que os revestimento com menor permeabilidade daquele estudo e que os revestimentos com menor permeabilidade da empresa E. Os revestimentos mais permeáveis da empresa V, os quais foram produzidos pela equipe B, apresentaram permeabilidade semelhante aos revestimentos mais permeáveis da empresa E, mas menor que os revestimentos mais permeáveis daquele estudo.

### 5.3.8 Custos

A média de custo por metro quadrado dos dois sistemas, quando em funcionamento, foi bastante semelhante (tabela 46 e 47). Nesse cálculo não foram considerados os custos das perdas com equipamento e mão-de-obra em função da desmobilização da equipe ou transferência da mesma para outras atividades. Além disso, a média do sistema manual considerou apenas a equipe C, pois, como já dito, a quantificação do consumo de argamassa da equipe B estava incorreta.

Tabela 46: custos do sistema mecanizado em funcionamento

Pano	Equipe	Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
6i	A	5,31	3,30	6,87	15,48
6h	A	4,84	2,55	7,20	14,59
6g	A	6,40	2,05	6,45	13,04
6c	A	3,59	1,15		
Média		5,05	2,51	6,63	14,40

Tabela 47: custos do sistema manual em funcionamento

Pano	Equipe	Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
11h	B	5,03	1,34	12,34	18,71
11d	B	4,75	1,30	10,19	16,24
11e	B	5,79	1,58	6,59	13,96
11n	C	3,55	1,04	9,70	14,29
10f	C	4,11	1,09	8,29	13,49
10d	C	4,09	1,28	8,10	13,47
10e	C	6,93	2,08	8,30	17,31
Média: equipe C		4,70	1,38	8,63	14,71

Apesar do preço do saco da argamassa de projeção ser maior que o da argamassa de uso múltiplo, devido às altas perdas desse material no sistema manual, o custo total da argamassa

nesse sistema foi maior. Isso se refletiu no custo por metro quadrado: a argamassa representou 54% do custo do sistema manual (figura 81). Já no sistema mecanizado, apesar da argamassa também ser a maior parcela do custo, com 44%, houve aumento nos gastos com equipamento, o que representou 22% do custo desse sistema, em vez dos 10% no sistema manual.

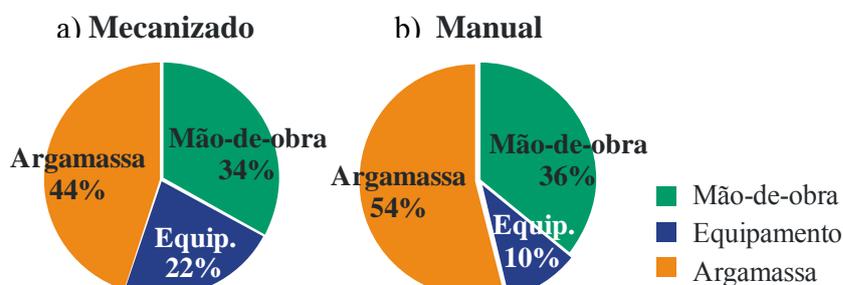


Figura 81: percentual de custos por recurso do sistema mecanizado (a) e manual (b)

Considerando os custos das perdas com equipamento e mão-de-obra por desmobilização da equipe ou transferência da mesma para outras atividades percebe-se um aumento de 5,99% e 8,90% no custo dos sistemas mecanizado e manual, respectivamente (tabela 48 e 49).

Tabela 48: custos do sistema mecanizado com ociosidade

Pano	Equipe	Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
6i	A	5,30	4,77	6,87	16,94
6h	A	4,84	2,90	7,20	14,94
6g	A	6,40	2,68	6,45	13,78
6c	A	3,59	1,99		
Média		5,05	3,36	6,63	15,26

Tabela 49: custos do sistema manual com ociosidade

Pano	Equipe	Mão-de-obra (reais/m <sup>2</sup> )	Equipamento (reais/m <sup>2</sup> )	Argamassa (reais/m <sup>2</sup> )	Total (reais/m <sup>2</sup> )
11h	B	5,03	1,42	12,34	18,79
11d	B	7,46	2,09	10,19	19,74
11e	B	5,79	1,60	6,59	13,98
11n	C	3,55	1,06	9,70	14,31
10f	C	4,12	1,11	8,29	13,52
10d	C	8,57	2,57	8,10	19,44
10e	C	6,93	2,08	8,30	17,31
Média: equipe C		5,73	1,67	8,62	16,02

Porém, no sistema manual, a principal causa foi a chuva, enquanto no sistema mecanizado foi a falta de sincronismo das subequipes. Como já dito, o atraso na etapa de produção de requadros do sistema mecanizado, que era realizada simultaneamente à aplicação de argamassa para revestimento, gerou a ociosidade da bomba de projeção e dos andaimes. Com isso, enquanto a média de custo do sistema mecanizado foi de 15,26 reais/m<sup>2</sup>, com variação de 10,5% entre os panos, o custo do sistema manual foi de 16,02 e com variação de 16,9%.

### 5.3.9 Determinação do potencial do sistema

A análise dos diagramas de processos da produção de revestimento com aplicação mecânica e manual de argamassa (figura 82) revelou que existem menos atividades de transporte e estoque no sistema mecanizado que no manual (tabela 50), ou seja, esse sistema possui menos atividades que não agregam valor ao produto final.

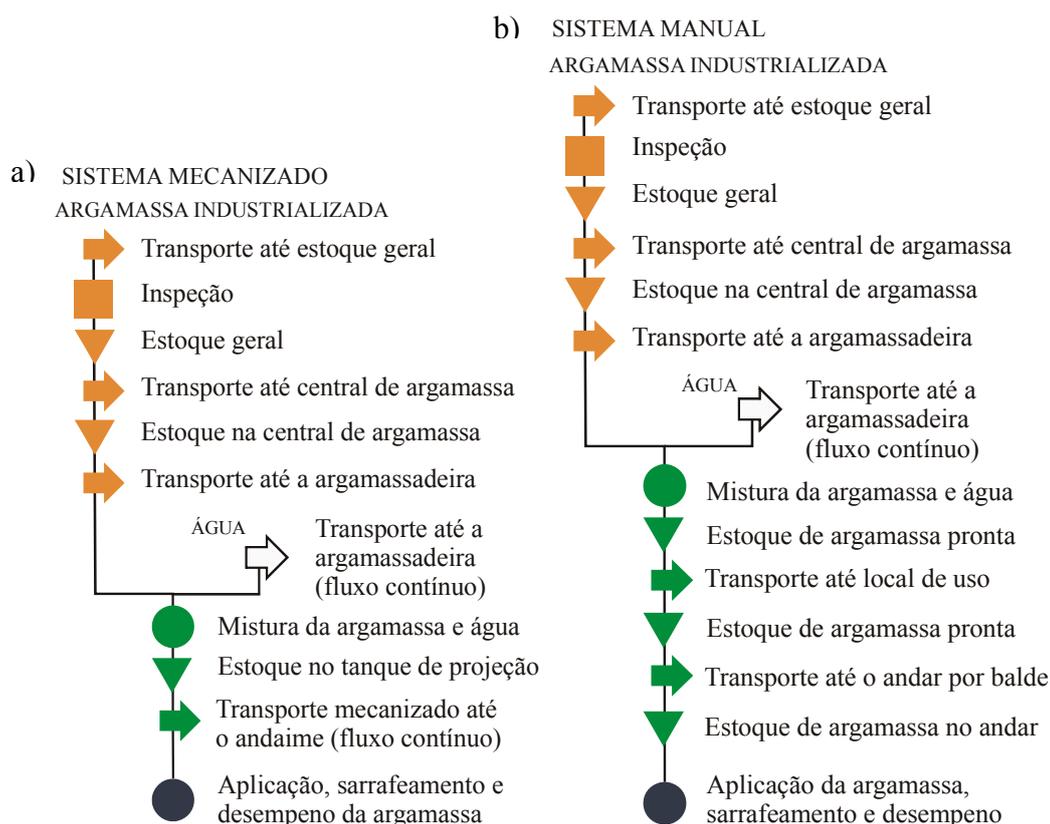


Figura 82: diagrama do processo com aplicação mecânica (a) e manual de argamassa (b)

