

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DE DOIS MÉTODOS DE  
SANEAMENTO DE PAREDES DEGRADADAS POR  
UMIDADE E SAIS A PARTIR DE UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA E DE UM ESTUDO DE CASO**

**Ursula Gewehr**

Porto Alegre  
setembro 2004

**URSULA GEWEHR**

**APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DE DOIS MÉTODOS DE  
SANEAMENTO DE PAREDES DEGRADADAS POR  
UMIDADE E SAIS A PARTIR DE UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA E DE UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Mestrado  
Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia na  
modalidade Profissionalizante.

Porto Alegre  
setembro 2004

G396a Gewehr, Ursula

Aplicabilidade e eficiência de dois métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de uma revisão bibliográfica e de um estudo de caso / Ursula Gewehr. – 2004.

Trabalho de Conclusão (mestrado profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, BR-RS, 2006.

Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

1. Argamassa de recuperação – Ensaios. 2. Patologia – Construção civil. I. Dal Molin, Denise Carpena Coitinho, orient. II. Título.

CDU-691.53(043)

**URSULA GEWEHR**

**APLICABILIDADE E EFICIÊNCIA DE DOIS MÉTODOS DE  
SANEAMENTO DE PAREDES DEGRADADAS POR  
UMIDADE E SAIS A PARTIR DE UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA E DE UM ESTUDO DE CASO**

Este trabalho de conclusão foi julgado adequado para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, março de 2006

Profa. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin  
Dra. pela USP  
Orientadora

Profa. Helena Beatriz Cybis  
Coordenadora do Curso

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Ângela Borges Masuero (UFRGS)**  
Dra. pela UFRGS

**Profa. Margarete Regina Freitas Gonçalves (UFPEL)**  
Dra. pela UFRGS

**Prof. Luis Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)**  
Ph.D. pela University of Leeds, UK

Dedico este trabalho a minha família e a meus amigos  
pela ajuda e compreensão durante o  
período de seu desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

Às professoras Denise C.C. Dal Molin e Ângela Masuero, pela orientação, apoio e colaboração durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos pracinhas da FEB na pessoa do Sr. José Conrado de Souza, ao Sr. Luiz Carlos Contursi e ao Sr. Édson Gobbi Otto (*in memoriam*), que gentilmente permitiram que os trabalhos de prospecção de amostras e aplicação de argamassas fossem efetuados na casa do Dr. Annes Dias.

Aos colegas do Mestrado Profissionalizante, Valter Q. de Medeiros e Eunice S. da Silva, pela convivência agradável durante estes anos, pelo apoio e auxílio com as ilustrações, e com o fornecimento de bibliografia.

Aos amigos e engenheiros Laura T. Cunha, Solon Magrisso, Virgínia D'Ávila e Mirvânia Bratkowski, pelo incentivo e auxílio com ilustrações e conteúdo bibliográfico.

À colega Ivone Moura dos Santos pelo auxílio com ilustrações.

Aos funcionários da biblioteca da Faculdade de Engenharia, do NORIE e LEME, Éderson, Airton, Fontes e Teixeirinha pelo auxílio, tanto nos ensaios em laboratório, quanto na aplicação das argamassas in loco.

Às alunas do Mestrado Acadêmico Natália Posser e Martina I. Lersch pelo auxílio, troca de informações e bibliografias valiosas.

Aos engenheiros Cláudio (Sika) e Fábio André Viecili, pelo fornecimento dos aditivos químicos.

Aos professores Nestor Torelli (UNISINOS) e Mário Mendonça (UFBA), pela bibliografia fornecida.

Ao engenheiro Paulo Ruaro que gentilmente mandou-me por *e-mail* versão preliminar de seu trabalho de conclusão de mestrado.

À minha família e demais pessoas, pelo incentivo e colaboração para a realização deste trabalho.

## RESUMO

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e eficiência de métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de um estudo de caso**. 2004. 175 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

Este estudo faz um levantamento das diversas origens da umidade e sais solúveis presentes em edificações, contribuindo para uma melhor avaliação das causas das manifestações patológicas originadas. Serão abordados, também, dois métodos de recuperação de paredes degradadas pela umidade e sais, que são o sistema de revestimento de recuperação e a eletro-osmose ativa. Para tanto, seguiram-se as sugestões feitas por Bianchin (1999) sobre um estudo de traços de argamassas de saneamento que obtiveram o melhor desempenho, seguindo as orientações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). Foram feitos em laboratório dois traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:pasta de cal:areia seca), em volume, e com 1% de incorporador de ar e 2% de hidrofugante sobre a massa de cimento, e dois traços 1:2:9 e 1:1:6 de argamassa convencional em volume, analisando-se suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Posteriormente, estas argamassas foram aplicadas sob forma de quatro painéis no porão de um prédio histórico na cidade de Porto Alegre/RS, analisando-se seu desempenho através dos ensaios de salinidade, após oito meses de aplicação. Quanto à eletro-osmose ativa, fez-se um levantamento teórico do sistema eletro-físico ativo de dessalinização de paredes, descrevendo experimentos feitos por Ruaro (1997) no laboratório do NORIE/LEME da UFRGS e por uma equipe na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim, no ano de 1995 em Florianópolis/SC. Ambas aplicações apresentaram resultados positivos quanto à diminuição de sais nas paredes. Os dois métodos poderiam ter sido aplicados na parede da casa, optando-se pelo sistema de revestimento de recuperação por ser mais simples e econômico, enquanto que a eletro-osmose ativa envolveria custos mais elevados de equipamento e materiais importados, bem como a necessidade de mão-de-obra especializada, com acompanhamento constante. Os resultados de desempenho do sistema de revestimento foram satisfatórios, com o cumprimento de algumas propriedades indicadas no Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995). Após 8 meses de aplicação das argamassas de saneamento comprovou-se a migração de sais do interior da alvenaria para as argamassas.

Palavras-chave: umidade; salinidade; argamassas de saneamento; eletro-osmose ativa.

## ABSTRACT

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e eficiência de métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de um estudo de caso**. 2004. 175 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.

This study carries out a survey from the different backgrounds of humidity and soluble salts presents in the buildings, helping to do a correct assessment of the pathological evidence causes. This will approach, also, two methods to recover the walls degraded by humidity and salinity: a special system of plaster and the electro-osmotic active system. Following Bianchin's (1999) suggestions about a study of different special mortars proportions, which became the best performance according to the Germany Notebook Recommendations WTA 2-2-91 (1995), two kinds of mortar have been used (1:2:9 and 1:1:6 – Portland cement: hydrated lime: aggregates), in volume, with 1% of air entraining agent and 2% of water repellent, and two other conventional plasters have also been used (1:2:9 and 1:1:6), in volume, analyzing their properties in fresh and hard conditions. The Germany Recommendations were used because there are no specific recommendations in Brazil for special plasters. Subsequently, these plasters were applied on the wall, in four panels, in the hold of a historical building in the city of Porto Alegre/RS. About electro-osmosis, a theoretical study of electro-physical system was done, describing Ruaro's (1997) experiments, done in the NORIE/LEME's (UFRGS) Laboratory and by a team in the Santa Cruz of Anhatomirim Fortress, in 1995, in the city of Florianópolis/SC. Both applications presented positive results as for the decrease of salinity in the walls. These two technologies could be used in the wall of the historical building. This study chose plaster's system because it is more simple and economical than the electro-osmosis, who needs more expensive equipment, especial workers and constant observation. In the end of the experiments, the results indicated that the special system of plaster shows satisfying results according any properties indicated in the Germany Notebook. Eight months later the performance of the special plasters from these study were analyzed through salinity tests and became satisfactory, with salts migration from the masonry inside the mortars.

Keywords: humidity; salinity; special system of plaster; electro-osmosis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: restauração engloba as atividades de manutenção e de recuperação .....	19
Figura 2: pinturas murais do primeiro piso da casa do Dr. Annes Dias .....	22
Figura 3: geometria dos poros dos materiais .....	40
Figura 4: parábola de chuva incidente .....	41
Figura 5: diferentes situações nas fachadas de edifícios quanto à proteção do vento e da chuva .....	42
Figura 6: forças produzindo penetração da chuva .....	43
Figura 7: controle de sombreamento na construção .....	45
Figura 8: gradiente de umidade devido às diferentes origens e sua distribuição ao longo da largura da parede .....	47
Figura 9: variação da umidade higroscópica do material em função de diferentes concentrações de cloreto de sódio .....	56
Figura 10: mantas de celulose aplicadas em ambas faces de uma parede com umidade e salinidade (interna e externa) em uma casa na Alemanha .....	60
Figura 11: perda de água de argamassas em função da sucção dos tijolos - tempo de contato = 4 minutos .....	70
Figura 12: consistência das argamassas .....	71
Figura 13: condutores isolados entre os tijolos e a terra (ULSAMER, 1995). <i>Dispositivo de contacto: lâmina colocada dentro do tijolo vazado. Toma de tierra: grelha junto ao terreno</i> .....	85
Figura 14: dispositivo de controle, eletrodos coletores (ânodos) e o eletrodo negativo-cabo preto .....	87
Figura 15: face da parede com as duas linhas de eletrodos e à direita o perfil vertical de furos devido à retirada de amostras contaminadas .....	90
Figura 16: face da parede com o cátodo já instalado no corte da alvenaria com o revestimento já recomposto .....	91
Figura 17: face da parede que foi aquecida pelo quadro de lâmpadas e a formação de eflorescências em duas regiões distintas abaixo da linha seca e imediatamente superior à superfície da solução de contaminação .....	92
Figura 18: vista da face não aquecida, após a contaminação - pequena quantidade de eflorescência .....	92

Figura 19: face aquecida onde houve o descolamento de camadas do reboco, juntamente com as eflorescências formadas sobre o mesmo .....	93
Figura 20: teor de cloretos nas argamassas contaminada e saneada, profundidade 0 a 2 cm (argamassa sem eletrodos), na face aquecida, e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses .....	94
Figura 21: teor de cloretos em tijolos contaminados, profundidade 2 a 7cm (sem eletrodos) na face aquecida, e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses .....	95
Figura 22: teor de cloretos na argamassa contaminada, profundidade 0 a 2cm (sem a aplicação dos eletrodos), na face não aquecida e após a aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses .....	96
Figura 23: teor de cloretos na argamassa contaminada, profundidade 2 a 7cm, (sem a aplicação dos eletrodos) e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses .....	97
Figura 24: teor de cloretos em tijolos contaminados, profundidade de 2 a 7 cm (sem a aplicação dos eletrodos) e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses .....	97
Figura 25: colocação dos eletrodos de forma desalinhada na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim .....	100
Figura 26: corte da parede em Anhatomirim, mostrando a instalação do eletrodo .....	101
Figura 27: colocação do eletrodo na parede da Fortaleza de Anhatomirim .....	102
Figura 28: fachada principal da casa localizada na av. João Pessoa . .....	105
Figura 29: muro e parede lateral da casa junto à Casa de Portugal .....	106
Figura 30: desagregação da argamassa interna à esquerda e à direita da lareira da casa respectivamente .....	106
Figura 31: umidade na parede lateral do porão abaixo da lareira .....	107
Figura 32: platibanda lateral com manchas escuras e argamassa de revestimento com fissuras sob forma de pés-de-galinha .....	108
Figura 33: fluxograma do experimento com as argamassas de saneamento .....	109
Figura 34: argamassa feita manualmente em laboratório .....	114
Figura 35: confecção dos corpos-de-prova em laboratório .....	116
Figura 36: corpos-de-prova $\varnothing=20\text{mm}$ e $h=100\text{mm}$ com os moldes em PVC .....	117
Figura 37: aparelho que mede a incorporação de ar, conforme NBR-NM 47:2002 .....	121

Figura 38: corpos-de-prova em contato com a solução de sais .....	123
Figura 39: corpos-de-prova encaixados em frascos de vidro contendo sílica-gel .....	126
Figura 40: corpos-de-prova capeados para o ensaio de resistência à compressão .....	127
Figura 41: corpo-de-prova submetido à compressão .....	128
Figura 42: corpos-de-prova rompidos à compressão .....	130
Figura 43: corpo-de-prova submetido à tração por compressão diametral .....	130
Figura 44: corpos-de-prova rompidos à tração por compressão diametral .....	130
Figura 45: corpos-de-prova imersos por 72 horas .....	132
Figura 46: corpos-de-prova sendo fervidos por 5 horas .....	132
Figura 47: pesagem do corpo-de-prova imerso em água .....	133
Figura 48: no 1º piso da casa – 1ª retirada de amostras .....	136
Figura 49: no 1º piso da casa – 2ª retirada de amostras .....	137
Figura 50: no 1º piso da casa – 3ª retirada de amostras .....	137
Figura 51: no porão da casa – 1ª retirada de amostras .....	137
Figura 52: no porão da casa – 2ª retirada de amostras .....	138
Figura 53: no porão da casa – 4ª retirada de amostras .....	138
Figura 54: posição de retirada de amostras no 1º piso da casa , à esquerda e à direita da lareira respectivamente .....	138
Figura 55: posição de retirada de amostras no porão da casa .....	139
Figura 56: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 1ªs amostras retiradas no 1º piso da casa .....	139
Figura 57: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 1ªs amostras retiradas do porão .....	140
Figura 58: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 2ªs amostras retiradas no 1º piso da casa .....	141
Figura 59: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 2ª retirada de amostras no porão .....	142
Figura 60: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 3ª retirada de amostras no 1º andar da casa .....	143

Figura 61: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 4ª retirada de amostras do porão .....	143
Figura 62: amostras da argamassa antiga, retiradas próximo aos dois primeiros painéis das novas argamassas (traços 1:2:9 e 1:2:9S respectivamente) para os ensaio de salinidade .....	145
Figura 63: amostras da argamassa antiga, retiradas próximo aos dois segundos painéis das novas argamassas (traços 1:1:6 e 1:1:6S respectivamente) para os ensaios de salinidade .....	145
Figura 64: distribuição dos sais cloretos e sulfatos nas diversas alturas e profundidades das amostras retiradas do porão .....	147
Figura 65: painel com juntas raspadas entre os tijolos .....	149
Figura 66: aplicação de chapisco em 100% (argamassa convencional) e em 50% (argamassa de saneamento) sobre o substrato .....	149
Figura 67: aplicação dos traços 1:2:9 sem aditivos e 1:2:9 com aditivos na parede do porão .....	150
Figura 68: vista geral das argamassas – da esquerda para a direita: 1º painel - traço 1:2:9 sem aditivos; 2º painel - traço 1:2:9S com aditivos; 3º painel - traço 1:1:6 sem aditivos; 4º painel - traço 1:1:6S com aditivos .....	150
Figura 69: pontos de retirada das amostras para os ensaios de salinidade nos dois primeiros painéis (traços 1:2:9 e 1:2:9S respectivamente) .....	151
Figura 70: pontos de retirada das amostras para os ensaios de salinidade nos dois primeiros painéis (traços 1:1:6 e 1:1:6S respectivamente) .....	151
Figura 71: distribuição dos sais cloretos e sulfatos nas amostras após o tratamento com as argamassas convencionais e com as de saneamento .....	153