Além disso, o transporte de argamassa pronta no sistema mecanizado, por ter sido mecanizado, é mais eficiente que no sistema manual. Essas características desse sistema

foram responsáveis pela redução das perdas de argamassa ao longo do processo (tabela 50), além de requerem menos recursos, como mão-de-obra. Portanto, o processo manual deveria ser analisado na tentativa de aperfeiçoá-lo, reduzindo ou simplificando as atividades que não agregam valor ao produto final.

Tabela 50: atividades dos sistemas de produção

Atividade	Mecanizado	Manual
Transporte	04 (40%)	05 (38%)
Estoque	03 (30%)	05 (38%)
Inspeção	01 (10%)	01 (8%)
Transformação	02 (20%)	02 (16%)
Perda de argamassa ao longo do processo	31,1%	88,6%

Comparando o processo de produção de revestimento dos dois sistemas da empresa V ao processo de produção da empresa E e ao processo de produção das empresas avaliadas por Costa (2005) que utilizavam argamassa industrializada (tabela 51), observa-se que o sistema manual da empresa V foi semelhante e o sistema mecanizado teve um desempenho um pouco superior, pois apresentou menor número de atividades que não agrega valor à produção.

Tabela 51: atividades e perdas no processo de produção de revestimento em empresas avaliadas por Costa (2005) e na empresa E

Atividade	Empresa E	Empresas avaliadas por Costa (2005)	
		Y	B
Transporte	06 (42,8%)	07 (58,3%)	07 (58,3%)
Estoque	05 (35,7%)	02 (16,7%)	02 (16,7%)
Inspeção	01 (7,1%)	01 (8,3%)	01 (8,3%)
Transformação	02 (14,3%)	02 (16,7%)	02 (16,7%)
Perda de argamassa ao longo do processo	9,17	68,2%	63,9%

A observação dos sistemas de produção mecanizado e manual de revestimento de fachada de argamassa evidenciou a diferença de seqüência das atividades como resultado das necessidades das duas tecnologias.

Portanto, foi feita a simulação dos sistemas de produção. Os recursos considerados na simulação do sistema mecanizado foram a equipe de montagem e desmontagem de andaime (três serventes), a equipe de chapisco (um pedreiro), a equipe de aplicação de argamassa para revestimento (dois serventes), a equipe de sarrafeamento, desempenho e acabamento (seis pedreiros), doze torres de andaimes fachadeiro, uma argamassadeira e uma bomba de

projeção. Os recursos considerados na simulação do sistema manual foram as equipes B e C (cada uma com dois pedreiros e 1 servente) e dez torres de andaime fachadeiro.

Como a empresa não aguarda os três dias de cura do chapisco antes da execução do revestimento, esses dias não foram considerados na simulação dos dois sistemas.

Percebe-se pela figura 83 que o sistema manual é bem simplificado. Já o sistema mecanizado (figura 84), para que esse sistema se torne viável, precisa manter a bomba de argamassa sempre em funcionamento.

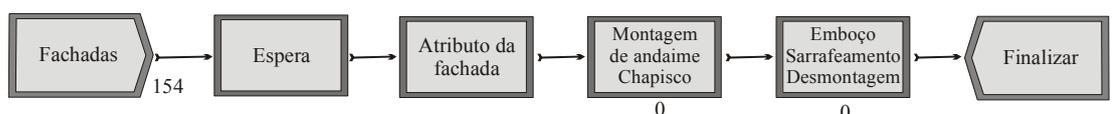


Figura 83: simulação do sistema manual no programa Arena

Para tanto, as diferentes etapas do sistema mecanizado devem possuir diferentes equipes. Isso torna esse processo mais complexo, já que é necessária uma capacidade produtiva compatível entre as equipes e um fluxo de informação eficiente para evitar perdas excessivas por espera. Como já dito, não somente as etapas mecanizadas desse sistema, mas também as manuais obtiveram produtividades menores em relação ao sistema manual, indicando que podem existir perdas por espera que fazem com que algumas subequipes trabalhem em ritmo lento. Na figura 84 podem ser vistas as etapas de produção do sistema mecanizado em que há formação de “fila”, ou seja, fachadas esperando para serem transformadas. Essas filas geram a ociosidade dos andaimes, aumentando o custo de produção.

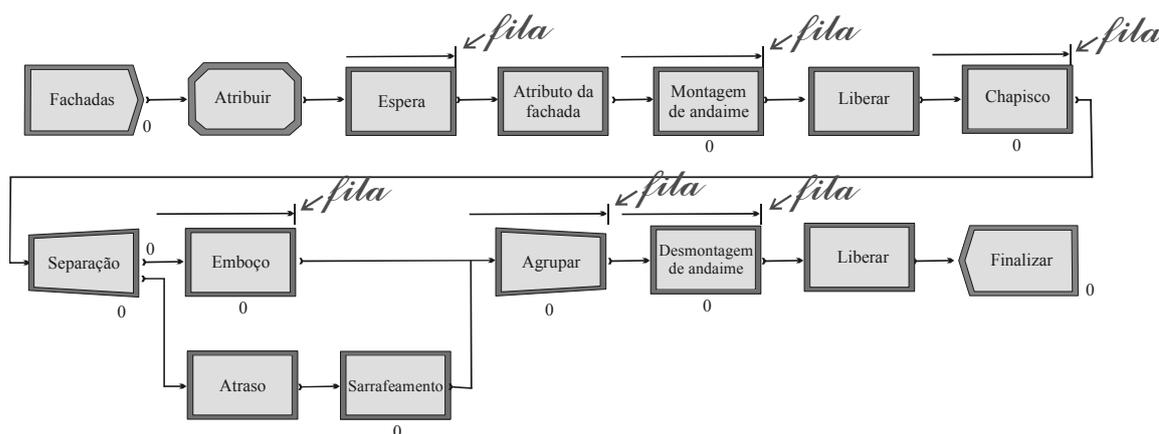


Figura 84: simulação do sistema mecanizado no Arena

A figura 85 apresenta a porcentagem do tempo de uso de cada recurso na produção, ou seja, quanto menor a porcentagem, maior a ociosidade do recurso. A simulação do sistema manual

revelou que cada equipe (B e C) estava sendo utilizadas em quase 100% do tempo. Isso ocorreu porque uma só equipe executava todas as etapas da produção, o que evitava perdas por espera entre as etapas. Apesar de em todas essas etapas serem necessários andaimes, a porcentagem de utilização foi baixa, pois em determinados panos era necessário menos andaimes que em outros, fazendo com que alguns deles ficassem ociosos.