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: manifestações patológicas nos revestimentos com suas causas e reparos necessários .....	29
Tabela 2: incidência de manifestações patológicas em 36 conjuntos habitacionais .....	32
Tabela 3: densidades absolutas (d) e condutividade térmica (K) de materiais de construção .....	35
Tabela 4: ascensão da água conforme o diâmetro dos capilares dos materiais de construção .....	37
Tabela 5: coeficiente de capilaridade de alguns materiais de construção .....	39
Tabela 6: permeabilidade ao vapor de alguns materiais de construção .....	39
Tabela 7: efeito capilar conforme o tamanho dos poros do material .....	40
Tabela 8: principais sais de deterioração de paredes e sua solubilidade em água .....	49
Tabela 9: natureza química das eflorescências .....	49
Tabela 10: tipos de eflorescências conforme seu aspecto e local de formação, bem como as causas prováveis .....	53
Tabela 11: características dos rebocos base (emboço) - WTA 2-2-91 .....	63
Tabela 12: características das argamassas de saneamento – WTA .....	64
Tabela 13: intervenção em relação ao grau de salinização .....	65
Tabela 14: média dos resultados dos ensaios de permeabilidade das argamassas aplicadas em Anhatomirim .....	77
Tabela 15: resultado dos ensaios de massa específica nos corpos-de-prova das argamassas de saneamento aplicadas em Anhatomirim .....	78
Tabela 16: classificação quanto à umidade e à contaminação por sais .....	79
Tabela 17: resultado da salinidade nas primeiras amostras das argamassas aplicadas em Anhatomirim-nov/96 .....	80
Tabela 18: resultado da salinidade nas amostras das argamassas aplicadas na segunda retirada em Anhatomirim-nov/96 .....	82
Tabela 19: ensaios feitos com corpos-de-prova .....	117
Tabela 20: prescrições seguidas para determinar as propriedades das argamassas .....	118
Tabela 21: consistências das argamassas de saneamento .....	119

Tabela 22: resultados dos ensaios de retenção de água .....	120
Tabela 23: teor de ar incorporado das argamassas de saneamento .....	121
Tabela 24: massa específica das argamassas de saneamento .....	122
Tabela 25: resultados do ensaio de resistência aos sais .....	124
Tabela 26: resultados do ensaio de difusão de vapor .....	127
Tabela 27: resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral dos corpos-de-prova .....	129
Tabela 28: massas específicas das argamassas em estudo .....	133
Tabela 29: resultado dos ensaios de presença de sais antes do tratamento da parede do porão da casa .....	146
Tabela 30: resultado dos ensaios de sais após o tratamento .....	152

## **SIGLAS**

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: American Society for Testing and Materials

BSI: British Standards Institution

DIN: Deutsche Industrie Normen (Normas Industriais Alemãs)

FEB: Força Aérea Brasileira

IGS: Institut für Gebäudeforschung und Sanierungsplanung (Alemanha)

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LEME: Laboratório de Ensaio de Materiais

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WTA: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und  
Denkmalpflege E.V. (Alemanha)

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 JUSTIFICATIVA .....	19
1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	22
<b>1.2.1 Objetivo Principal</b> .....	22
<b>1.2.2 Objetivos Secundários</b> .....	22
1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	23
1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA .....	23
<b>2 DEGRADAÇÃO CAUSADA POR UMIDADE E SAIS</b> .....	25
2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS E MECANISMOS DE OCORRÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES	25
<b>2.1.1 Causas diretas</b> .....	25
<b>2.1.2 Causas indiretas</b> .....	28
2.2 PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE EM PAREDES	31
<b>2.2.1 Umidade de construção</b> .....	33
<b>2.2.2 Umidade do terreno</b> .....	36
<b>2.2.3 Umidade de precipitação</b> .....	40
<b>2.2.4 Umidade de condensação</b> .....	44
<b>2.2.5 Umidade devida a fenômenos de higroscopia</b> .....	46
<b>2.2.6 umidade devida a causas fortuitas</b> .....	46
2.3 PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA SALINIDADE EM EDIFÍCIOS E AS LESÕES PROVOCADAS .....	48
<b>2.3.1 Salinidade na construção</b> .....	51
<b>2.3.2 Salinidade no solo</b> .....	55
<b>2.3.3 Salinidade por higroscopicidade</b> .....	56
<b>2.3.4 Salinidade proveniente do ar</b> .....	57
<b>3 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE PAREDES DEGRADAS POR UMIDADE E SALINIDADE</b> .....	58
3.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE RECUPERAÇÃO .....	60
<b>3.1.1 Camadas do sistema de revestimento de recuperação</b> .....	62

<b>3.1.2 Comparação entre as principais propriedades das argamassas convencionais e dos sistemas de revestimento de recuperação no estado fresco e no estado endurecido .....</b>	<b>66</b>
3.1.2.1 Principais propriedades das argamassas no estado fresco .....	67
3.1.2.1.1 Trabalhabilidade .....	67
3.1.2.1.2 Retenção de água .....	68
3.1.2.1.3 Consistência e plasticidade .....	70
3.1.2.1.4 Massa específica .....	72
3.1.2.1.5 Teor de ar incorporado .....	72
3.1.2.2 Principais propriedades das argamassas no estado endurecido .....	73
3.1.2.2.1 Resistência mecânica .....	73
3.1.2.2.2 Difusão de vapor .....	75
3.1.2.2.3 Resistência à passagem dos sais .....	75
<b>3.1.3 Aplicação das argamassas de saneamento na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim em Florianópolis/SC .....</b>	<b>75</b>
3.2 TRATAMENTO ELETRO-OSMÓTICO .....	83
<b>3.2.1 Sistema passivo de eletro-osmose .....</b>	<b>84</b>
<b>3.2.2 Sistema ativo de eletro-osmose .....</b>	<b>86</b>
3.2.2.1 Sistema eletro-osmótico ativo Kerasan .....	86
3.3 EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO (RESGATE DE DADOS DE RUARO, 1997) .....	88
<b>3.3.1 Construção da parede .....</b>	<b>89</b>
<b>3.3.2 Solução de sais .....</b>	<b>89</b>
<b>3.3.3 Retirada das amostras para os ensaios de salinidade .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.4 Aplicação do sistema eletro-osmótico ativo Kerasan .....</b>	<b>90</b>
<b>3.3.5 Análise dos resultados .....</b>	<b>93</b>
<b>3.3.6 Resultados obtidos com o experimento .....</b>	<b>98</b>
3.4 SISTEMA KERASAN APLICADO NA FORTALEZA DE ANHATOMIRIM .....	98
<b>3.4.1 Escolha da superfície teste .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.2 Análise química das amostras antes do tratamento .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.3 Colocação dos eletrodos .....</b>	<b>99</b>
<b>3.4.4 Leitura do sistema .....</b>	<b>102</b>
<b>3.4.5 Coleta de amostras .....</b>	<b>103</b>
<b>3.4.6 Troca de eletrodos .....</b>	<b>103</b>

<b>3.4.7 Análise dos resultados obtidos .....</b>	<b>103</b>
<b>4 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>105</b>
<b>5 ENSAIOS PRELIMINARES COM AS ARGAMASSAS .....</b>	<b>110</b>
5.1 VARIÁVEIS ANALISADAS .....	110
5.2 MATERIAIS UTILIZADOS .....	111
<b>5.2.1 Cimento .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.2 Cal .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.3 Agregado miúdo .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.4 Aditivos .....</b>	<b>112</b>
5.2.4.1 Aditivo incorporador de ar .....	112
5.2.4.2 Aditivo hidrofugante .....	113
5.3 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS .....	113
<b>5.3.1 Transformação dos traços de volume para massa .....</b>	<b>113</b>
<b>5.3.2 Mistura .....</b>	<b>114</b>
<b>5.3.3 Produção da pasta de cal .....</b>	<b>114</b>
<b>5.3.4 Definição e verificação da consistência da argamassa .....</b>	<b>115</b>
<b>5.3.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova .....</b>	<b>115</b>
5.4 MÉTODOS DE ENSAIO ADOTADOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS DE SANEAMENTO .....	118
<b>5.4.1 Ensaios em argamassa no estado fresco .....</b>	<b>119</b>
5.4.1.1 Consistência .....	119
5.4.1.2 Retenção e água .....	120
5.4.1.3 Incorporação de ar .....	121
5.4.1.4 Massa específica .....	122
<b>5.4.2 Ensaios em argamassas no estado endurecido .....</b>	<b>123</b>
5.4.2.1 Resistência aos sais .....	123
5.4.2.2 Coeficiente de resistência à difusão de vapor .....	124
5.4.2.3 Resistência mecânica .....	127
5.4.2.4 Massa específica .....	132
5.4.2.5 Conclusão .....	134
<b>6 ENSAIOS <i>IN LOCO</i> – DESEMPNEHO AO LONGO DO TEMPO .....</b>	<b>135</b>

6.1 ENSAIOS DO TEOR DE UMIDADE .....	135
6.2 ANÁLISE DOS SAIS ANTES DO TRATAMENTO DA PAREDE DO PORÃO ..	145
6.3 APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS NA PAREDE DO PORÃO DA CASA DO DR. ANNES DIAS .....	149
6.4 ANÁLISE DOS SAIS DEPOIS DO TRATAMENTO .....	151
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....</b>	<b>155</b>
7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	155
7.2 CONCLUSÕES .....	155
<b>7.2.1 Consistência .....</b>	<b>155</b>
<b>7.2.2 Retenção de água .....</b>	<b>156</b>
<b>7.2.3 Teor de ar incorporado .....</b>	<b>156</b>
<b>7.2.4 Resistência aos sais .....</b>	<b>156</b>
<b>7.2.5 Resistência à difusão de vapor .....</b>	<b>157</b>
<b>7.2.6 Resistência à compressão .....</b>	<b>157</b>
<b>7.2.7 Resistência à tração por compressão diametral .....</b>	<b>157</b>
<b>7.2.8 Massa específica no estado endurecido .....</b>	<b>157</b>
7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	158
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>159</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>163</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>165</b>
<b>ANEXO C .....</b>	<b>168</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Klein et al. (1999), na recuperação de prédios e monumentos históricos é indispensável o envolvimento de equipes multidisciplinares, cabendo à comunidade científica o desenvolvimento e estudo de técnicas de recuperação que possibilitem sanar as manifestações patológicas encontradas, evitando seu agravamento, especialmente quando o mesmo é em virtude de intervenções incorretas, oriundas de um levantamento mal elaborado dos problemas e das soluções potenciais.

No levantamento técnico da edificação, especial atenção deve ser dada à identificação das manifestações patológicas encontradas, de forma a caracterizar o estado de conservação da obra, além de apontar as causas de sua degradação. Destacam-se aí, os problemas causados pela umidade e salinidade, cujos danos são geralmente difíceis de serem solucionados. Cabe salientar que as intervenções nestas obras devem ser as menores possíveis para não alterar o aspecto das superfícies onde se encontram.

Segundo Bauer (1997), a manifestação da umidade em edificações se dá através de manchas, corrosão, bolor, fungos, algas, eflorescências, descolamentos de revestimentos, friabilidade (desagregação) de argamassas por dissolução de compostos com propriedades cimentícias, fissuras e mudanças de coloração.

Para paredes originalmente rebocadas, existem diferentes tipos de soluções para sanear as manifestações patológicas oriundas da umidade e sais, envolvendo a remoção ou neutralização dos sais através de compressas de celulose, rebocos de sacrifício ou sistema eletrofísico, argamassas de saneamento ou combate químico, entre outros.

Neste contexto, esta pesquisa procura fazer um levantamento das diversas origens da umidade e salinidade, tão presentes em obras antigas, e de técnicas de recuperação de paredes degradadas, dentre as quais estão o tratamento com argamassas de saneamento e o sistema eletrofísico, verificando a potencialidade de sua aplicação.

Em nosso país estão sendo desenvolvidos estudos científicos sobre técnicas de recuperação de paredes degradadas pela umidade, utilizando-se as argamassas de saneamento, com o uso de

materiais e equipamentos locais, como mostram os experimentos conduzidos por Bianchin (1999), por Pagnussat et al. (2003) e pela empresa Serrana para aplicação na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim em 1995. Apesar disto, muitas vezes intervenções incorretas têm sido feitas em prédios históricos como é o caso da utilização de argamassas tradicionais, que são incompatíveis com o substrato original e causam deteriorações ainda mais graves do que as inicialmente encontradas, resolvendo apenas temporariamente o problema.

A solução mais simples e econômica de se sanear paredes contaminadas pela salinidade, segundo Tonera (1997), quando nos rebocos aparecem as **eflorescências** (formações de depósito de sais minerais solúveis sobre a superfície do revestimento, em geral aparecendo sob forma de manchas brancas, devido à evaporação da água que serviu de meio de transporte desta solução salina do interior do substrato até a face externa), é a retirada dos sais em conjunto com a camada superficial antiga da parede. Faz-se então um novo revestimento, composto por um sistema de revestimento de recuperação com propriedades especiais que mantém os sais no interior dos seus poros. Os sais podem até migrar para a superfície livremente, mas não provocam danos ao substrato.

Dentre as pesquisas desenvolvidas no NORIE, destaca-se a realizada por Bianchin (1999), que produziu e avaliou diversos traços de argamassas de saneamento, seguindo as orientações estabelecidas pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), utilizando-se materiais do mercado nacional. Cabe salientar que as recomendações da WTA 2-2-91 (1995) são obedecidas por todos os fabricantes de argamassas de saneamento da Alemanha.

No processo de dessalinização de paredes, existe, também, o método chamado de processo eletro-osmótico ativo, a eletroforese, que é sugerido para ser aplicado em paredes onde existem pinturas murais, que apresentam várias camadas de pinturas extremamente finas que não podem ser removidas. Esta técnica prevê a aplicação de eletrodos especiais em perfurações no interior da alvenaria, sendo que os sais migram para o interior destes eletrodos.

Procura-se, neste trabalho, resgatar resultados de estudos sobre esta técnica feitos por Ruaro (1997), junto ao NORIE/UFRGS, correspondente ao acompanhamento do desempenho do método aplicado em uma parede salinizada experimentalmente. Outro exemplo prático de aplicação desta técnica ocorreu na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim, na cidade de Florianópolis/SC, o qual também será descrito adiante.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

O tema **restauro** está cada vez mais presente em nosso país, e com ele a discussão sobre como efetuar a recuperação de importantes obras que fazem parte da nossa história, nas quais normalmente se identificam diversas manifestações patológicas, principalmente danos causados por umidade e sais.

Para Garcia et al. (1985), restaurar vem do latim *restaurare*, cujo significado é restabelecer, reparar, retornar ao aspecto original. No Dicionário de Arquitetura e Construção do Instituto Geográfico Espanhol de 1960, restauração é definido como as obras que se executam em um edifício em ruínas, destruído ou simplesmente deteriorado, procurando-se aproximá-lo do seu estado original, com o auxílio de plantas, fotos, depoimentos e demais dados existentes, ou que sejam necessários pesquisar.