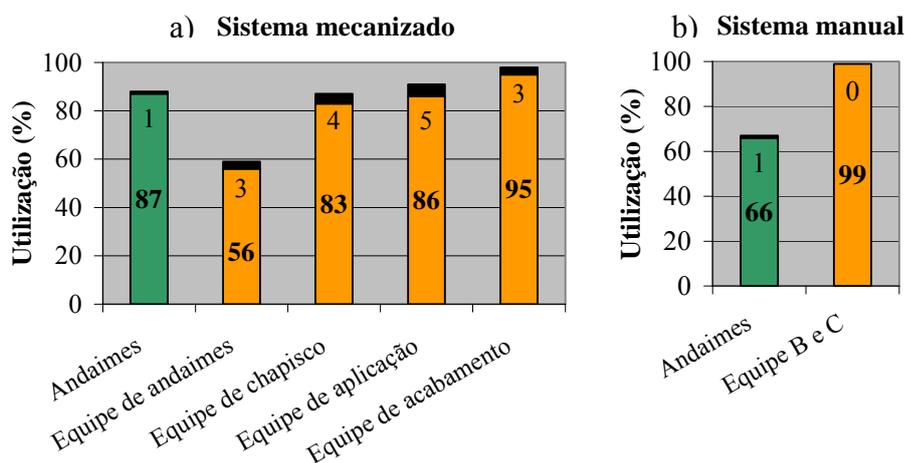


Figura 85: tempo de uso dos recursos no sistema mecanizado (a) e manual (b)

Os resultados da simulação da produção do sistema manual (figura 85b) reforçam a idéia de que o desempenho do sistema possa estar próximo do potencial máximo de produtividade, como já concluído pela amostragem de trabalho e como observado em obra pelo comportamento dos operários, os quais parecem estar competindo com o sistema mecanizado.

No sistema mecanizado, além da sua própria complexidade, os problemas de utilização do equipamento de projeção também influenciaram nos resultados. As interrupções e os atrasos dessa etapa de produção se refletiam em todo o sistema, gerando perdas por espera. A etapa de aplicação de argamassa e a etapa de sarrafeamento, desempenho e acabamento são dependentes uma da outra, o equipamento deve projetar uma quantidade máxima de argamassa para que a próxima atividade (sarrafeamento, desempenho e acabamento) possa ser finalizada dentro do horário de expediente. Através da figura 85a, observa-se que justamente a equipe de sarrafeamento, desempenho e acabamento está em média 96,5% do tempo trabalhando, ou seja, a produtividade pode estar sendo limitada por essa etapa do processo, que ainda é executada manualmente. Essa conclusão é reafirmada pelas observações da pesquisadora em obra e pelos resultados de altos tempos produtivos dessa equipe, obtidos com a ferramenta amostragem de trabalho. A partir disso pode-se afirmar que a mecanização da etapa de aplicação de argamassa deve ser acompanhada de melhorias em outras etapas da

produção, pois o potencial desse sistema está sendo limitado por uma etapa que continua sendo realizada pelo método convencional, ou seja, manual. Tais problemas exigem melhorias gerais, não apenas pontuais, sendo necessário repensar o sistema de produção como um todo.

Por outro lado, a simulação do sistema mecanizado mostrou que a subequipe de montagem e desmontagem de andaimes estava superdimensionada. Na prática, quando ociosa, essa subequipe fazia atividades de outros processos produtivos da obra. Já a subequipe de execução do chapisco, apesar de não apresentar grande ociosidade durante a simulação, também estava superdimensionada, pois se observou em obra que essa equipe trabalhava em ritmo bastante lento.

A simulação da produção e a análise da seqüência de produção evidenciaram que ainda é possível obter melhor desempenho do sistema mecanizado, exigindo para tanto maior controle e planejamento da produção com o objetivo de sincronizar as subequipes.

O mapeamento do fluxo de valor apontou que existem dificuldades em se obter um fluxo contínuo de produção no sistema mecanizado (figura 86).

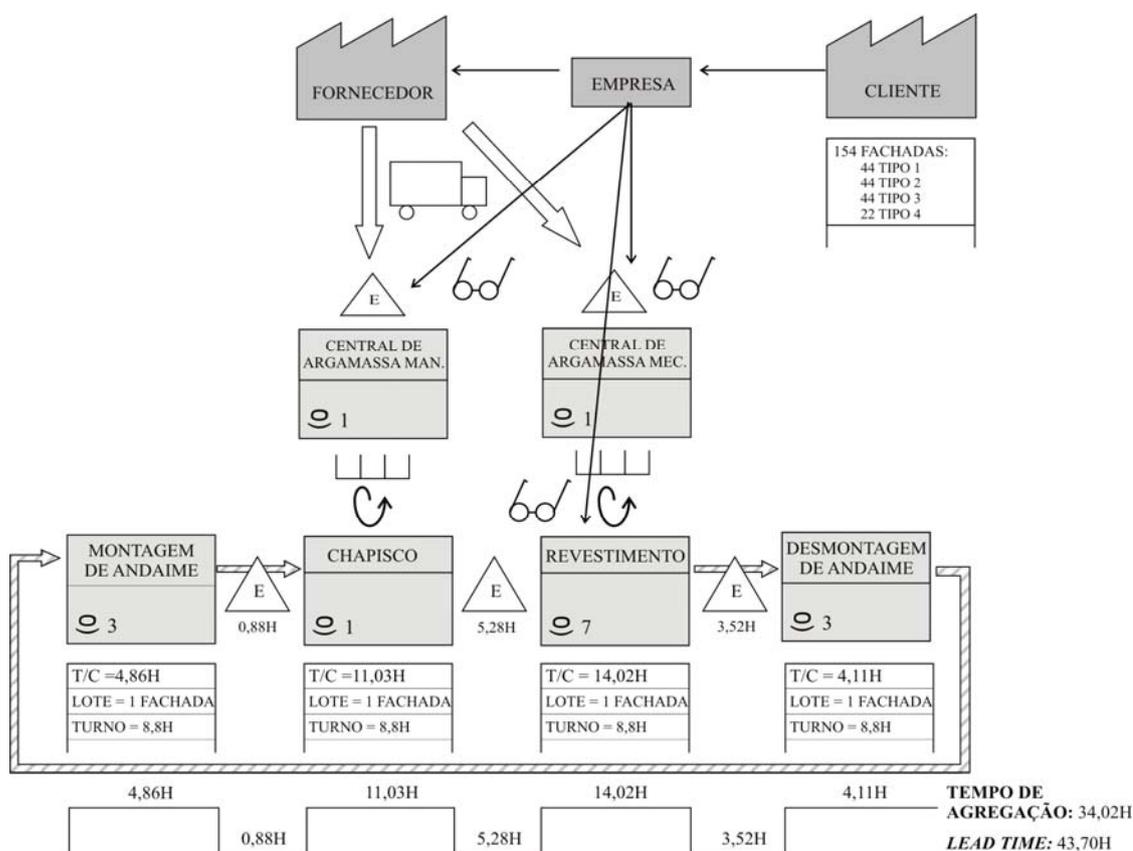


Figura 86: fluxo de valor no sistema mecanizado

Observa-se que existe grande diferença de tempo de ciclo das atividades, ou seja, as etapas não estão sincronizadas. Isso poderia gerar um grande estoque e um *lead time* alto. No entanto, na prática, a empresa desloca os operários para outras atividades, como ocorre com a equipe de montagem e desmontagem de andaimes, a qual possui o menor tempo de ciclo. Assim, o processamento nesse sistema durou 34,02h, enquanto o tempo total de produção da fachada foi de 43,70h. Essa diferença entre o tempo de processamento e o *lead time* deve ser considerada perda, já que tem como consequência o consumo de recursos acima do necessário para a produção. Tais problemas exigem melhorias gerais, sendo necessário repensar o sistema de produção.

A partir da análise conjunta do mapeamento do fluxo de valor e do diagrama de processos, percebe-se que no sistema mecanizado a produção de argamassa é “puxada” pela subequipe de produção de revestimento e o transporte do material fresco ocorre continuamente através dos mangotes. Isso faz com que a produção excessiva e o número de estoques sejam reduzidos. Assim, as perdas de argamassa podem ser minimizadas, reduzindo também os problemas de qualidade do produto, pois existe maior controle no seu tempo de consumo.

Além disso, assim que o revestimento de um pano é concluído, os andaimes são liberados para que outra subequipe possa desmontá-los e transferi-los para outro pano. Logo que um andaime é montado, um novo pano de fachada é liberado e “empurrado” para a etapa de chapisco (figura 86). Como já dito, essa organização gera perdas entre as etapas, devendo ser alvo de melhorias no fluxo de informação para que cada uma produza o necessário e utilize apenas os recursos necessários.

Já o mapeamento do fluxo de valor do sistema manual (figura 87), assim como a simulação computacional, apontou a simplicidade desse sistema. Como a mesma equipe executa todas as etapas, não existem perdas por espera ou estoque.

Comparando os dois mapeamentos, observa-se que, apesar do tempo de agregação do sistema mecanizado ser menor que o do manual, o *lead time* daquele sistema é maior em função das perdas por espera.

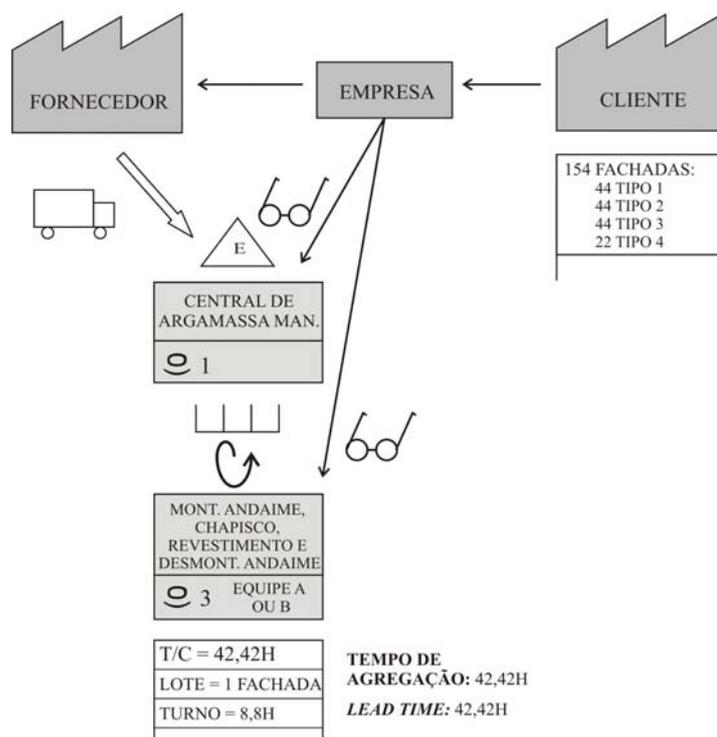


Figura 87: fluxo de valor no sistema manual

Foram realizadas ainda listas de verificação para avaliar os dois sistemas de produção. Essas listas avaliaram o sistema de movimentação e armazenamento de materiais antes da transformação, a produção e transporte de argamassa para produção de revestimento, a execução do revestimento à base de argamassa e a segurança em obra na produção de revestimento de argamassa.

O desempenho dos dois sistemas em relação à movimentação e ao armazenamento de materiais foi bom (figura 88) quando comparado às empresas avaliadas por Costa (2005).

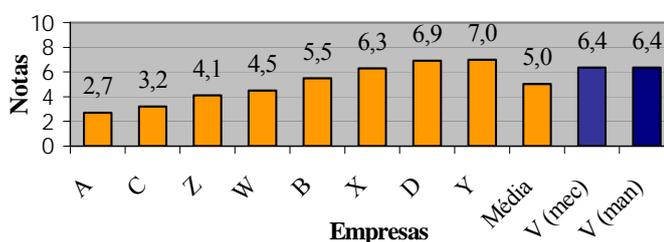


Figura 88: *check list* do Sistema de movimentação e armazenamento de materiais (adaptado de COSTA, 2005)

O armazenamento de materiais na empresa possui um layout definido e é utilizado o sistema PEPS de estoque, primeiro que entra é o primeiro que sai. Outra boa prática no armazenamento de argamassa e cimento é a utilização de estrados de madeira e cobertura de

lona, evitando a entrada de umidade nos estoques. No entanto, esses materiais ficam em local aberto, desprotegidos de roubos e sem controle na sua utilização, o que gera situações como a da figura 94b, em que um operário está retirando cimento de um saco com a pá para produção de argamassa para chapisco, não havendo nenhum cuidado com a dosagem do material.

O *check list* de produção e transporte de argamassa (figura 89) indicou que o sistema mecanizado possui melhor desempenho que o manual. Isso ocorreu em função do sistema de transporte mecânico e contínuo de material no processo mecanizado, o qual é responsável por reduzir as perdas de argamassa e simplificar o processo, evitando também perdas por espera e diminuindo o tempo gasto pelos operários com atividades auxiliares. No sistema manual, as condições do trajeto entre a central de produção de argamassa e o local de aplicação não são providos de melhorias (figura 90), gerando dificuldades para o operário e perda de argamassa, que não fica em condições de ser reaproveitada.

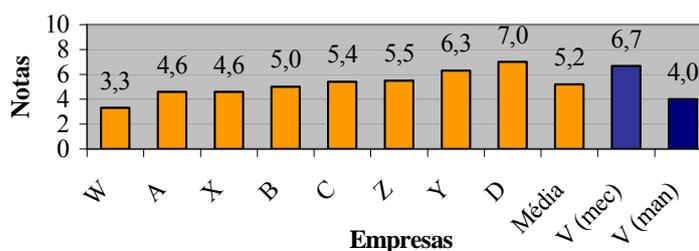


Figura 89: *check list* da produção e transporte de argamassa (adaptado de COSTA, 2005)

Portanto, pode-se afirmar que a mecanização do transporte foi positiva, além da redução de perdas já relatada, reduzem a necessidade de controle da produção através da eliminação das causas das perdas.



Figura 90: condições dos trajetos (a) e do percurso de transporte (b)

No *check list* de execução de revestimento observa-se que os dois sistemas tiveram desempenho acima da média das outras empresas (figura 91). Isso se deve às boas práticas da

empresa através do emprego de mão-de-obra própria e investimento em treinamentos, como o realizado para capacitar os operários a utilizar a bomba de argamassa. Outra boa prática foi o uso da assessoria de especialistas em revestimentos de argamassa e a verificação da qualidade do produto através de ensaios.