Um dos significados possíveis adotados para a restauração, é a abrangência de atividades de manutenção e recuperação de uma obra, ou seja, tanto pode ser uma intervenção, onde é reposto parcialmente o desempenho da obra, fazendo com que se proteja o momento onde o desempenho cairá abaixo do patamar mínimo, quanto pode ser uma intervenção mais complexa, chamada de recuperação, onde o desempenho mínimo da obra já foi atingido e é necessário restabelecer as condições de utilização. A figura 1 ilustra a diferença dos significados possíveis adotados destes termos.

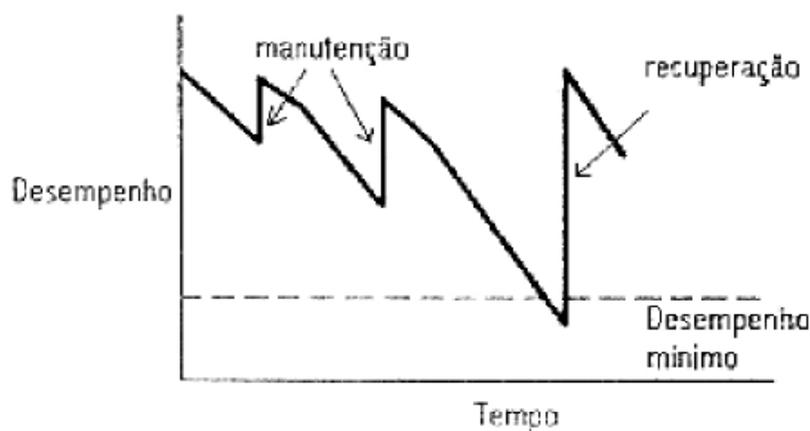


Figura 1: restauração engloba as atividades de manutenção e de recuperação (IPT, 1988)

A recuperação de prédios históricos geralmente conduz a gastos elevados, sendo que se deve procurar manter, tanto quanto possível, as características originais da obra, seus materiais e elementos estruturais, preservando a história viva que representam, não descaracterizando completamente a edificação. Qualquer intervenção, quando necessária, deve ficar bem definida como elemento apostado posteriormente à construção original.

Vale lembrar o que Almagro (19\_\_ ) alerta, quanto ao cuidado especial que deve ser tomado ao se intervir em um edifício de interesse histórico e artístico, pois na realidade se participa na recuperação de bens de interesse cultural. Não somente se trata de salvaguardar a pura materialidade do edifício, mas também de recuperar outros elementos mais frágeis, e que podem desaparecer pela simples transformação destes. Estes valores podem ter dimensões históricas, ambientais e culturais. Por isto é importante cautela nas atuações e na manipulação de dados de elementos que não são somente patrimônio da sociedade atual, mas também das futuras gerações. Documentar de maneira precisa o estado do monumento antes de qualquer atuação é, portanto, fundamental.

Quanto aos danos surgidos nas edificações pode-se fazer, segundo Quadros (1993), uma analogia entre as terminologias e as metodologias utilizadas, tanto para as patologias humanas quanto para as das construções: ambas têm a sua **história clínica**, ambas se apresentam como “casos clínicos”, ambas se manifestam por sintomas e ainda, de ambas se extrai os diagnósticos que fundamentarão as medidas terapêuticas adequadas.

De acordo com Ripper (1996), o maior inimigo das construções e da saúde dos seus ocupantes é a umidade, e por falta de conhecimento das soluções corretas, ou por falta de responsabilidade, os devidos cuidados na obra nem sempre são tomados. Isto acontece não somente em prédios antigos, mas também em construções contemporâneas que são afetadas pela umidade e que poderão ser beneficiadas por uma terapêutica adequada. Para Seele (2000), dentre as falhas que ocorrem em um projeto de restauração predial, destaca-se a ausência de informações quanto à incidência de umidade e sais na edificação e quanto à situação atual das propriedades das superfícies dos elementos construtivos, como permeabilidade ao vapor de água, capacidade de absorção de água, existência de vazios e descolamento de rebocos e pinturas. Segundo Arendt (1995), pode-se dizer que os sais mais prejudiciais e de maior incidência nas construções são os sulfatos, os cloretos e os nitratos. Na prática, vê-se que, conforme a utilização e localização das construções, variam os tipos de sais

presentes, sendo que em edificações da área rural predominam os nitratos e nas regiões litorâneas (no nosso caso), predominam os cloretos.

Para Beichel (1997), muitos métodos de saneamento de paredes e muros degradados pela umidade e salinidade foram criados e aplicados nos últimos anos, como injeções de resinas em perfurações feitas nos materiais, aplicação de revestimentos altamente rígidos e hidrófugos, de revestimentos betuminosos ou de pastilhas, mas infelizmente os resultados relatados são bastante satisfatórios. Durante os últimos 20 anos um sistema de rebocos especiais revestidos por uma tinta mineral à base de silicato de alta qualidade foi desenvolvido na Alemanha e os resultados relatados são bastante satisfatórios. No entanto, no Brasil os materiais são diferentes, o que justifica a adaptação no desenvolvimento de argamassas locais que utilizem produtos nacionais.

Desta forma, será utilizada uma parede lateral do porão de uma casa construída no início do século XX, antigamente pertencente ao Dr. Annes Dias, localizada na cidade de Porto Alegre, e que se apresenta bastante úmida e com sinais da presença de sais, na qual serão aplicados dois traços de argamassas de saneamento e dois traços de argamassas convencionais. Serão feitos ensaios no estado fresco e no estado endurecido destas argamassas, bem como o acompanhamento de seu desempenho na parede por oito meses, com o intuito de contribuir para complementar os estudos sobre ensaios de traços de argamassas de saneamento feitos por Bianchin (1999) junto ao NORIE.

Outro método de saneamento de paredes ainda pouco divulgado em nosso país é o da eletroforese, que será também abordado, no sentido de se ampliar os conhecimentos a respeito de técnicas de recuperação de paredes degradadas que não impliquem na remoção da argamassa. Esta característica deste método é indicada para situações como as encontradas no primeiro piso da casa de estudo, onde a argamassa está revestida por pinturas murais (figura 2).

Não é intenção deste trabalho fazer o experimento em si neste piso, tendo em vista os prováveis altos custos destes equipamentos e materiais importados, bem como a necessidade de mão-de-obra especializada para sua aplicação, além do curto espaço de tempo para a pesquisa, mas sim, sugerir um método que se aplique à situação e que num futuro possa ser aplicado.



Figura 2: pinturas murais do primeiro piso da casa do Dr. Annes Dias

## 1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.2.1 Objetivo principal

O principal objetivo desta pesquisa é verificar, através de um estudo de caso, a aplicabilidade e eficiência do método da argamassa de saneamento para paredes que apresentam umidade e salinidade, com utilização de materiais e equipamentos nacionais, além da aplicação manual das argamassas na parede, compatíveis com a situação apresentada em uma casa construída no início do século XX.

### 1.2.2 Objetivos específicos

No desenvolver deste trabalho outros objetivos secundários e igualmente importantes serão cumpridos, uma vez que fazem parte tanto de etapas intermediárias como do final da pesquisa. Dentre eles pode-se citar:

- a) estudo das principais formas de manifestação da umidade e sais em paredes;
- b) estudo das técnicas utilizadas:
  - argamassa de saneamento proposta pelo Caderno de Recomendação Alemão WTA;
  - sistema de dessalinização eletro-osmótico (dois estudos de caso-laboratório do NORIE/UFRGS e em Florianópolis/SC).
- c) estudo de caso:
  - análise das condições das paredes e revestimentos a serem recuperados – presença de sais e umidades;
  - formulação de argamassas (convencional sem aditivos e saneamento com aditivos)

### 1.3 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A presente pesquisa apresenta algumas delimitações a seguir expostas:

- a) curto espaço de tempo que impede um acompanhamento por um período maior do comportamento das argamassas de saneamento aplicadas na parede da casa;
- b) custos elevados de tempo de equipamentos e materiais importados, além de dificuldades com o curto espaço de tempo para aplicação do sistema eletro-osmótico, onde a argamassa não deve ser retirada, apenas saneada, que tornam inviável sua aplicação no primeiro e segundo pisos da casa durante este trabalho de mestrado profissionalizante, o que permite apenas que se faça a pesquisa teórica sobre este assunto.

### 1.4 ORGANIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta dissertação está dividida em sete capítulos. O primeiro capítulo é composto pela justificativa da pesquisa, discussão dos objetivos principal e específicos e enumeração das delimitações impostas ao estudo.

No segundo capítulo são apresentadas as formas de manifestação de umidade e sais na edificação, bem como discutidas formas de diagnóstico. Apresentam-se alguns conceitos sobre umidade e salinidade com o intuito de justificar a importância do tema e do desenvolvimento de um método adequado de análise e tratamento destas manifestações patológicas.

O terceiro capítulo aborda duas das principais técnicas que podem ser aplicadas em paredes degradadas por umidade e sais. Dentre elas está a argamassa de saneamento, suas principais propriedades no estado fresco e endurecido. Também é tratado o processo eletro-físico, chamado de eletro-osmose, abordando duas experiências feitas no Brasil. Uma aplicada em uma parede salinizada no Laboratório do NORIE/LEME/UFRGS, e outra na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim na cidade de Florianópolis, no estado de Santa Catarina.

No capítulo quatro caracteriza-se o local em que foi realizado o estudo de caso, que vem a ser casa do Dr. Annes Dias, principalmente as manifestações patológicas encontradas na parede lateral esquerda, quem de frente a observa.

O quinto capítulo apresenta o programa experimental, envolvendo as duas etapas do planejamento do experimento, com os ensaios preliminares feitos nas argamassas convencionais e de saneamento elaboradas em laboratório, e a análise dos resultados obtidos.

No sexto capítulo, são descritos os ensaios feitos *in loco*, com a retirada de amostras dos materiais antigos constituintes da parede lateral, a análise da umidade e salinidade neles contida, e a posterior aplicação de dois traços de argamassas de saneamento e de dois traços de argamassas convencionais sob forma de painéis na parede, analisando-se os seus desempenhos através dos ensaios de salinidade após oito meses de aplicação.

No sétimo capítulo são apresentadas e discutidas as considerações finais sobre o desempenho das argamassas de saneamento aplicadas na casa, bem como recomendações para próximos trabalhos sobre o tema.

## 2 DEGRADAÇÃO CAUSADA POR UMIDADE E SAIS

### 2.1 PRINCIPAIS CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM REVESTIMENTOS E MECANISMOS DE OCORRÊNCIA NAS EDIFICAÇÕES

São várias as causas que provocam degradações nos elementos construtivos, que podem ser definidas como agentes ativos ou passivos em um processo patológico, produzindo várias lesões no edifício. Estas lesões podem ser bastante numerosas, levando-se em conta os diversos agentes agressivos que atuam sobre a gama de materiais construtivos.

Para que um correto diagnóstico sobre as manifestações patológicas possa ser feito, é importante o conhecimento destas diversas causas de origem da enfermidade. Carrio (1993) procura classificar as causas em diretas e indiretas. Dentro desta classificação há vários tipos de agentes agressores, que deverão ser analisados em cada processo, sendo que muitas vezes não aparecem sozinhos, mas sim, agindo conjuntamente. São elas:

#### 2.1.1 Causas diretas

São as que agem concretamente sobre a unidade construtiva e seus materiais, iniciando a degradação dos mesmos, fazendo com que percam a sua integridade ou seu aspecto original. Estas causas podem ser mecânicas, físicas e químicas, descritas abaixo:

- a) mecânicas: compreendem os **esforços mecânicos** sobre a unidade construtiva superiores ao previsto no cálculo do projeto estrutural, ou as sobrecargas temporárias, bem como as cargas dinâmicas, provocando lesões como as fissuras. Também faz parte deste grupo a transmissão de esforços mecânicos por deformação nos elementos estruturais ou fachadas e acabamentos.
- b) físicas: referem-se aos **agentes atmosféricos** que atuam sobre o edifício, principalmente em fachadas e telhados, como a chuva, causando a presença de

umidade quando cai sobre materiais muito porosos e com elevada absorção capilar e em combinação com o vento, provocando infiltrações.

- c) químicas: compreende todo tipo de produto químico e sua reação, vindo do ambiente ou de organismos vivos, ou decorrente do próprio uso da habitação. Pode-se mencionar as contaminações ambientais que reagem com alguns compostos pétreos das fachadas, sobretudo em presença da água, provocando erosões químicas de muitos tipos.

Outras causas físicas, segundo Carrio (1993), são as mudanças de temperatura, que provocam dilatações e contrações, e podem originar fissuras e desprendimentos; e as contaminações atmosféricas em forma de partículas. Segundo Mecha (1993), o vento atua como causa física, servindo de meio de transporte de partículas sólidas, que por sua vez exercem impacto sobre as superfícies, erodindo-as.

A velocidade do vento sobre a superfície influi também na cristalização dos sais, pois aumenta a velocidade de evaporação da água capilar, ao eliminar a água superficial.

Petrucci (2000) supõe que o inverno é a estação mais favorável para que ocorram manifestações patológicas de manchamento das fachadas na cidade de Porto Alegre/RS por partículas de contaminação atmosférica, pois os ventos são mais fracos, dificultando a dispersão dos poluentes. As temperaturas também são baixas, e a umidade relativa do ar é alta. As chuvas são mais fracas do que no verão, apesar da precipitação pluviométrica ao longo do ano ser maior nos meses de junho a setembro.

Seele (2000) diz que ocorrem agressões nas fachadas dos edifícios, através de poluentes atmosféricos sob forma de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  e  $\text{CO}_2$ , além da fuligem do ar. Segundo ele, os sais solúveis contidos nos tijolos, pedras e argamassas também são causas químicas, podendo provocar, com a ajuda da umidade, eflorescências e criptoflorescências.

Zehnder e Arnold (1990) dizem que praticamente todas as paredes contem sais solúveis, dispersos dentro dos poros dos materiais ou em concentrações localizadas. As eflorescências são agregações de cristais, com diferentes formas que ocorrem na superfície das paredes. Já as criptoflorescências, são cristalizações com aumento de volume dos sais, que ocorrem próximas à superfície da parede, e não mais na superfície. Os sais vindos do terreno ou do próprio material são transportados pela parede através da sua dissolução pela água até níveis superiores, onde se cristalizam formando a eflorescência ou a criptoflorescência.

Enquanto as eflorescências só afetam o aspecto externo do material, as criptoflorescências, que são internas, por seu grande poder expansivo, são mais perigosas, provocando paulatinamente a obturação dos canais porosos, incrementando a ascensão da água para níveis acima do já existente.