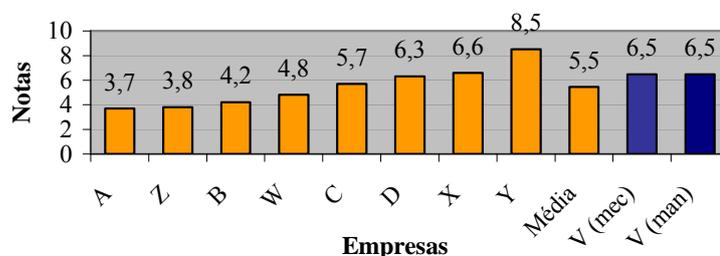


Figura 91: *check list* da execução de revestimento (adaptado de COSTA, 2005)

O *check list* de segurança em obra (figura 92) revelou problemas de segurança nos andaimes, os quais não atendiam as exigências da NR-18 (figura 93a).

Além disso, apesar da empresa fornecer os equipamentos de segurança (EPI), os mesmos não eram utilizados por muitos operários, principalmente no sistema mecanizado, que precisavam se locomover mais no andaime, o que dificultava o uso do cinto de segurança (figura 93b).

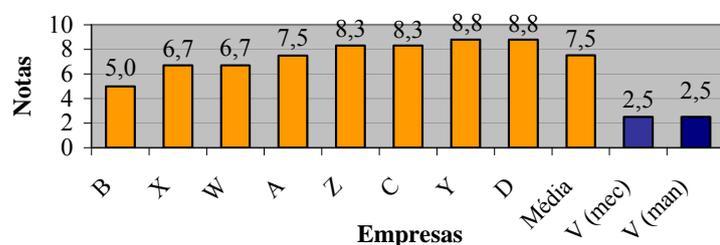


Figura 92: *check list* de segurança em obra (adaptado de COSTA, 2005)



Figura 93: andaime sobre base irregular (a) e operários sem EPI (b)

Por fim, pode-se afirmar que a opção da empresa por utilizar argamassa industrializada para a produção do revestimento foi positiva, pois facilitou o estoque, o transporte e a produção de argamassa, especialmente nas más condições em que se apresenta o canteiro de obras. No entanto, nas etapas da produção relativas ao chapisco, não consideradas nesse *check list*, verificou-se através das observações em obra que existem dificuldades no armazenamento e movimentação de materiais, bem como na produção da argamassa. Como observado na Figura 94a, os materiais que estão estocados junto à betoneira estão em contato com o solo, apresentando material orgânico misturado a eles. Além disso, para a produção da argamassa de chapisco não existem equipamentos adequados para a correta dosagem dos materiais componentes (figura 94b), nem quadro indicativo do traço.



Figura 94: estoque de materiais (a) e dosagem de cimento com pá (b)

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE AVALIAÇÃO

As alterações em relação ao método de avaliação de Costa (2005) foram importantes para o entendimento e análise dos sistemas estudados. A simulação computacional e o mapeamento do fluxo de valor ampliaram o foco de análise para o sistema, revelando informações sobre os mesmos que são importantes para o projeto e planejamento da produção, assim como para a implantação de melhorias, principalmente no sistema mecanizado.

Enquanto o mapeamento faz um levantamento estático do sistema, auxiliando na proposição de melhorias, a simulação computacional demonstra a evolução do mesmo ao longo do tempo, ou seja, ajuda a entender como o sistema e tais propostas de melhoria funcionam. Assim, as duas ferramentas se completam.

Já os ensaios de resistência de aderência à tração e permeabilidade à água complementaram a avaliação do produto proposta por Costa (2005), auxiliando na avaliação do sistema de produção. Apesar disso, sentiu-se necessidade de um procedimento de ensaio para

determinação da permeabilidade à água que fosse mais confiável e melhor adaptado às condições de obra que o utilizado nessa pesquisa.

Entre as ferramentas empregadas por esse método, a amostragem de trabalho exigiu um grande esforço, consumindo bastante tempo de pesquisa. Mas, por outro lado, ao introduzir um procedimento de observação do trabalho, essa ferramenta permitiu à pesquisadora enxergar melhor como os operários utilizavam seu tempo. A quantificação dos tempos produtivos, improdutivos e auxiliares passou a ser apenas uma confirmação estatística do que era percebido em obra, pois a ferramenta também teve o papel de guiar a pesquisadora à observação de fatos que antes não eram vistos.

Já o cartão de produção mostrou-se uma ferramenta bastante simples e importante, tendo sido utilizado para a obtenção de dados para cálculo da produtividade, para quantificação da ociosidade dos equipamentos e da mão-de-obra e para a simulação do sistema de produção.

As ferramentas de análise de processo complementaram as ferramentas de análise do sistema, dando uma visão mais detalhada dos fluxos de material na obra, contribuindo para a identificação de possíveis melhorias.

Portanto, o método teve o objetivo de abranger vários aspectos da produção, ou seja, o sistema, os processos que o compõe e as operações. Além disso, vários índices e ensaios foram utilizados na avaliação com o objetivo de gerar também dados quantitativos, como índice de produtividade, de perdas, custos, falhas e desempenho do produto.

Para a aplicação do método de avaliação foi importante definir quem faria o levantamento dos dados, como e em que momento. Assim, assegurou-se maior confiabilidade aos dados levantados e a possibilidade de comparação entre índices de outras empresas e sistemas, bem como entre diferentes momentos da produção na mesma empresa.

Porém, para que se justifique o esforço de avaliação do sistema, as informações e os índices de desempenho gerados devem ser utilizados na busca por melhorias e na tomada de decisões tanto no projeto quanto no planejamento do sistema de produção.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões da pesquisa a partir dos resultados obtidos nos estudos de caso. Nesse capítulo são apresentadas também sugestões para trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

O método de avaliação utilizado gerou informações que têm potencial para contribuir com a tomada de decisão em relação ao sistema de produção de revestimentos de fachada à base de argamassa e a tecnologia a ser empregada. Os índices gerados possibilitaram avaliar o sistema de produção e a implantação de uma tecnologia nova para a empresa, contribuindo para a identificação de possibilidades de melhoria.

Através dessa pesquisa foi possível identificar as dificuldades e benefícios do uso de sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa para o desempenho da produção.

Concluiu-se que o uso de bombas de argamassa pode ou não ser vantajoso, dependendo das condições, das necessidades e dos objetivos da empresa que a implantar. Os sistemas com bomba de argamassa analisados nesse estudo não apresentaram ganhos de produtividade e redução do prazo de execução em relação ao sistema manual estudado. Porém, ao comparar os resultados dos sistemas mecanizados das empresas E e V com a produtividade levantada por Costa (2005) em 8 empresas que utilizavam o sistemas manuais, a empresa E teve um desempenho próximo da média, 1,25Hh/m<sup>2</sup>, enquanto a V obteve o melhor desempenho, 0,83Hh/m<sup>2</sup>. Mesmo assim, o sistema manual da empresa V conseguiu a maior produtividade, 0,80Hh/m<sup>2</sup>. No entanto, é importante ressaltar que quando novas tecnologias e novos sistemas são introduzidos é comum como efeito imediato uma redução de produtividade, pois o aprendizado pode ser lento e exigir maior esforço em treinamento, ajustes e melhorias.

Além disso, os sistemas mecanizados estudados possuíam etapas manuais, as quais eram o gargalo do processo, reduzindo a produtividade. Foram verificadas ainda perdas por espera entre as etapas de produção, ou seja, o fluxo de produção não era contínuo, como ocorria no sistema manual. Outra dificuldade encontrada era devido aos problemas mecânicos e de preparação da bomba de argamassa, os quais impediam a obtenção de índices melhores de produtividade. Portanto, apesar de não terem sido obtidos índices de produtividade superiores

aos do sistema manual, havia maior potencial de melhoria naquele sistema. Enquanto o sistema manual estava trabalhando próximo ao seu potencial, no mecanizado havia maiores perdas de mão-de-obra e maior ociosidade dos equipamentos, os quais poderiam ser minimizados. Observou-se que, para isso, era necessário ter visão sistêmica e melhor planejamento da produção, requisitos que muitas empresas não estão preparadas para atender, podendo inviabilizar a utilização desses sistemas.

Por outro lado, os sistemas mecanizados analisados geraram ganhos em qualidade do produto final. Os panos de fachada executados com esse sistema apresentaram poucas falhas em relação ao sistema manual, tendo sido identificado apenas um número reduzido de fissuras. Já no sistema manual analisado o número de fissuras era grande, principalmente no revestimento executado por uma das equipes de produção. No entanto, na empresa E havia também panos de revestimento com substrato de concreto. Nesses panos foram identificados casos de descolamento do revestimento executado com o sistema mecanizado.

O ensaio para determinação da resistência de aderência à tração do sistema, que nesse estudo considerou as várias formas de ruptura, revelou que é possível obter bons resultados com o sistema mecanizado em revestimentos com substrato de alvenaria de blocos cerâmicos, podendo-se também reduzir a variabilidade dessa propriedade. Na empresa E, por exemplo, obteve-se média de 0,39MPa. O uso do sistema mecanizado também para a etapa de produção de chapisco parece ter influenciado positivamente na resistência de aderência à tração nessa empresa.

Já no sistema manual da empresa V foi observada maior variabilidade nos resultados das equipes, podendo-se afirmar, portanto, que esse sistema é bastante dependente da mão-de-obra. Como as atividades de transporte, de estoque e de produção de revestimento eram realizadas manualmente pelos operários desse sistema, os mesmos influenciavam diretamente na qualidade do produto. No entanto, no sistema mecanizado algumas atividades também dependiam da mão-de-obra, como a dosagem de água da argamassa e a preparação dos equipamentos. A variabilidade dessas etapas de produção gerou variabilidade na qualidade do produto. Na empresa V, por exemplo, a resistência de aderência à tração entre o ponto onde foi projetada argamassa muito fluida e o ponto onde não foram percebidos problemas durante a produção foi significativa, 0,12MPa e 0,30MPa, respectivamente.

O resultado do ensaio de permeabilidade à água com o “método do cachimbo” apresentou grande variabilidade, também havendo grande diferença entre o desempenho das equipes do sistema manual. A equipe C desse sistema obteve médias de permeabilidade superiores à equipe A do sistema mecanizado, enquanto a equipe B do sistema manual obteve desempenho

inferior. Possivelmente a mão-de-obra influenciou na qualidade do produto no sistema manual. No entanto, foram encontradas dificuldades na utilização do “método do cachimbo” para ensaio em obra, pois as condições climáticas diárias pareciam influenciar nos resultados.

O aumento de qualidade do produto através da redução de falhas e dos bons resultados de resistência de aderência à tração e a redução de produtividade do sistema mecanizado nesse estudo poderiam levar o gestor a associar qualidade à perda de produtividade. No entanto, ganhos em qualidade podem ser relacionados a um menor percentual de produtos com defeito, resultando em menores reparos e retrabalho. Assim, o levantamento do consumo dos recursos para correção dos defeitos poderia revelar um aumento de produtividade do sistema mecanizado em relação ao manual.

Um benefício importante obtido com o sistema mecanizado é a redução dos índices de perdas de argamassa. O sistema mecanizado da empresa E gerou 17,65% de perdas, enquanto o da empresa V gerou 33,65%. Porém, o sistema manual dessa empresa chegou a perdas bem superiores, com média de 95,47%, assim como as empresas avaliadas por Costa (2005), que obtiveram média de 81%. A simplificação do fluxo de material e a mecanização do transporte e da aplicação de argamassa no sistema mecanizado contribuíram para isso, reduzindo também a necessidade de controle da produção nesse aspecto.

Portanto, a opção por utilizar bombas para a aplicação de argamassa para revestimento, além de contribuir com a qualidade do mesmo, pode ser uma forma de diminuir a dependência em relação à mão-de-obra no transporte e aplicação de argamassa e, portanto, aumentar a confiabilidade da produção, diminuindo a variabilidade. Porém, esse sistema ainda permitiu a interferência da mão-de-obra na dosagem de água da argamassa e no preparo dos equipamentos, sendo necessária maior qualificação aos operários que exercem essa função.

A organização da produção do sistema mecanizado, por ser mais complexa, exige maior esforço em planejamento para se obter bons resultados. A inexistência ou deficiência de procedimento padrão de produção e a sincronização entre as etapas, por exemplo, pode inviabilizar o sistema, já que as vantagens podem não ser obtidas. A implantação de sistemas mecanizados na produção de revestimentos de fachada em argamassa deve ser acompanhada de um estudo dos processos na busca por melhorias que se reflitam na produção como um todo, já que o aumento da produtividade da etapa de aplicação de argamassa pode não se refletir nos índices de produtividade do sistema de produção, como verificado nesse estudo. A utilização de equipes específicas para cada etapa do processo acentua a necessidade de se

pensar no sistema como um todo e no fluxo de informação para que se reduzam as perdas por espera entre as equipes.

Além disso, para que os custos do sistema por metro quadrado sejam menores é necessário maior volume de produção que no sistema manual, diluindo os custos dos equipamentos. As empresas que não tem interesse em grande volume de produção mensal, seja por prazos estendidos ou por questões financeiras, terão um custo maior por metro quadrado por não utilizarem toda a capacidade do sistema. Por exemplo, no estudo de caso 2 uma equipe do sistema manual com dois pedreiros produzia 32,86 m<sup>2</sup> por dia, enquanto uma equipe com seis pedreiros do sistema mecanizado produzia em média 88,74 m<sup>2</sup> por dia e com maior potencial de melhoria.

Cabe ressaltar também que em empreendimentos repetitivos, como no estudo de caso 2, o projeto do sistema de produção é facilitado e o sistema se beneficia do aprendizado por repetição, podendo melhorar seu desempenho ao longo do tempo, reduzindo os custos.

O sistema mecanizado ainda possui grande potencial de redução de custos, pois foram registradas perdas em mão-de-obra e equipamento que poderiam ser reduzidos com o projeto e planejamento do sistema de produção e treinamento da mão-de-obra. Por outro lado, o sistema manual possui altas perdas de material que poderiam ser reduzidas através de planejamento e controle da produção e treinamento da mão-de-obra, mas com menor confiabilidade em função da maior dependência em relação à mão-de-obra.

Ainda em relação aos custos, o menor consumo de argamassa no sistema mecanizado obtido com a redução nas perdas desse material ao longo do processo é um fator que estimula o uso das bombas de projeção. O maior custo com equipamentos pode ser compensado pelo menor consumo em argamassa desse sistema em relação ao manual. Ou seja, apesar de não terem sido obtidos ganhos em produtividade, o custo do sistema foi competitivo em relação ao manual.