Segundo Souza (1997), podem surgir eflorescências pela ação dos íons de cloro originados da lavagem dos revestimentos com ácido clorídrico (HCL), ou pela ação do spray marinho em regiões litorâneas que terminam por provocar uma deterioração superficial do revestimento. Conforme Ruaro (1997), neste caso, a perda de umidade em excesso ocorre antes dos sais chegarem à superfície. Com a cristalização, e a conseqüente expansão, os sais destroem a estrutura do material, provocando o descolamento deste em placas ou em grumos.

Segundo a norma ASTM – C 270 (1992), para que se formem as eflorescências, deve ocorrer uma combinação de condições, sem as quais o fenômeno não ocorre. São elas:

- a) deve haver uma fonte de sais;
- b) deve haver uma fonte de umidade para que haja o transporte dos sais solúveis para a superfície;
- c) a evaporação ou pressão hidrostática tem que causar a migração da solução de sais.

Também podem fazer parte deste grupo de causas físico-químicas, os organismos, tanto animais como vegetais. Estes organismos podem originar algum tipo de erosão química ou física, como conseqüência da secreção de ácidos. De acordo com Mecha (1993), as aves, principalmente a ação destruidora das pombas, causam agressões químicas, porque os excrementos contêm nitratos, grande quantidade de enxofre e 2% de ácido fosfórico. Diz o mesmo autor que a presença de líquens (algas e fungos) também é indício de grande quantidade de umidade, cuja presença pode significar possibilidades futuras de crescimento de plantas mais desenvolvidas que podem degradar mecanicamente as construções, devido ao seu peso, ou causar fissuras, pela expansão de suas raízes. Os fungos mais ativos, como o *Aspergillum niger*, a *Spicaria sp* e o *Penicillium sp* produzem ácido cítrico e oxálico.

De acordo com Alucci et al. (1984), para que os fungos se desenvolvam são necessárias três condições: umidade relativa do ar elevada, acima de 75%, temperaturas variando entre 10 e 35°C e alimento. Este alimento é composto por sais minerais e matéria orgânica da própria construção, ou de alimento que vem com o vento, como a poeira. Eles se desenvolvem em

meios ácidos, sendo que algumas espécies crescem razoavelmente bem em pHs superiores a 7 (sete).

Entre as medidas de prevenção do desenvolvimento de bolor, está o de se evitar o emprego de materiais higroscópicos em locais suscetíveis à ação de umidade, como painéis de gesso não adequadamente protegidos, em beirais ou banheiros; ou revestimentos à base de gesso na face interna de parede externa em alvenaria aparente. Estes autores indicam algumas formas de se tratar as áreas afetadas por bolor. Quando a infecção estiver no início, basta aplicar, com uma escova de piaçaba, a solução indicada a seguir:

- a) 80g de fosfato trissódico;
- b) 30g de detergente;
- c) 90ml de hipoclorito de sódio;
- d) 2.700ml de água.

A superfície deve ser enxaguada com água limpa e seca com um pano. Deve-se ainda evitar o contato desta solução com a pele, olhos e componentes metálicos existentes nas áreas afetadas. Em se tratando de superfícies muito contaminadas, recomenda-se a remoção do revestimento (pintura, papel de parede, entre outros) e a lavagem com a solução descrita acima. Pode-se também aplicar uma solução com fungicida apropriada. Após a limpeza, deve-se aguardar a secagem da superfície antes da execução do novo revestimento. Na cidade de Porto Alegre/RS, segundo Petrucci (2000), a umidade relativa mantém-se, na média, com índices superiores a 65%, sendo que as máximas ocorrem nos meses de maio, junho e julho, ficando em torno de 81%. Desta forma são facilitados os processos de deposição de partículas por via seca e úmida, favorecendo os fenômenos de condensação da água sobre os paramentos das fachadas.

### 2.1.2 Causas indiretas

Carrio (1993) cita que se as causas diretas eram a espoleta que iniciava a manifestação patológica, as indiretas são a pólvora que permanece latente até receber a chispa para a sua explosão, iniciando a manifestação patológica.

Nestas causas pode-se encontrar os fatores inerentes da unidade construtiva como: erros de projeto, de materiais empregados (sua constituição físico-química), o sistema de construção falho (sobretudo nos encontros de elementos construtivos, como juntas e detalhes de uniões), defeitos nas formas ou dimensões inadequadas de elementos construtivos, e manutenção da obra.

Resumindo as diversas causas, tanto as diretas como as indiretas, CINCOTTO (1984) mostra na tabela 1 um quadro das principais manifestações patológicas nos revestimentos de fachadas, juntamente com os reparos adequados.

Tabela 1: manifestações patológicas nos revestimentos com suas causas e reparos necessários (CINCOTTO, 1984)

<b>Manifestação</b>	<b>Aspectos</b>	<b>Causas prováveis</b>	<b>Reparos</b>
Eflorescência	-manchas de umidade -pó branco acumulado na superfície	-umidade constante -sais solúveis (alvenaria e água de amassamento) -cal não carbonatada	-eliminação da infiltração -secagem do revestimento -reparo do revestimento quando pulverulento
Bolor	-manchas esverdeadas ou escuras -revestimento em desagregação	-umidade constante -área não exposta ao sol	-eliminação da infiltração -lavagem com hipoclorito -reparo do revestimento quando pulverulento
Vesículas	-empolamento da pintura	-hidratação retardada de C2O (hidróxido de cálcio de cor branca) -pirita ou material orgânico na areia (cor preta) -concreções ferruginosas na areia -aplicação prematura de tinta impermeável	-renovação da camada de reboco -eliminação da infiltração

continua

continuação

Descolamento com empolamento	-descolamento do emboço formando bolhas -reboco c/som cavo	-infiltração de umidade -hidratação retardada do MgO (hidróxido de magnésio)	-renovação da pintura -renovação do reboco
Descolamento em placas	-placa endurecida quebrando com dificuldade -som cavo	-placas freqüentes de mica na camada inferior -argamassa muito rica ou espessa -superfície c/substâncias hidrófugas -falta de aderência da superfície	-renovação do revestimento -eliminação da base hidrófuga -aplicação de chapisco
	-placa endurecida e desagregando-se	-argamassa magra -ausência de chapisco	-renovação do revestimento
Descolamento com pulverulência	-descolamento da película arrastando o reboco -som cavo	-excesso de finos -traço pobre -traço muito rico em cal -camada muito espessa de reboco	-renovação do reboco
Fissuras horizontais	-ao longo da parede -descolamento do revestimento com som cavo	-expansão da argamassa por hidratação retardada do MgO (hidróxido de magnésio) -expansão da argam. por reação cimento-sulfatos ou de argilo-minerais nos agregados	-renovação do revestimento
Fissuras mapeadas	-forma variada e em toda superfície	-retração da argamassa de base	-renovação do revestimento e da pintura

Pode-se observar que os principais agentes de degradação dos revestimentos são aqueles relacionados com a agressividade do clima, sendo que a sua atuação simultânea causa degradações, bem mais graves do que se atuassem isoladamente. Não se pode esquecer que

havendo manifestações patológicas, podem ocorrer, por consequência, a perda direta de desempenho do elemento construtivo através da perda de sua resistência mecânica.

## 2.2 PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE EM PAREDES

Segundo Merino (1993), a umidade nos materiais provoca aumento de seu peso, tanto maior quanto maior a sua porosidade, alterando a situação estática do material, que acaba por deformar-se. O material ao umedecer, dilata, e ao secar, retrai. Assim, em ciclos sucessivos o material pode se fadigar e fissurar.

De acordo com Toner (1988), 90% dos problemas que aceleram a senilidade de um edifício se devem à presença da água, tanto nos materiais quanto nos espaços internos da construção. Já Merino (1993) diz que o número de problemas patológicos que estão diretamente ligados à presença da umidade nas edificações é da ordem de 30%, sendo que este número duplica, quando se acrescentam danos associados a formas indiretas, como degradações superficiais, descolamentos, corrosões e problemas higrotérmicos.

Na tabela 2, Ioshimoto (1984) apresenta o resultado de um levantamento feito pelo IPT, em 1980, sobre um estudo de manifestações patológicas em 36 conjuntos habitacionais, num total de 500 habitações. Pode-se ver que a maior parte das manifestações patológicas é devida à umidade e que a incidência das lesões é maior em casas térreas do que em prédios de apartamentos.

Nestas construções a utilização dos revestimentos é bem menor nos apartamentos, já que os prédios foram construídos com blocos de concreto e revestidos com pintura impermeabilizante, sem emboço e argamassa de revestimento. O número de conjuntos habitacionais com prédios de apartamentos é menor quando comparado com o número de conjuntos de casas térreas.

Tabela 2: incidência de manifestações patológicas em 36 conjuntos habitacionais (IOSHIMOTO, 1984)

<b>Tipo de edificação</b>	<b>Idade (anos)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Trincas (%)</b>	<b>Descolamento de revestimento (%)</b>
Casas térreas	1-3	42	29	29
	4-7	50	25	25
	> 8	37	35	28
Apartamentos	1-3	52	35	07
	4-7	86	14	-
	> 8	82	12	6

Quanto às causas da umidade, Henriques (1995) destaca seis grupos distintos conforme segue:

- a) umidade de construção;
- b) umidade do terreno;
- c) umidade de precipitação;
- d) umidade de condensação;
- e) umidade devida a fenômenos de higroscopia;
- f) umidade devida a causas acidentais.

Na realidade, estas causas não ocorrem isoladamente, e sim de forma associada, devido às condições propícias ou por umas serem conseqüência de outras. Segundo Ruaro (1997), dentre estas formas de ocorrência de umidade, a de construção é inevitável, por ser inerente ao processo construtivo. A umidade de condensação, infiltração e acidental são evitáveis pela concepção de um projeto adequado. A umidade por higroscopia pode ser controlada através da umidade relativa do ar como veremos a partir do item 2.2.5.

Descreve-se, a seguir, de forma mais detalhada, estas principais causas da presença da umidade e salinidade em obras, cujo conhecimento é de grande importância, principalmente para que se possa elaborar um correto diagnóstico das manifestações patológicas, propondo, então, soluções adequadas. Os diagnósticos destes processos patológicos podem ser feitos

através da simples observação do estado dos elementos construtivos, de ensaios em laboratório, ou utilizando-se instrumentos específicos de análise do estado destes elementos.

### 2.2.1 Umidade de construção

De acordo com Merino (1993), o uso da água durante a construção de um edifício faz com que a mesma seja incorporada por seus materiais. Parte desta água fica ligada a eles e parte se evapora de acordo com as condições ambientais em um período que normalmente não é inferior a um ano. Ao se evaporar, a água deixa atrás de si uma rede porosa no material que pode ser novamente preenchida pela água.

Ulsamer (1995) lembra que é importante atentar para o fato de procurar terminar a estrutura da obra antes do verão, facilitando a sua secagem, deixando os acabamentos para serem executados a partir do outono. Mas, mesmo assim, a evaporação pode durar muito mais tempo, até anos inteiros, quando se empregam materiais como concreto de alto desempenho ou alvenarias porosas revestidas de argamassas de baixa permeabilidade. No caso ainda de somente uma das faces da parede estar impermeabilizada, a evaporação ocorrerá pela outra face, podendo se converter facilmente em fonte de eflorescência.

Segundo Bauer (1987), o *Centre Scientifique et Technique de La Construction* de Bruxelas publicou, em 1984, que a quantidade de umidade de construção a ser eliminada após o término da obra de uma edificação construída sob forma tradicional, é de cerca de 3.000 a 5.000 litros/unidade. De acordo, ainda, com Bauer (1987), este Centro de Tecnologia também recomenda providências práticas que podem ser tomadas no sentido de se eliminar mais eficazmente a umidade de construção, que são:

- a) não executar acabamentos de paredes por meio de demãos fortemente resistentes à difusão do vapor d'água, como pinturas ou papel de parede plastificado, sem antes verificar se a parede está realmente seca;
- b) ventilar e aquecer adequadamente a obra depois de ser ocupada por seus usuários.

Carrio (1993) classifica a umidade de construção como a aparição incontrolada de uma porcentagem de umidade superior ao desejado em um material ou elemento construtivo qualquer, e que a sua origem é a umidade incorporada durante o processo de execução da

obra, que não seca convenientemente. Este fenômeno pode se agravado pela aplicação de um acabamento superficial, que atua como uma barreira, dificultando a evaporação. O teor de água em excesso aumenta nas edificações ainda em fase de construção sujeitas à ação direta da chuva. Embora parte desta água se evapore rapidamente, uma quantidade considerável demora bastante tempo para fazê-lo. Segundo Henriques (1995), o processo de secagem dos materiais porosos ocorre em três fases distintas, a saber:

- a) primeira fase: rapidamente ocorre a evaporação da água superficial dos materiais;
- b) segunda fase: dá-se a evaporação da água localizada nos poros de maiores dimensões dos materiais, que é um processo bastante mais demorado, pois estando a maior parte da água contida no interior dos materiais, esta necessita atravessar todos os poros até atingir a superfície;
- c) terceira fase: é caracterizada por um processo ainda mais lento, muitas vezes ocorrendo ao longo de vários anos, pois se trata da liberação da água existente nos poros de menores dimensões.

De acordo com Ulsamer (1995), os materiais com poros de maior diâmetro, como os tijolos e a cal, secam rapidamente. Já os materiais de estruturas finas, como muros de concreto, madeira, tardam muito em perder a água. Já as cavidades mais importantes ou as fissuras, como as de retração, permitem que a secagem acelere. Deve-se levar em conta também o excesso de água a evaporar, que pode chegar a 200 litros de água por metro cúbico de alvenaria, bem como a duração da secagem de muros de alvenaria que é proporcional ao quadrado da largura do muro ou da parede. Se o ar nos poros de um material for substituído por água, a sua condutividade cresce, ou seja, maior a condução de calor através do corpo ou através de corpos em contato direto. Segundo Rivero (1985), a propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução é a sua condutividade térmica ( $k$ ). Quanto maior a condutividade, menor o isolamento térmico do material, diminuindo a proteção do substrato, conforme mostra a tabela 3. Com frequência, a densidade ( $d$ ) é tomada como indicador da condutividade dos materiais, mas não existe relação direta entre as suas quantidades. O fato é que o ar possui uma condutividade muito baixa. Como os materiais mais leves tendem a ser porosos, contém mais ar, sua condutividade tende a ser menor. Existem, porém, exceções, como é o caso do aço e do alumínio. O alumínio é mais leve que o aço, e, no entanto, tem uma condutividade mais elevada. Conforme Sattler (2000), a relação é válida para materiais do mesmo tipo, mas de densidades diferentes. Se o ar nos poros de um material

for substituído por água, sua condutividade cresce e que, quanto mais poroso o material, mais a condutividade crescerá com o acréscimo de umidade.

Tabela 3: densidades absolutas (d) e condutividade térmica (K) de materiais de construção (RIVERO, 1985)

MATERIAL	D (Kg/m <sup>3</sup> )	K (W/m.°C)
Concreto	2.200	1,740
Concreto celular	500	0,200
Tijolo maciço	1.600	0,810
Madeira	800	0,190
Vidro	2.600	1,200
Cortiça	200	0,051
Poliestireno expandido	20	0,035
Fibrocimento (chapas)	1.900	0,760
Palha (em coberturas)	200	0,120
Mármore	2.600	2,900
Aço	7.800	47,000
Alumínio	2.700	220
Ar	1,20	0,024

Thomaz (1984) diz que nos produtos à base de cimento, uma relação água/cimento de aproximadamente 0,40 é suficiente para que ocorra a hidratação completa do cimento, sendo que quantidades adicionais permanecem livres no interior da massa, evaporando, podendo provocar a denominada retração de secagem, que pode causar infiltrações de água, principalmente nos revestimentos externos.

Segundo Mehta (1994), a pasta de cimento Portland saturada não é dimensionalmente estável. Esta variação dimensional praticamente não ocorre quando a umidade relativa (UR) fica mantida a 100%. Mas, se exposta à umidade ambiente, que normalmente está muito abaixo de

100%, o material começará a perder água e a retrair, causando a retração de secagem mencionada acima.

Henriques (1995) coloca que a umidade de construção pode causar anomalias, como desprendimento de materiais, ou dar origem à ocorrência de condensações, quando faz diminuir a temperatura superficial dos materiais. Estas anomalias devem cessar em um período mais ou menos curto, dependendo de fatores como características e tipo de utilização do edifício, além da variação do clima.

### 2.2.2 Umidade do terreno

A maioria dos materiais de construção utilizados, tanto no presente quanto no passado, tem capilaridade elevada por onde pode subir a umidade do solo. Segundo Merino (1993), a água do terreno penetra nas paredes e muros por pressão hidrostática lateral e por ascensão capilar.

Ulsamer (1995) lembra que quanto mais finos são os poros da terra, tanto mais sobe a água devido às forças capilares. Estas forças elevam a água a alturas superiores a 20 a 30 centímetros acima do nível do lençol freático. Somente muito perto da superfície do terreno há pouca água, em função da absorção das raízes das plantas ou da evaporação em contato com o ar e a ação dos raios solares. É aconselhável, portanto, assegurar-se do nível do lençol freático por meio de sondagens.

Para Henriques (1995), em se tratando de águas freáticas o tipo de fonte de alimentação é ativo durante todo o período, e a altura das manchas de umidade apresenta-se constante em todas as paredes, sendo que nas interiores são maiores do que nas exteriores onde, em geral, as condições de evaporação são maiores.

Já devido às águas superficiais, os fenômenos variam durante o ano, sendo mais graves no inverno, podendo a altura da umidade variar de parede para parede, sendo que o nível de umidade é mais alto nas exteriores que nas interiores, pois estas últimas estão mais distantes das fontes de alimentação. As zonas erodidas das paredes atingem grandes alturas, devido à variação dos níveis atingidos pela água durante o ano.

Segundo Polisseni (1986), o transporte de água por capilaridade ocorre por ação de forças de ascensão capilar nos poros de um material hidrófilo. Estas forças são uma combinação da tensão superficial da água e da adesão de moléculas de água na superfície interna do poro. A tensão superficial é um fenômeno físico onde a superfície da água age como uma membrana submetida à tração.

A temperatura exerce influência sobre esta tensão, sendo que quando ela aumenta, diminui a tensão superficial. As moléculas da camada superficial de um líquido, quando colocadas próximas a um sólido, ficam submetidas à ação de duas forças atrativas: a coesão, orientada para o interior da massa líquida, e a adesão, força exercida pelas moléculas do sólido. Quando a força de adesão for maior que a de coesão, o líquido molha o sólido.

A altura que a água pode atingir nos materiais depende do tamanho dos poros destes materiais (pois quanto menor o diâmetro, maior será a altura teórica que a água pode atingir), da quantidade de água em contato com a parede, das condições de evaporação da água que migrou, da espessura, época de construção e orientação da parede em questão.

Segundo Tonera (1997), a tabela 4 mostra as diferentes alturas que pode atingir a água nos capilares dos materiais.

Tabela 4: ascensão da água conforme o diâmetro dos capilares dos materiais de construção Tonera (1997)

<b>Diâmetro dos capilares (mm)</b>	<b>Altura máxima (mm)</b>
1,00	15
0,01	1.500
0,0001	150.000

Para Ruaro (1997), em média, o nível de ascensão capilar para as paredes em alvenaria variam de 0,8 a 1,2m de altura. Estes valores podem aumentar, chegando a 1,5m, se a concentração de sais existente na alvenaria for grande ou quando a evaporação da água ficar dificultada, devido à presença de revestimentos de baixa permeabilidade. De forma geral, quanto maior a espessura de parede, maior a ascensão capilar.

De acordo com Merino (1993), são as seguintes as alturas da água pelos capilares dos elementos construtivos:

- a) para muros normais de tijolos – a altura da água varia de 0,50m a 1,50m, enquanto que em muros de pedra, estas alturas podem duplicar-se;
- b) em pilares isolados é da ordem de sua espessura;
- c) em paredes de fachadas a altura da umidade situa-se entre uma vez e meia e quatro vezes a largura das paredes;
- d) nos cantos das paredes, a altura varia entre duas e cinco vezes a espessura das mesmas.

Segundo Oliveira (2002), uma das características da umidade ascendente é de que seu nível nunca ultrapassa a altura de 4 metros na parede em relação ao nível da rua, e que o índice de umidade tolerável para estes casos é de 3% nos tijolos e 5% para pedras (em massa).

A ascensão de água numa parede vai até um nível onde a quantidade de água evaporada pela parede compense a quantidade que é absorvida do solo por capilaridade. Existe, segundo Arendt (1995), um equilíbrio entre a umidade que entra e aquela que evapora em algum ponto de uma parede úmida. Isto mostra o cuidado que se deve ter ao se utilizar um revestimento impermeável, pois a altura atingida pela água tem a tendência de aumentar com a impermeabilização.

Merino (1993) diz que a velocidade com que um corpo poroso succiona água depende do tamanho e da quantidade de poros do material, bem como da forma física destes poros. A quantidade de água succionada pelos materiais de construção porosos é diretamente proporcional ao coeficiente de capilaridade destes materiais, que é característico de cada material.

Também o coeficiente de permeabilidade dos materiais frente ao vapor d'água é importante, pois indica a facilidade de movimentação das moléculas de vapor pelo interior do material, que influirá na facilidade de secagem das paredes. A seguir Merino (1993) apresenta, nas tabelas 5 e 6, os diferentes coeficientes de capilaridade e permeabilidade ao vapor para alguns materiais de construção.

Tabela 5: coeficiente de capilaridade de alguns materiais de construção (MERINO, 1993)

<b>Coeficiente de capilaridade (<math>\text{g x cm}^{-2} \text{ x seg}^{-1/2}</math>)</b>	
Concreto compacto bem vibrado	1
Tijolos cerâmicos bem cozidos	5
Tijolos cerâmicos mal cozidos	10
Estuque ou argamassa	15
Pedra calcárea dura	20
Arremates em gesso	50
Pedra calcárea muito branca	80

Tabela 6: permeabilidade ao vapor de alguns materiais de construção (MERINO, 1993)

<b>Permeabilidade ao vapor (<math>\text{g x cm/m}^2 \text{ x dia x mmhg}</math>)</b>	
Rebocos	12
Tijolos maciços	20
Revestimentos de gesso	20
Madeira	15 - 25
Concreto	12 - 40

Seele (2000) ilustra, através da figura 3, as diferentes formas dos poros dos materiais e o efeito de capilaridade conforme seu tamanho, apresentado na tabela 7.

- a) A = poros interligados;
- b) B = poro em forma de saco;
- c) C = poro fechado;
- d) D = bifurcação;
- e) E = interligação;
- f) F = poro em forma de gargalo.

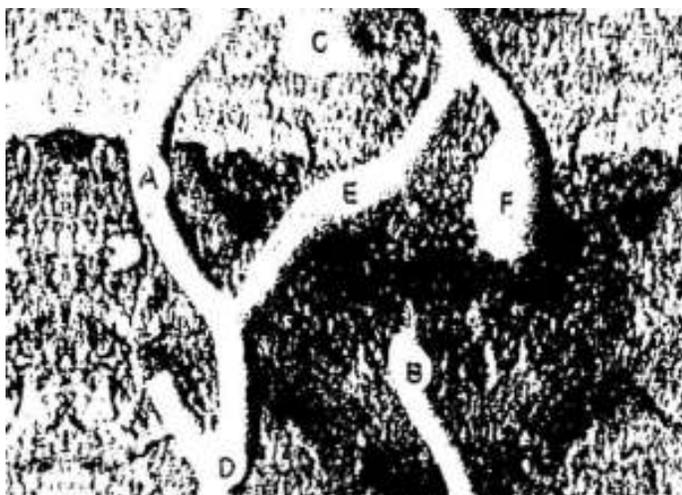


Figura 3: geometria dos poros dos materiais (SEELE, 2000)

Tabela 7: efeito capilar conforme o tamanho dos poros do material (SEELE, 2000)

<b>Tipo de poros</b>	<b>Tamanho (m)</b>	<b>Efeito capilar</b>
Microporo	$< 10^{-7}$	Não possui
Mesoporo	de $10^{-7}$ a $10^{-4}$	Com efeito
Macroporo (poro de ar)	$> 10^{-4}$	Interrupção do efeito

Para Henriques (1995), as anomalias nas paredes devido à umidade presente no terreno aparecem como manchas de umidade próximas ao solo, com zonas erodidas na parte superior destas manchas, podendo haver eflorescências ou criptoflorescências, além de manchas de bolor ou vegetação parasitária onde houver pouca ventilação.

### 2.2.3 Umidade de precipitação

A chuva, por si só, não causa maiores danos à construção, desde que não acompanhada por vento. Henriques (1995) diz que, quando a trajetória da chuva deixa de ser vertical por ação do vento, as paredes do edifício ficam sujeitas a uma ação de molhagem que pode provocar um umedecimento dos paramentos interiores e diminuição da resistência térmica dos

materiais que a constituem, principalmente se houver deficiências de concepção das fachadas ou fissuras.

Addleson (1983) coloca que a penetração da chuva é mais comum através de aberturas existentes nas argamassas de revestimento ou no encontro com esta e outro elemento construtivo, do que através da argamassa propriamente dita, quando não apresentar fissuras.

Petrucci (2000) lembra que a chuva não incide uniformemente sobre uma fachada. No início somente o topo e os cantos laterais da face exposta da parede irão ser umedecidos, sendo que no restante da parede escorrerá para baixo numa face relativamente seca, formando-se um padrão de umedecimento sob forma de parábola. Este fenômeno se repete independentemente da intensidade da chuva, onde a zona mais crítica ocorre acima da parábola e a menos abaixo, conforme mostra a figura 4.

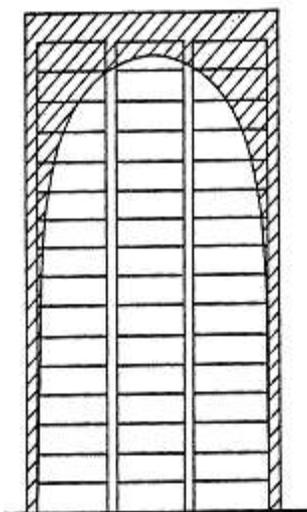


Figura 4: parábola de chuva incidente (PETRUCCI, 2000)

Polisseni (1986) classifica as fachadas das edificações em protegidas e não protegidas da ação das chuvas e ventos. São consideradas protegidas quando não tiverem altura maior que 28m e atenderem às situações expostas na figura 5.

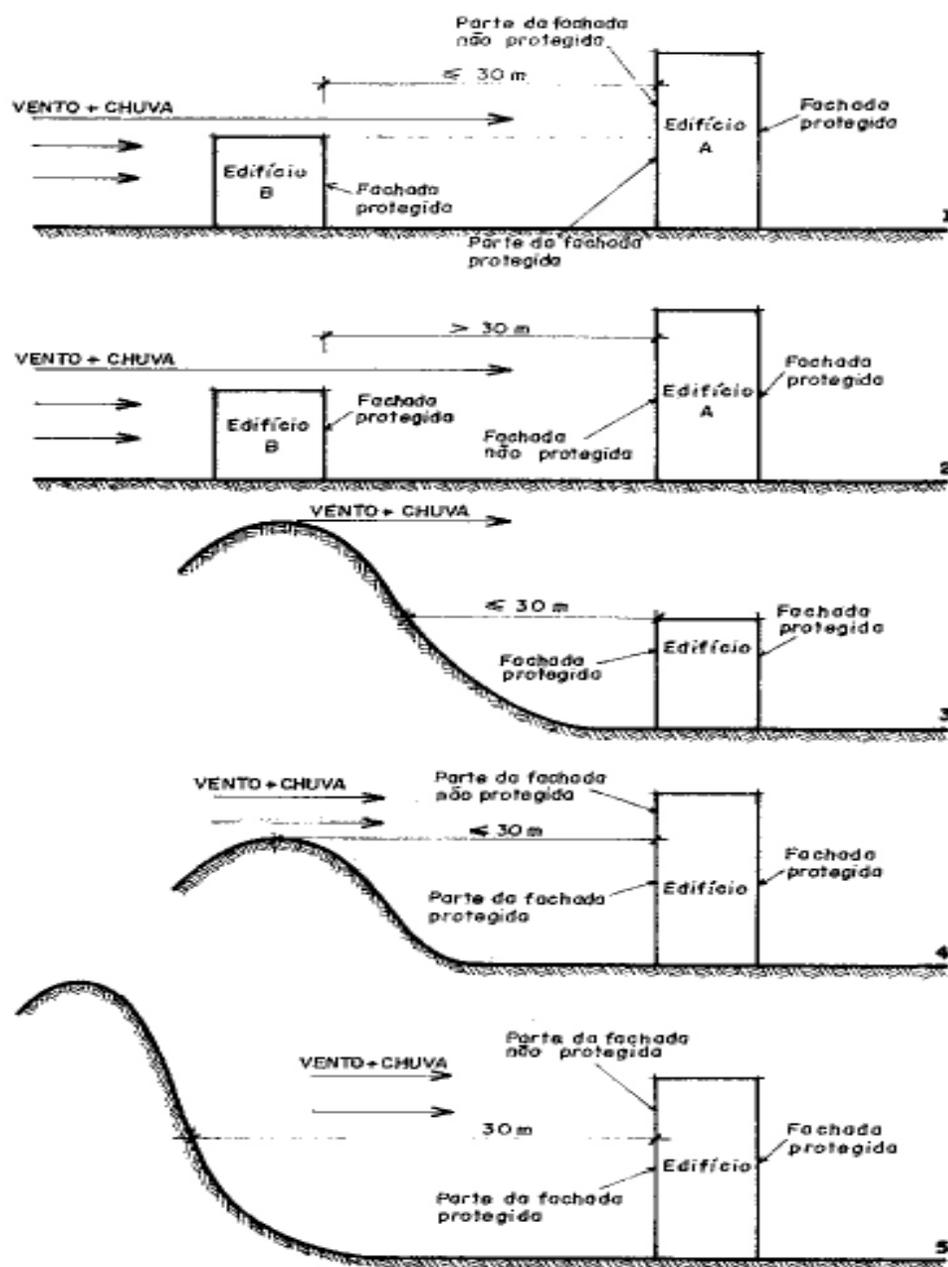


Figura 5: diferentes situações nas fachadas de edifícios quanto à proteção do vento e da chuva (POLISSENI, 1986)

Bauer (1987) representa esquematicamente, através da figura 6, os fatores que influenciam a penetração da água da chuva pelas fachadas e associou a eles faixas dimensionais (aberturas) para as quais eles se tornam relevantes.