Muitas empresas poderiam não optar por esse sistema em função do índice de produtividade ser o primeiro indicador de desempenho a ser considerado na escolha do sistema. O índice de perdas de argamassa muitas vezes não é conhecido pelas empresas, fazendo com que esse não seja um indicador utilizado durante a tomada de decisões.

Além disso, é difícil mensurar os benefícios obtidos em função da maior qualidade do produto proporcionada pelos sistemas mecanizados analisados. A importância de cada fator é relativa às características da empresa e a escolha do sistema de produção deve considerar sua cultura, suas competências e suas necessidades. Analisando as características da construção civil, as

decisões sobre tecnologia e o dimensionamento dos recursos fixos devem estar de acordo com a estratégia de produção da empresa. Assim, as escolhas não devem ser uma decisão pontual, relativa a cada obra.

A mecanização da aplicação de argamassa para a produção de revestimento de fachada, assim como o que ocorreu em outras indústrias, tenta responder à necessidade de aumento de produtividade e falta de mão-de-obra especializada. Observa-se que a mecanização da aplicação de argamassa tem tido como consequência o trabalho em paralelo e a divisão do mesmo em partes especializadas. Tais mudanças exigem maior planejamento do trabalho para que se obtenha um ritmo de produção constante entre as diversas etapas do processo, diminuindo as perdas. Isto é, tais mudanças exigem um esforço de racionalização. Portanto, o uso de bombas de argamassa não deve se restringir à mecanização das atividades, mas deve vir acompanhado de métodos organizacionais para que se obtenham processos de produção mais eficientes e maior desempenho da edificação.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das limitações dessa pesquisa, sugerem-se outros estudos:

- a) avaliar e comparar diferentes sistemas de produção de revestimentos de fachada com aplicação mecânica de argamassa;
- b) introduzir melhorias nos sistemas de produção de revestimento de fachada com aplicação mecânica e manual de argamassa e avaliá-los;
- c) avaliar a durabilidade de revestimentos produzidos com aplicação mecânica de argamassa;
- d) desenvolver e testar um método de ensaio para determinação da permeabilidade à água de revestimentos à base de argamassa que se adapte ao uso em obra, ou seja, que possa ser empregado sob diferentes condições climáticas.

## REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J.C.; ANDRADE, A.C. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final**. São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.
- ANDRADE, F. F. de. **O método de melhorias PDCA**. 2003. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANTUNES JUNIOR, J. A. V. O mecanismo da função de produção: a análise dos sistemas produtivos do ponto-de-vista de uma rede de processos e operações. In: **Revista da Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 4, n. 1, p. 33-46, 1994 .
- ARAÚJO JUNIOR, J. M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. 175 p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Revestimentos de parede e tetos de argamassa inorgânica – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimentos de parede e tetos de argamassa inorgânica – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimentos de parede e tetos de argamassa inorgânica – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13749**: Revestimentos de parede e tetos de argamassa inorgânica - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15258**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 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, 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, 2005.

- BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimentos de argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2000. 82 p.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 635 p.
- BARROS, M. M. S. B. O desafio da implantação de inovações tecnológicas no sistema produtivo das empresas construtoras. In: Seminário de Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo, 1998, p. 249-285.
- BENDER, R. **Una visión de la construcción industrializada**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1976. 167 p.
- BIRULES, F. B.; YRAOLA, F. A.; PRIETO, C. A.; BECHE, J. R. R., KRISTENSEN, S.; LEWICKI, B.; BLACHÈRE, G.; CASADO, C. F. **Prefabricacion e industrializacion em la construccion de edificios**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1968. 279 p.
- BOLSONI, A. **Permeabilidade de revestimentos de fachada em argamassa através do método do cachimbo**. 2007. 62 p. Trabalho de diplomação, Escola de Engenharia Civil da Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BULHOES, I. R.; PICCHI, F. A.; GRANJA, A. D.; CARIA, J. Fluxo contínuo na construção civil: um estudo de caso exploratório. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Porto Alegre, 2005. **Anais...** Porto Alegre, 2005. 1 CD-ROM.
- CALHAU, E. L., TRISTÃO, F. A. Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, Vitória, 1999. **Anais...** Vitória, 1999. p. 219-230.
- CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo de técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. 1998. 198 p. Tese de Doutorado, 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. In: **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, n. 223, 1998.
- 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 de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Unidades de Alvenaria. In: **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, n. 179, 1997.

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.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. (CSTB). Conditions generales d'emploi et de mise em ouvre dès enduits d'impermeabilisation de murá base de liants hydrauliques faisant i'object d; um avis technique. In: **Cahier du CSTB**, Centre Scientifique et Technique de la Construction. Paris, n. 230, jun 1982.

\_\_\_\_\_. Les enduits d'imperméabilisation à base de liants hydrauliques. In: **CSTB Magazine**, Centre Scientifique et Technique de la Construction. Paris, n. 8, jul./ago. 1982, p. 2-11.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. (CSTC). Hidrofuges de surfaces: choix et mise em oeuvre. In: **Note d'Information Technique**, Centre Scientifique et Technique de la Construction. Bruxelles, n. 140, fev 1982a.

\_\_\_\_\_. Transport de l'humidite dans les materiaux poreux. Bases Theoriques. In: **CSTC Revue**, Centre Scientifique et Technique de la Construction. Bruxelles, n. 1, mar 1982b, p. 7-12.

CEOTTO, L. H; BANDUK, R. C.; NAKAKURA, E. H. **Revestimentos de argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Porto Alegre: ANTAC, 2005. 96 p.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI/IPT, 1988. p. 549-554.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995, 118 p.

COSTA, F. N. **Processo de Execução de Revestimento de Fachada de Argamassa: Problemas e Oportunidades de Melhoria**. 2005. 195 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CRESCENCIO, R. M.; PARSEKIAN, G. A.; BARROS, M. S. B.; SABBATINI, F. H. Execução de revestimentos com argamassa projetada. In: 8º ENTAC, Salvador, 2000. **Anais...** Salvador, 2000, v.2, p.1067-1074.

CRESCENCIO, R. M.; BARROS, M. S. B. Avaliação da estanqueidade do revestimento decorativo monocamada à água da chuva. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p.540-550.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado; análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 1988. 168 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DENNING, P. J.; MORA, R. M. Completing the Loops. In: **Interfaces**, v. 25, n. 3, p. 42-57, mai./jun.1995.

DIAS, L. A.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 543-555.

DIOGO, G. M. Q. **Análise e proposta de melhorias no processo de produção dos revestimentos de argamassa de fachadas de edifícios.** 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

DUAILIBE, R. P.; CAVANI, G. de R.; OLIVEIRA, M. C. B. Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 508-517.

FERNANDES, H. C.; ANTUNES, R. P. N.; BARROS, M. M. S. B; JOHN, V. M. Energia de lançamento da argamassa na projeção por spray a ar comprimido. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis, 2006, p. 4093-4108.

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, 23p..

FORMOSO, C.T.; DE CESARE, C.M.; LANTELME, E.M.V. & SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e indicadores de controle.** São Paulo, Téchne, Ed. Pini, 23: p. 30-33, jul/ago 1996.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações.** 8. ed. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2001.

GALLEGOS, H. Adhesión entre el mortero y las unidades de albañilería. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. 1995. Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p. 117-133.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade: a visão estratégica e competitiva.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992. 355 p.