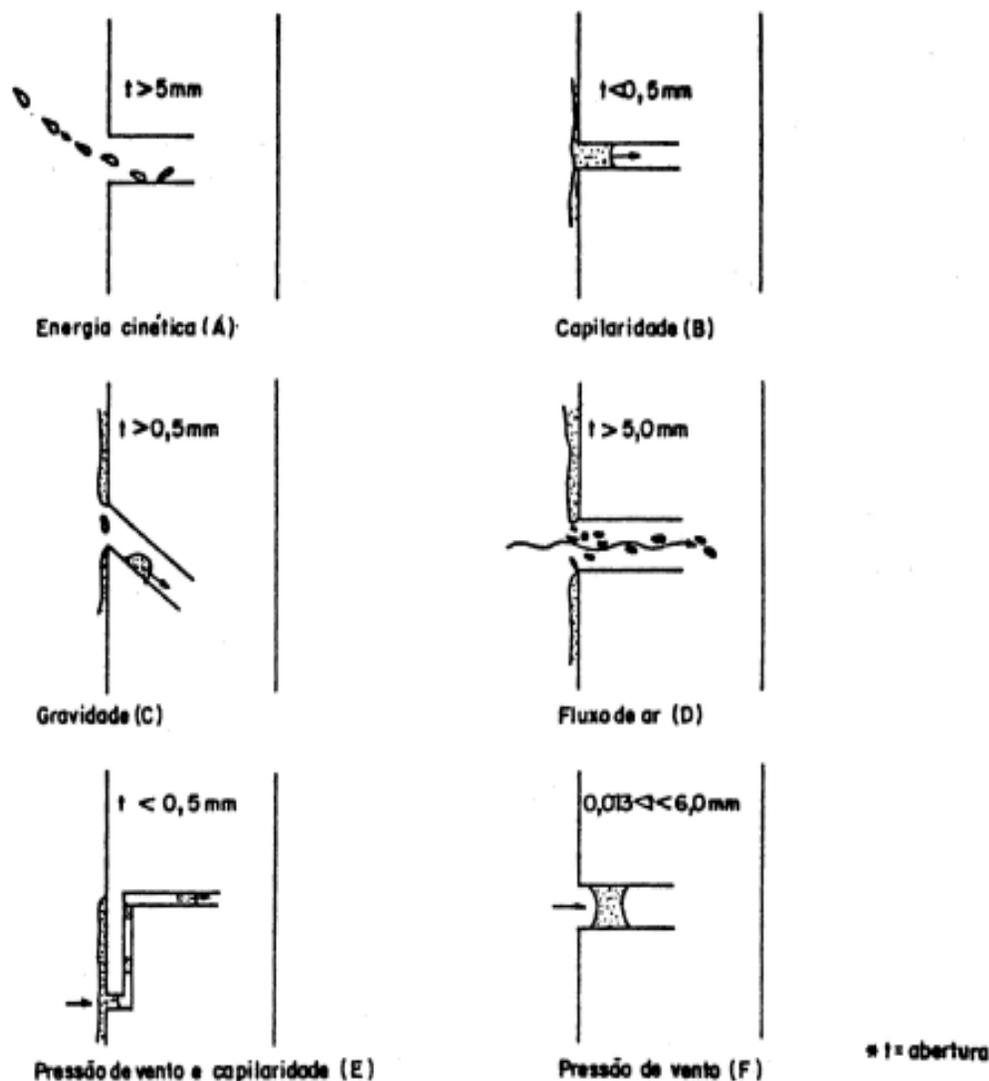


Figura 6: forças produzindo penetração da chuva (BAUER, 1987)

Conforme Bauer (1987), a água que incide sobre as faces do edifício tende a ser absorvida, em primeira mão, pelos materiais porosos (concreto, tijolo, reboco). Tão logo a taxa de incidência exceda a taxa de absorção, a água começa a escorrer superficialmente. A saturação superficial dos materiais porosos é claramente evidenciada pela alteração da coloração do material. Isto pode indicar umedecimento progressivo e pontos de fluxo concentrado nas faces do edifício.

Segundo Addleson (1983), os efeitos da penetração da chuva causam anomalias como perda de adesão e/ou fissuras nas argamassas de revestimento, aumento da condensação devido à redução da resistência térmica dos materiais, além de manchas de umidade na superfície das paredes.

## 2.2.4 Umidade de condensação

Este fenômeno está ligado à condutividade térmica dos materiais de construção, e é causado pela produção de vapor de água originado pela transpiração das pessoas, produzido pelo cozimento dos alimentos e pelos banhos, ou por defeitos nas calefações e falta de ventilação. Henriques (1995) sugere a instalação de molas de ferro automáticas nas portas de cozinhas e instalações sanitárias, evitando, assim, a propagação de vapor de água para outros espaços.

De acordo com Sattler (2000), as pessoas perdem uma importante quantidade de calor por transpiração. Evitando-se todo o tipo de ventilação nos espaços interiores, somente o vapor de água proveniente das pessoas fará com que a umidade relativa do local suba, provocando a sua condensação nas superfícies. Os aquecedores à base de combustíveis líquidos, como querosene, os quais não tem duto de chaminé para o exterior, também incorporam, ao meio ambiente, importantes quantidades de vapor de água. É importante, portanto, sempre manter uma pequena ventilação nos espaços internos no inverno, para que o ar fique mais seco, e a umidade relativa não suba. Para Mendonça (2002), a faixa ótima da umidade relativa no interior dos ambientes deve ficar entre 50 a 70% para que seja evitada a umidade por condensação.

A umidade relativa do ar é o quociente entre a quantidade de vapor d'água que o ar contém (umidade absoluta) e a quantidade máxima de vapor que o ar poderia conter a essa temperatura (limite de saturação). A umidade relativa do ar é de 100% quando os valores da umidade absoluta e do limite de saturação são iguais. Conforme Henriques (1995), a ocorrência de condensações superficiais em paredes diminui se ocorrerem:

- a) melhoria das condições de ocupação, das quais depende a produção de vapor nas edificações;
- b) melhoria da ventilação dos locais;
- c) isolamento térmico das paredes;
- d) acréscimo da temperatura ambiente interior.

De acordo com Merino (1993), a condensação depende diretamente da umidade e temperatura do ar e inversamente da velocidade do ar, da permeabilidade ao vapor e temperatura dos materiais afetados. Carrio (1993) esclarece que a umidade de condensação é produzida nas paredes devido às conseqüências de condensação do vapor de água que está em contato com a

mesma ou no interior do edifício, onde normalmente há maior pressão de vapor, em contrapartida aos ambientes de pressão de vapor mais baixa, que são os exteriores.

Segundo Mendonça (2000), a vegetação que circunda a edificação também influi no fenômeno de umidade de condensação no interior do prédio. A figura 7 ilustra as diferentes alturas de plantas e sua distância em relação à edificação, de forma a não prejudicar a incidência dos raios solares nas paredes, os quais contribuem para a não formação da umidade por condensação interna.

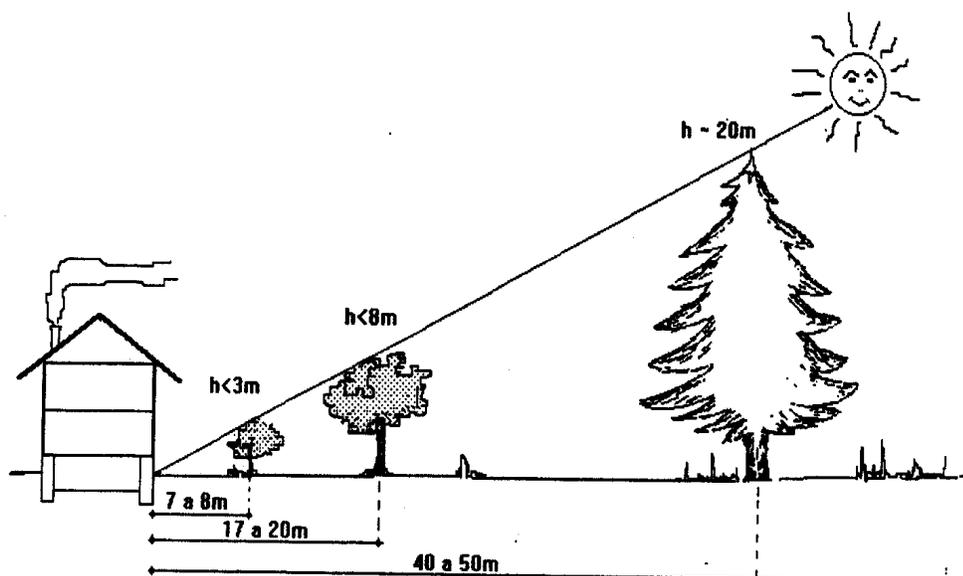


Figura 7: controle de sombreamento na construção  
(OLIVEIRA, 2000)

Merino (1993) classifica a umidade de condensação, segundo a sua localização, em:

- a) condensação superficial interior: quando se produz sobre paredes de alta permeabilidade, como de tijolos e pedras muito porosas, gotejando sobre suas faces;
- b) condensação intersticial: quando ocorre no interior das paredes, em materiais porosos, como ornamentos e tijolos.

Para Polisseni (1986), quando os materiais de construção, por menos permeáveis que sejam, estiverem sujeitos a uma diferença de pressão de vapor, deixam passar o vapor d'água, no sentido do ambiente mais quente para o mais frio, pois a pressão de vapor d'água do ar quente em geral é maior que a do ar frio. De acordo com Henriques (1995), as manifestações patológicas causadas pela condensação aparecem sob forma de manchas de umidade e

bolores, pois se criam condições necessárias para que haja a proliferação dos esporos de vários microorganismos existentes no ar. Isto ocorre principalmente quando a umidade relativa for superior a 75 - 80%. Mendonça (2002) diz que o mofo nas paredes aparece após 75% de umidade relativa no interior dos ambientes.

### 2.2.5 Umidade devida a fenômenos de higroscopia

Um outro mecanismo de deterioração ocorre com a higroscopicidade, ou seja, a capacidade de um material em absorver água em função da umidade do ar. De acordo com Polisseni (1986), denomina-se teor higroscópico de um material o teor mínimo de umidade que na prática pode estar presente em um material poroso. O *Centre Scientifique el Technique de la Construction* orienta que seja limitada a umidade relativa do ar nas residências e em repartições públicas entre 30 e 70%, evitando-se assim o surgimento de mofo em móveis, roupas e revestimentos de paredes. Assim, conforme Henriques (1995), devido à higroscopicidade, ocorrem anomalias como manchas de umidade em locais com forte concentração de sais, podendo haver degradações dos revestimentos das paredes. A eflorescência, segundo Ulsamer (1995), é uma das principais manifestações patológicas devido à higroscopicidade.

### 2.2.6 Umidade devida a causas fortuitas

De acordo com Cabrita et al. (1993), entre as causas mais freqüentes destas anomalias, estão os problemas relacionados às canalizações de água corrente, de esgoto, ou de águas pluviais. Nestes locais se detectam, muitas vezes, projetos mal elaborados e deficiência nas ligações entre calhas e tubos de queda, falta de estanqueidade das calhas, corrosão das chapas de zinco utilizadas ou deficiência das algerozas, além de problemas em telhados com telhas partidas, mal colocadas ou desviadas de sua posição, acumulação de lixo na cobertura, inexistência ou danificação de ventilação e problemas com arremates. As anomalias causadas por esta forma de umidade se mostram bem evidentes, sob forma de manchas de umidade pontuais, associadas com os períodos de precipitação ou em caráter permanente quando houver rompimento das canalizações, podendo haver migração da umidade quando a capilaridade dos materiais o permitir. Resumindo, de acordo com Seele (2000), o gradiente de umidade, devido

às diferentes origens das umidades, se desenvolve ao longo da largura da parede conforme mostra a figura 8.

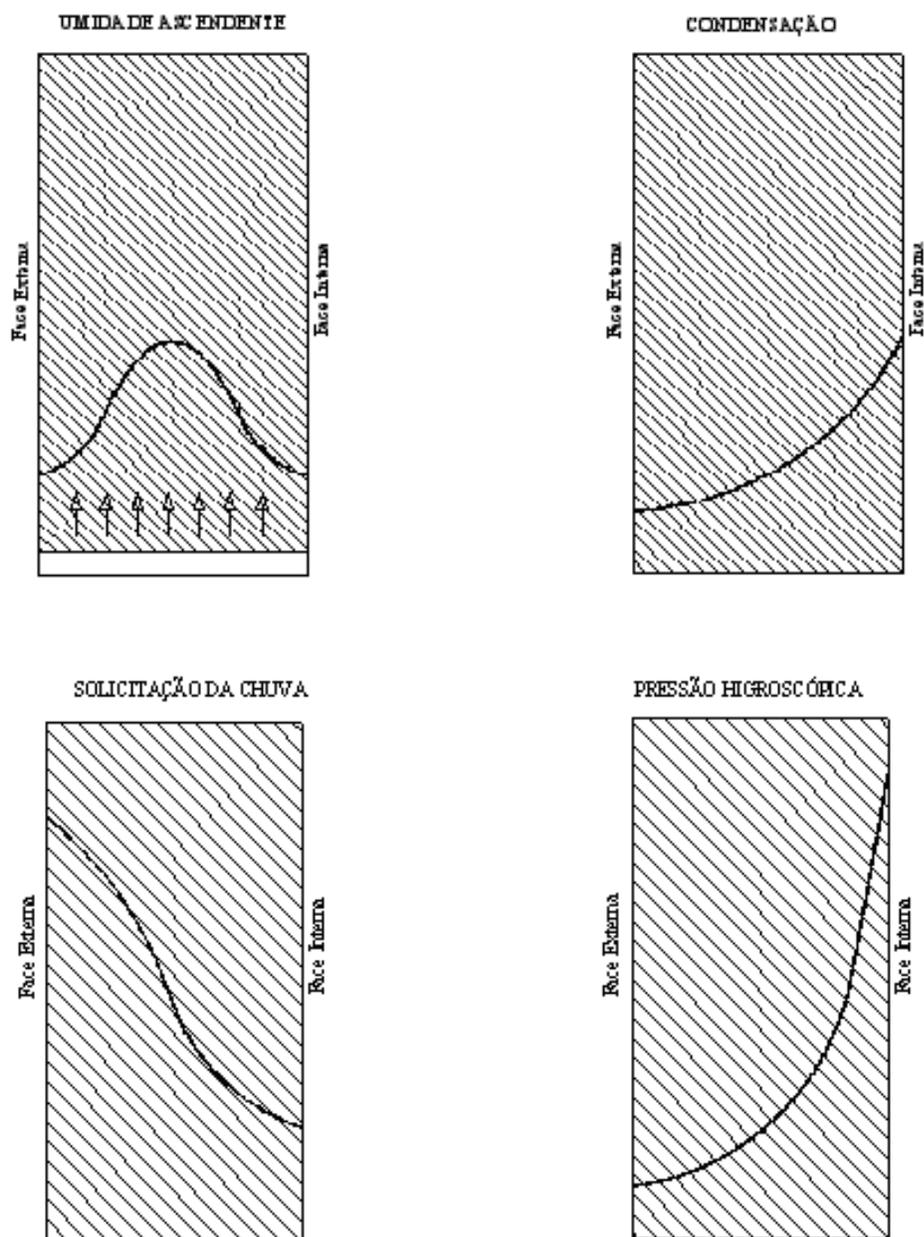


Figura 8: gradiente de umidade devido às diferentes origens e sua distribuição ao longo da largura da parede (SEELE, 2000)

## 2.3 PRINCIPAIS FORMAS DE MANIFESTAÇÃO DA SALINIDADE EM EDIFÍCIOS E AS LESÕES PROVOCADAS

Todos os fenômenos abordados no item 2.1 sobre umidade são fundamentais para que se entendam os fenômenos relacionados à salinidade nas edificações, pois ambos estão interligados. O aumento do teor de sais eleva o teor de umidade da parede, portanto para proteger os elementos construtivos contra a umidade é necessário se combater também os sais.

De acordo com Ruaro (1997), nas regiões litorâneas é muito comum se encontrar os efeitos dos sais minerais da água do mar nas paredes antigas, que se manifestam nos seus paramentos sob a forma de eflorescências. Conforme Beichel (1997), o maior problema da umidade dentro da alvenaria é o transporte de sais solúveis. Estes sais, no estado solúvel, não causam danos, mas ao se cristalizarem, quando a água evapora, geram pressões de expansão nos poros, podendo causar danos.

A água presente em um material de construção, no terreno ou na atmosfera nunca é pura. Ela pode apresentar, segundo Merino (1993), sais solúveis, sendo que os mais frequentes são os sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos. Segundo Arendt (1995), os sais que mais prejudicam as construções são os sulfatos e os cloretos, e em menor incidência os nitratos.

Na prática, porém, ocorrem diferenciações, como é o caso de edificações de uso rural, onde predomina a contaminação por nitratos, enquanto em regiões onde há muito uso de sais de degelo, predominem os cloretos. Seele (2000) mostra, na tabela 8, os principais sais que agem nas paredes e a sua solubilidade na água.

Os carbonatos também são sais prejudiciais, com exceção do Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que, sob forma de cal, é um aglomerante conhecido e não é um sal prejudicial, pela baixa solubilidade.

Os sais, após sua cristalização, formam manchas brancas, cor de ferrugem, ou cor castanha nas superfícies das paredes, causando as eflorescências, prejudicando o aspecto dos revestimentos. De acordo com Bianchin (1999), as manchas brancas aparecem sob forma escorrida, enquanto as castanhas e de cor de ferrugem aparecem sob aspecto de nuvens, pulverulentas.

Tabela 8: principais sais de deterioração de paredes e sua solubilidade em água (SEELE, 2000)

<b>Tipo de sais</b>	<b>Solubilidade em água (g/100ml)</b>
<b>NITRATOS</b>	
Nitrato de magnésio	125
Nitrato de cálcio (salitre)	266
<b>CLORETOS</b>	
Cloreto de cálcio	75
Cloreto de sódio (sal)	36
<b>SULFATOS</b>	
Sulfato de magnésio	71
Sulfato de cálcio (gesso)	0,24
Sulfato de sódio	11
<b>CARBONATOS</b>	
Carbonato de sódio (soda cáustica)	21
Carbonato de potássio	112
<b>MATERIAL E AGLOMERANTE</b>	
Carbonato de cálcio (calcário)	0,015

Uemotto (1984) apresenta, na tabela 9, os principais sais que causam eflorescência, bem como as causas prováveis de seu aparecimento.

Tabela 9: natureza química das eflorescências (UEMOTTO, 1984)

<b>Composição química</b>	<b>Fórmula química</b>	<b>Solubilidade em água</b>	<b>Fonte provável</b>
Carbonato de Cálcio	$\text{CaCO}_3$	Pouco solúveis	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa ou concreto e de argamassas de cal não carbonatada

continua

continuação

Carbonato de Magnésio	$MgCO_3$		Carbonatação da cal lixiviada da argamassa de cal não carbonatada
Carbonato de Potássio	$K_2CO_3$	Muito solúveis	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis
Carbonato de Sódio	$Na_2CO_3$		
Hidróxido de Cálcio	$Ca(OH)_2$	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de Cálcio Dihidratado	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de Magnésio	$MgSO_4$	Solúvel	Tijolo, água de amassamento
Sulfato de Cálcio	$CaSO_4$	Parcialmente solúvel	
Sulfato de Potássio	$K_2SO_4$	Muito solúvel	Reação tijolo-cimento agregados, água de amassamento
Sulfato de Sódio	$Na_2SO_4$		
Cloreto de Cálcio	$CaCl_2$		Água de amassamento
Cloreto de Magnésio	$MgCl_2$		
Nitrato de Potássio	$KNO_3$		
Nitrato de Sódio	$NaNO_3$		Solo adubado ou contaminado
Nitrato de Amônia	$NH_4NO_3$		

O fenômeno de criptoflorescência no interior dos materiais de construção, como já visto nas Causas Químicas, neste capítulo, é um fenômeno bem mais grave, pois causa o desprendimento de capas superficiais do revestimento, ao se expandirem os sais por aumento de volume. Para Polisseni (1986), o sal depositado na superfície da parede absorverá umidade quando a umidade relativa do ar for elevada, acima de 40%, fazendo com que a superfície da parede sempre esteja úmida. A seguir descreve-se as principais origens de salinidade encontradas em obras e as manifestações patológicas decorrentes.

### 2.3.1 Salinidade na construção

De acordo com Arendt (1995), muitos materiais podem apresentar uma concentração natural de sais em teores prejudiciais, como é o caso das pedras naturais e alguns tijolos cuja argila já está contaminada. Antigamente também se adicionavam sais às argilas para aumentar suas resistências.

O autor lembra que também na recuperação de revestimentos externos, são utilizados produtos químicos para a limpeza de fachadas ou produtos alcalinos, como os Silicatos de Sódio e de Potássio, para a solidificação ou vedação de mastiques, trazendo conseqüências negativas. A própria areia do mar que contém sais, muitas vezes, é utilizada erroneamente nas construções. No Brasil, segundo Toner (1997), se utilizou muito o sal de cozinha como plastificante ou retardador nas pinturas à base de cal empregadas até meados do século XX.

Mecha (1995) lembra que nos tijolos podem ocorrer agressões, cuja procedência pode vir do meio exterior ou mesmo da própria matéria-prima que contém compostos de enxofre, causando eflorescências, quando há expansões originadas ao se produzir sulfoaluminato de cálcio (etringita) por incorporar 32 moléculas de água, como conseqüência da reação produzida entre os aluminatos de cálcio do cimento Portland e do gesso. É freqüente este ataque por sulfatos nas chaminés, devido às condensações e à existência de gases com compostos de enxofre.

Segundo Mecha (1995), existem alguns fabricantes que adicionam carbonato de bário na massa de fabricação dos tijolos, como medida preventiva, que em presença de umidade precipita os sulfatos solúveis da matéria-prima, formando, durante o cozimento, sulfato de bário insolúvel, antes que se formem os sulfatos de cálcio, magnésio e ferro. Para Ulsamer (1995), se existirem sais de ferro as manchas aparecerão com cor amarelada. Conforme Uemoto (1984), os sulfatos alcalinos e de magnésio formados durante a queima dos tijolos são eliminados com temperaturas de queima acima de 950°C e os de cálcio acima de 1.050°C.

De acordo com Mecha (1995), os sulfatos solúveis também podem ocorrer quando houver reações químicas com gases sulfurosos dos fornos e secadores das olarias. A eflorescência causada pelo sulfato de magnésio gera um desprendimento da camada superficial dos tijolos que avança progressivamente para o interior do substrato. Este sulfato é altamente solúvel em água, com grande expansão ao se cristalizar. Os sulfatos ainda provocam, segundo Mecha (1995), em paredes com tijolos, formação de fissuras horizontais ao longo das juntas entre os

tijolos, grandes fissuras verticais e horizontais no revestimento e/ou desprendimento do revestimento.

De acordo com Uemoto (1984), em caso de cimentos de elevado teor de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ), durante a sua hidratação, estes podem se transformar em hidróxidos, que em contato com o ar transformam-se em carbonatos de sódio e de potássio, muito solúveis em água. Ele diz também que os sulfatos de sódio e de potássio podem resultar de reações entre compostos do cimento da argamassa com o tijolo. Para Souza (1997), além dos álcalis, considerados impurezas do cimento, também se pode encontrar o  $\text{TiO}_2$ , que em presença da água, após a cura do cimento, poderá ser responsável pelo aparecimento de futuras eflorescências.

Masuero (2000) diz que as eflorescências geralmente causam somente problemas estéticos, mas também podem ocorrer degradações mais profundas por agressividade química. As eflorescências são muito comuns em alvenarias de tijolos cerâmicos aparentes e desaparecem com o tempo e as chuvas, ou podem ser limpas com água ou aplicação de ácido muriático. Já em argamassas mistas com elevado teor de cal não hidratada, a remoção das eflorescências é mais difícil, necessitando uso de ácidos. Segundo Souza (1997) existem três tipos de eflorescências que são:

- a) eflorescências sob forma de véu na superfície das argamassas modificam o aspecto estético das mesmas, mas não prejudica sua durabilidade. Geralmente ocorrem pela presença de sulfatos de sódio e de potássio, sulfatos de cálcio e magnésio, carbonatos de sódio e de potássio, provavelmente provenientes do cimento, cal, areia ou água de amassamento que compõem as argamassas;
- b) eflorescências de cor branca, aderente, pouco solúvel em água, com aspecto de escorrimento, provenientes do carbonato de cálcio presente nas argamassas, não causando sua deterioração;
- c) eflorescências provocadas pela presença de sulfato de cálcio e água que se transforma em gesso. Estas eflorescências são menos comuns e causam expansão e fissuração.

Uemotto (1984) classifica, na tabela 10, as eflorescências de acordo com seu aspecto e forma de manifestação, bem como os danos causados em casos estudados pelo IPT e as soluções possíveis de reparo.

Tabela 10: tipos de eflorescências conforme seu aspecto e local de formação, bem como as causas prováveis (UEMOTTO,1984)

Aspecto e características da eflorescência	Locais de formação	Causas prováveis atuando com ou sem simultaneidade	Reparos
<p>Pó branco pulverulento, solúvel em água (sulfatos de sódio e de potássio e menos sulfatos de cálcio e de magnésio, carbonatos de sódio e de potássio)</p>	<p>-em superfície de alvenaria aparente ou de alvenaria de argamassa revestida;</p> <p>-em regiões próximas a caixilhos mal vedados;</p> <p>-em superfície de ladrilhos cerâmicos não esmaltados</p> <p>-em juntas de pisos cerâmicos esmaltados e azulejos.</p>	<p>-sais solúveis presentes nos materiais: água de amassamento, agregados ou aglomerantes;</p> <p>-sais solúveis presentes nos materiais cerâmicos (tijolos, ladrilhos, etc.);</p> <p>-sais solúveis contidos no solo</p> <p>-poluição atmosférica</p> <p>-reação tijolo-cimento.</p>	<p>-eliminação da fonte de umidade;</p> <p>-aguardar a eliminação dos sais pela ação da chuva em casos de eflorescência em superfície externa;</p> <p>-lavagem com água;</p> <p>-escovamento da superfície por processo mecânico</p> <p>-após saturar a alvenaria com água, lavar com solução clorídrica a 10%, e em seguida com água abundante.</p>
<p>Depósito branco com aspecto de escorrimento, muito aderente e pouco solúvel em água, em presença de ácido apresentam efervescência (carbonato de cálcio)</p>	<p>-em superfície de componentes próximos a elementos em alvenaria e concreto;</p> <p>-em superfície de argamassa e concreto.</p>	<p>-carbonatação da cal liberada na hidratação do cimento;</p> <p>-carbonatação da cal não carbonatada proveniente de argamassas mistas.</p>	<p>-eliminação da percolação de água;</p> <p>-lavagem com solução clorídrica cfe.indicado anteriormente;</p> <p>-em caso de depósito abundante, escovamento da superfície por processo mecânico e lavagem com ácido.</p>
<p>Depósito branco, solúvel em água, com efeito de expansão não é muito freqüente</p>	<p>-entre fissuras de juntas de alvenaria;</p> <p>-entre juntas de argamassa e tijolos;</p> <p>-locais da alvenaria muito expostos à ação da chuva.</p>	<p>-expansão devido à hidratação do sulfato de cálcio existente no tijolo ou da reação tijolo-cimento;</p> <p>-formação de sal expansivo por ação de sulfato do meio.</p>	<p>-não realizar reparos, esperar a estabilização do fenômeno;</p> <p>-reparo, usando cimento isento de sulfatos.</p>

Carasek et al. (1997) destacam, ainda, alguns métodos de reconstituição do traço da argamassa como uma ferramenta auxiliar para diagnosticar as manifestações patológicas, podendo confirmar, por exemplo, um baixo teor de aglomerantes, que provoca pulverulência na argamassa. As determinações químicas complementares à reconstituição, como o teor de sais solúveis e o teor de anidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ), permitem a confirmação de uma fonte de eflorescências ou criptoflorescências nos revestimentos, ou até uma deterioração devida ao ataque por sulfatos. Esta análise é baseada no método de análise química da BS 4551 (BSI, 1980) e no método desenvolvido para o concreto (IPT, 1940), adaptado para argamassas mistas. Para a autora, pode-se também identificar, através da técnica de difração de Raios X, os compostos inorgânicos da estrutura cristalina em argamassas. Este procedimento permite reconhecer argilominerais presentes, como a montmorilonita, que devido a sua finura elevada e instabilidade volumétrica diante da umidade, tende a causar fissuração na argamassa endurecida. Esta técnica também serve para identificar ataques de sulfatos.