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

GONÇALVES, S. R. de C.; BAUER, E. Estudo de caso da variação de resistência de aderência à tração em uma parede. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 562-567.

GOODIER, C. **Construction and repair with wet process sprayed concrete and mortar: Concrete Society Technical Report 56**. United Kingdom: 2002. Disponível em: <<http://www.allbusiness.com/manufacturing/nonmetallic-mineral-product-manufacturing/1012297-1.html> > Acesso em: 12 dez 2007.

HACKMAN, J. R.; WAGEMAN, R. Total quality management: empirical, conceptual, and practical issues. In: **Administrative Science Quarterly**, v. 40, n. 2, p. 309-334, jun. 1995.

HEINECK, L. F. M.; TRISTÃO, A. N. D. A racionalização na produção de argamassas através de inovações tecnológicas simples. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Goiânia, 1995. **Anais...** Goiânia, 1995, p. 357-363.

ISATTO, E. L. A nova filosofia de produção e a redução de perdas na construção civil. In: 7º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis, 1998. **Anais...** Florianópolis, 1998. Vol. 2, p. 241-249.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T. C. L.; BERNARDES, M. M. S. **Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000, 177p.

ISHIWATA, J. **IE for the shop floor: production through process analysis**. Portland: Productivity Press, 1991. 182p.

JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Controle da qualidade**. São Paulo: Makron Books do Brasil, c1991-c1993. 9v. TRADUCAO DE Quality control handbook. 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill, c1974. 1 v.

KAZMIERCZAK, C. de S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO D. Influência do tipo e preparo de substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa industrializada. In: VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007. **Anais...** Recife, 2007.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction** (Technical Report 72). Stanford, EUA: Center for Integrated Facility Engineering, 1992.

\_\_\_\_\_. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296p. Tese (Doutor em Tecnologia) – VTT Technical Research Centre of Finland, Helsinki University of Technology, Helsinki.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. 2 ed. McGraw Hill, 1991.

LANTELME, E.; OLIVEIRA, M.; FORMOSO, C. T. Sistema de indicadores de qualidade e produtividade para a construção civil: primeiros resultados. In: **Gestão da qualidade na construção civil: uma abordagem para empresas de pequeno porte**. 2 ed. Porto Alegre: Pqpc/RS, 1995. p. 223-252.

LINARD, R. S. S.; HEINECK, L. F. M.; GEHBAUER, F. Produção de argamassas – Racionalização no transporte de materiais da produção à utilização. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 908-915.

MACEDO, D.; RIBEIRO, P.; MACHADO, G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência do tempo entre a aplicação do chapisco rolado e a execução do revestimento de argamassa na aderência do sistema. In: VII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, 2007. **Anais...** Recife, 2007. 1 CD-ROM.

MEHTA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994. 573 p.

PEREIRA, P. C.; IKEDA, J. A.; IKEDA N. A.; CAMPOS, C. O.; TEIXEIRA, L. M.; CARASEK, H. Teor de cimento ou a/c: quem exerce maior influência na resistência de aderência? In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Vitória, 1999. **Anais...** Vitória, 1999, p. 489-502.

PEREIRA, P. C.; CARASEK, H.; FRANCINETE JR., P. Influência da cura no desempenho de revestimentos com argamassas inorgânicas. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 477-486.

PICCHI, F. A.; AGOPYAN, V. Sistemas da Qualidade na Construção de Edifícios. In: **Boletim técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, n. 104, 1993.

POLISSENI, A. E. 1993. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede – Método do cachimbo**. 1986. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação**. 2004. 180 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

REGATTIERI, C. E.; SILVA, L. L. R. da. **Ganhos potenciais na utilização da argamassa industrializada**. 2003.

REIS, P. F.; MELHADO, S. B. A gestão da qualidade e a produção de revestimentos em argamassa. In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Vitória, 1999. **Anais...** Vitória, 1999, p. 699-713.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. Baseado na versão original 1.1 São Paulo: Lean Institute Brasil, 1998. 96 p.

SABBATINI, F. H. **A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial?** In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, 1. São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo: EPUSP/PCC, 1998. p. 1-19

SANTOS, A. dos. Medição de produtividade em canteiros utilizando a técnica da amostragem do trabalho. In: **Gestão da qualidade na construção civil: uma abordagem para empresas de pequeno porte**. 2 ed. Porto Alegre: Pqpc/RS, 1995a. p. 197-222.

SANTOS, A. dos. **Método de intervenção em obras de edificações enfocando o sistema de movimentação e armazenamento de materiais: um estudo de caso**. 1995b. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

SANTOS, C. C. N.; BAUER, E. A influência do tempo de mistura e do teor de água na projetabilidade das argamassas industrializadas. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 339-351.

\_\_\_\_\_. Influência das características granulométricas dos agregados na projetabilidade das argamassas industrializadas para revestimento. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo, 2004.

SAURIN, T. A.; ANDRADE, F. R.; GUIMARÃES, L. B. de M; COSTA, F. N. Diagnóstico ergonômico da movimentação de andaimes suspensos mecânicos. In: **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 7-21, 2005.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo, 2003, p. 569-581.

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.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na Cidade de Caxias do Sul (RS)**. Porto Alegre, 2005. 164 p. Trabalho de conclusão (Mestrado profissionalizante) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SHIMIZU, J. K.; BARROS, M. M. S. B.; CARDOSO, F.F. Análise da Gestão da Produção de Revestimento Externo de Argamassa: Um Estudo de Caso. In: **VIII Simpósio de Engenharia de Produção: Gestão Ambiental e Sistemas Produtivos**, Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2001. **Anais...** Bauru, 2001.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291 p.

SILVA, C. O.; NAKAKURA, E. H. A utilização de argamassa de revestimento em obras de pequeno porte – avaliação de estudo de caso de argamassa preparada em obra x argamassa industrializada. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Brasília, 2001. **Anais...** Brasília, 2001, p. 549-565.

SILVA, N. G. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Curitiba, 2006. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; STON, J. **Administração da produção**. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

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.

SOUZA, U. E. L. de; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C. de; AGOPYAN, V. Os valores das perdas de materiais nos canteiros de obras do Brasil. In: Congresso Latino-Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, São Paulo, 1998. **Anais...** São Paulo, 1998, p. 355-362.

SOUZA, R.; VOSS, C. A. Quality management re-visited: a reflective review and agenda for future research. In: **Journal of Operations Management**, n. 20, p. 91-109, 2002.

SUGO, H. O.; PAGE, A. W.; LAWRENCE, S. J. The Development of Mortar/Unit Bond. In: 9th Canadian Masonry Symposium, Frederickton, 2001, **Anais...** Frederickton, 2001, p.

SULLIVAN, B. J. **Industrialization in the building industry**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1980. 253 p.

TANIGUTI, E.; MOTA, E.; NAKAKURA, E. Programa de melhorias em revestimento de argamassa. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Florianópolis, 2005. **Anais...** Florianópolis, 2005, p. 922-930.

VASCONCELOS, W. L. Descrição da Permeabilidade em Cerâmicas Porosas. In: **Cerâmica**, São Paulo, v. 43, n. 281-282, p. 120-123, mai./jun./jul./ago. 1997.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T., ROOS, D. **The Machine That Changed the World**. New York: Rawson Associates. 1990.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## **ANEXOS EM CD-ROM**