Segundo Bianchin (1999), muitas vezes são identificados os sais expansivos, etringita ( $\text{C}_3\text{A}\cdot\text{Cs}_3\cdot\text{H}_{32}$ ) e a taumasita ( $\text{Cc}\cdot\text{Cs}\cdot\text{H}_{14,5}$ ), através de exames mineralógicos nas edificações. A causa mais provável da sua formação é a incompatibilidade dos ligantes contendo aluminato altamente alcalino com gesso ou argamassa cal-gesso. De acordo com Arendt (1995), isto também acontece no concreto com a reação álcali-agregado, onde o silicato dos agregados reage com os álcalis do cimento, levando à degradação e à formação de falhas na superfície do concreto.

Através das imagens e das micro-análises obtidas com a microscopia eletrônica de varredura (MEV), é possível também, segundo Carasek (1997), identificar fenômenos patológicos nas argamassas como o ataque por sulfatos, a reação álcali-agregado e a presença de microorganismos que podem produzir biodeterioração do material.

Uemoto (1984) acrescenta que algumas medidas quanto à utilização dos materiais de construção podem ser tomadas, com o intuito de se evitar a presença das eflorescências, como: evitar a reação tijolo-cimento utilizando argamassa mista (cimento:cal:areia), bem como poder se reduzir a lixiviação da cal do cimento, utilizando-se cimentos que liberem menor quantidade de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , tais como: cimento pozolânico ou de alto forno.

Souza (1997) propõe algumas medidas preventivas para se evitar as eflorescências, a saber:

- a) evitar a utilização de elementos argilosos que podem estar presentes na cal e na areia;
- b) controlar, através de testes laboratoriais, a concentração de impurezas tais como teor de Na, K e Fe, entre outros, presentes no cimento, cal, areia, aditivos e pigmentos;
- c) prever caimentos e outras formas de escoamento das águas nos projetos;
- d) cuidar ao usar impermeabilizantes nas argamassas, pois as argamassas poderão ter dificuldade quanto à evaporação da água de amassamento, surgindo fissuramento;
- e) não aplicar argamassa em épocas chuvosas, pois pode haver retardamento da evaporação da água;
- f) manter controle químico da água de amassamento, deixando seu PH neutro.

### 2.3.2 Salinidade no solo

Conforme Henriques (1995), os sais existentes nos solos, principalmente em locais ricos em matérias orgânicas, podem ser transportados através da parede para níveis superiores, cristalizando-se após a evaporação da água que atingiu as superfícies das paredes, podendo o nível de ascensão capilar ainda aumentar, devido a uma redução da permeabilidade ao vapor de água dos materiais. Os sais depositados junto à superfície, cristalizam e aumentam de volume, podendo originar a formação de eflorescência (cristalização na superfície da parede) ou de criptoflorescência (cristalização sob os revestimentos de parede), que na seqüência de diversos ciclos de umedecimento-secagem, provoca o desprendimento dos materiais superficiais.

Tonera (1997) lembra que nas edificações mais antigas geralmente apresentam incidência de sais nas paredes, pois ao longo dos anos vão absorvendo a umidade do solo e do lençol freático, juntamente com os sais ali existentes. Uma grande incidência de sais acontece nas zonas rurais em função da utilização de adubos, bem como em zonas próximas a cemitérios e fossas sépticas.

Para Uemoto (1984), os nitratos de sódio, potássio e amônia, causando eflorescências de cor branca, são muito solúveis em água e são encontrados em solos adubados ou contaminados industrialmente.

### 2.3.3 Salinidade por higroscopicidade

Os sais presentes nos materiais de construção também possuem a propriedade da higroscopia, ou seja, a capacidade de absorver água até a saturação, em casos extremos. De acordo com Arendt (1995), como a quantidade desta água se modifica muito com a variação da umidade do ar, acaba gerando um movimento contínuo da água capilar. Desta forma, diz Henriques (1995), os sais se umedecem e aumentam de volume ao evaporar esta água, quando ocorre a sua cristalização, em consequência da sucessão de ciclos dissolução-cristalização. Ulsamer (1995) lembra que os sais higroscópicos são em sua maioria nitratos e sulfatos alcalinos e de magnésio, e, com menos frequência, carbonatos. Se a água contém substâncias orgânicas procedentes de estábulo, por exemplo, a recristalização produz salitre, ou seja, nitrato de sódio ou de potássio, que não é mais que um caso particular das eflorescências. Para Henriques (1995), os sais higroscópicos têm a capacidade de absorver a umidade do ar, dissolvendo-se quando esta está acima do intervalo entre 65 e 75%, voltando a se cristalizar abaixo deste intervalo, quando aumentam de volume, pressionando os materiais e danificando-os. Segundo Seele (2000), a figura 9 mostra o comportamento da umidade higroscópica na alvenaria em diferentes concentrações de cloreto de sódio.

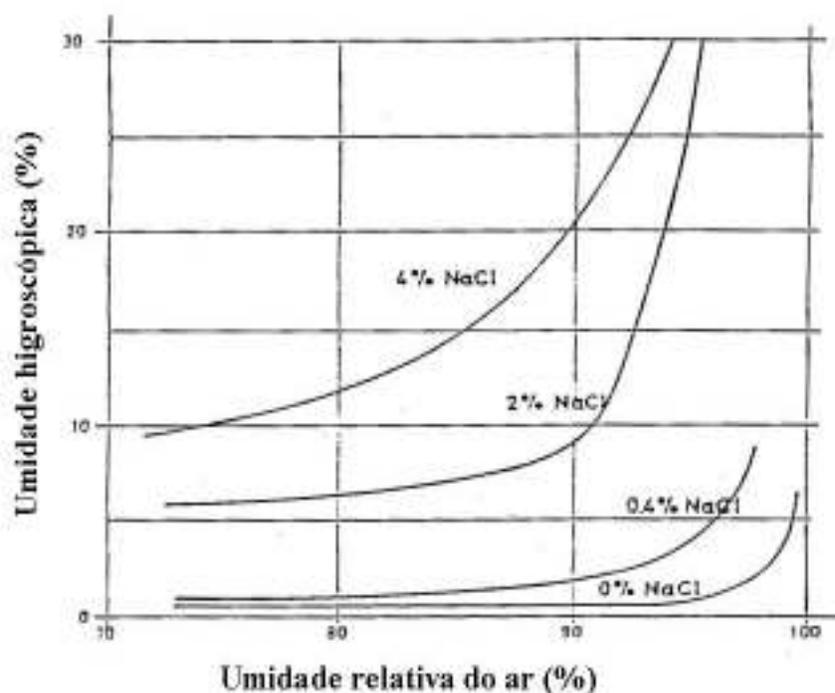


Figura 9: variação da umidade higroscópica do material em função de diferentes concentrações de cloreto de sódio (SEELE, 2000)

### 2.3.4 Salinidade proveniente do ar

Segundo Tonera (1997), a incidência de sais provenientes do ar provém principalmente de ambientes marinhos. Arendt (1995) lembra que outros sais são oriundos da poluição do ar. Os combustíveis, incluindo o gás e a madeira, contêm enxofre, que através da combustão gera o dióxido de enxofre. Na atmosfera, uma parte do dióxido formado é oxidada, originando o trióxido de enxofre, que em contato com a água presente na atmosfera forma o ácido sulfúrico que ataca principalmente os carbonatos, atingindo os compostos aglomerantes das argamassas e do concreto, as pinturas à base de cal e muitas pedras naturais. Desta forma, fachadas porosas e absorventes que contenham cal na argamassa são as mais prejudicadas.

Após este relato das principais causas de umidade e salinidade nas construções, e que necessitam, por sua vez, de técnicas de saneamento, descreve-se a seguir, no capítulo 3, os principais métodos de recuperação de paredes degradadas pela umidade e salinidade, destacando-se o sistema alemão de recuperação de paredes com argamassa de saneamento, e a eletro-osmose.

### 3 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE PAREDES DEGRADADAS POR UMIDADE E SALINIDADE

Como visto no capítulo 2, a presença da água e de sais contaminantes é responsável por muitas das degradações nas argamassas de revestimento de paredes. Segundo Bianchin (1999), conhecer as propriedades das argamassas, bem como as características do substrato onde serão aplicadas, é fundamental para que a intervenção seja bem sucedida, principalmente em se tratando de argamassa de saneamento. Não existem vários métodos de recuperação de paredes de alvenaria degradadas por umidade e salinidade. Os mais conhecidos são descritos sucintamente abaixo:

- a) barreiras físicas: hidrofugantes, manta asfáltica, chapa metálica, entre outros. Esta colocação de barreiras físicas, segundo Ruaro (1997), pode inicialmente interromper o fluxo de sais oriundos da ascensão capilar, impedindo a contaminação futura, mas não resolve o problema dos sais já existentes na parede e que podem causar novas degradações;
- b) sistema de revestimento de recuperação: de acordo com Arendt (1995), o sistema é composto por chapisco, emboço e argamassa de saneamento que, pela sua porosidade, permite a cristalização dos sais nos seus poros sem provocar danos, mas esta solução é temporária, pois há um limite para a saturação destes poros;
- c) compressas com argamassa de caolin e pedra-pomes artificial: conforme Larsen (2001), consiste em uma argamassa que contém estes dois materiais, onde o caolin fornece uma contínua rede de finos poros capilares, permitindo a absorção de cloretos de sódio da alvenaria, enquanto a pedra-pomes artificial forma uma rígida estrutura que previne a retração por secagem da argamassa;
- d) osmose induzida por lâmina d'água: para Ruaro (1977) diz que, deve ser aplicada na superfície da parede promovendo a extração dos sais pelo efeito osmótico (redução do teor de sais pela ação osmótica), com o cuidado de se coletar toda água utilizada no processo. Esta água absorve os sais localizados na superfície da parede;
- e) compressas ou mantas de celulose pura: mantidas permanentemente úmidas, extraem os sais da parede pela ação osmótica. Segundo Arendt (1995), embora estas mantas tenham um poder de absorção grande, dependendo do tipo de manta, passa a ser uma técnica muito cara, e, portanto, utilizada nestes casos, somente em esculturas, relevos de pedras ou ainda em regiões de afrescos valiosos. Willimzip (2004) diz que no mercado alemão existem muitas possibilidades de mantas, como o uso de papel de jornais, papel reciclado,

mantas de celulose limpa, celulose misturada com bentonita e areia, celulose com madeira e mantas aplicadas juntamente com eletricidade.

- f) compressas de reboco de pura cal: deve ser mantida permanentemente úmida. Pelo mesmo efeito dos dois processos anteriores, os sais são extraídos da parede, pois este sistema é altamente absorvente. Arendt (1995) lembra que, em certas situações, a aplicação deve ser repetida para se ter resultados mais eficazes;
- g) sistema eletro-osmótico: em geral recomendado na secagem de paredes, mas por não se analisar corretamente a concentração de sais, os resultados com a eletro-osmose passiva podem se tornar duvidosos. O sistema passivo, segundo Ruaro (1997), portanto, deve ser criteriosamente aplicado, sob pena de que, se não houver controle adequado, não se obtenham resultados consideráveis.

Posser (2004) lembra que para se colocar barreiras físicas, é necessário um corte na alvenaria e posterior inserção do material impermeável, ou chapas de aço inoxidável sob ação de martelos pneumáticos. Neste último caso, a alvenaria deve apresentar espessura de até 1 metro com elementos regulares e juntas contínuas bem definidas. Este método deve ser aplicado apenas em construções recentes, pois produz vibrações que podem causar problemas de estabilidade em certas alvenarias, daí sua não indicação para prédios históricos.

Quanto às compressas ou mantas de celulose, Willimzip (2004) lembra que, no caso de se usar um material mais limpo, como celulose pura, os custos são mais elevados, embora se tenha a garantia que não haverá contaminação do substrato, diferente do papel de jornal, onde é possível que haja um tingimento do substrato, por causa da tinta das letras do jornal. A figura 10 ilustra uma aplicação de mantas de celulose em ambas as faces de uma parede, interna e externa.

Larsen (2001) explica o funcionamento da argamassa com caolin e pedra-pomes artificial (perlita). A perlita é uma pedra-pomes artificial produzida através do aquecimento de vidro vulcânico. Esta argamassa foi testada primeiramente em laboratório, onde o processo de dessalinização de parede ocorreu em duas fases: devido à água que está na argamassa, a extração dos sais da alvenaria inicialmente ocorre de forma rápida, tornando-se o processo mais lento numa segunda fase. Este efeito de dessalinização exige que na argamassa se mantenha uma alta umidade relativa. Conseqüentemente, a resistência à difusão de vapor de água se torna também alta.

Larsen (2001) comenta que este experimento levou também em conta a real situação encontrada em uma igreja na Dinamarca, onde as cúpulas feitas em alvenaria estavam

contaminadas por sais. Por isto a experiência em laboratório ocorreu simulando-se as duas condições climáticas existentes na igreja, uma entre o telhado e as cúpulas, e a outra abaixo das cúpulas. Estas compressas de argamassa foram utilizadas para dessalinizar as cúpulas da igreja, onde alguns tijolos já estavam degradados por sais até uma profundidade de 5cm.



Figura 10: mantas de celulose aplicadas em ambas faces de uma parede com umidade e salinidade (interna e externa) em uma casa na Alemanha (VENZMER, 2000)

Dentre os sistemas citados, será dado destaque, neste capítulo, para duas técnicas de recuperação de paredes degradadas pela umidade e salinidade que são: o Sistema de Revestimento de recuperação, que segue as orientações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91, e a Eletroforese. Estes métodos são recomendados para serem utilizados na casa do Dr. Annes Dias. O sistema de recuperação é adequado para a parede do porão da casa, e a eletroforese para ser aplicada nas paredes do primeiro e segundo pisos, onde se encontram pinturas murais. Estas soluções serão abordadas a seguir.

### 3.1 SISTEMA DE REVESTIMENTO DE RECUPERAÇÃO

De acordo com Arendt (1995), um sistema de revestimento de recuperação, como uma argamassa de saneamento, de paredes degradadas pela umidade e salinidade, deveria ter as seguintes propriedades:

- a) capacidade de reter a água, em forma líquida, juntamente com os sais;
- b) ao mesmo tempo permitir, por sua grande permeabilidade ao vapor, uma secagem eficiente, ou seja, ser estanque como a argamassa de cimento e permeável ao vapor d'água como a argamassa de cal.

Droll e Meier (19\_ \_) dizem que, para reduzir a absorção de água de argamassas de saneamento, é preciso que haja duas situações:

- a) bloquear a ação capilar da argamassa, acrescentando-se poros de ar;
- b) impermeabilizar os poros, dando-lhe uma constituição hidrófuga.

Droll e Meier (19\_ \_) lembram que o coeficiente de absorção de água da argamassa de saneamento deve ser mantido acima de  $0,3\text{kg/m}^2$  e que a absorção capilar deve ser inferior ou igual a 5mm em 24 horas. No Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 onde estão colocados, de forma técnico-científica, os requisitos do sistema de revestimento de recuperação, consta que o mesmo é preparado de acordo com a norma alemã DIN 18557. Estes sistemas são altamente porosos e permeáveis ao vapor d'água. Também têm a característica de reduzir consideravelmente o transporte dos sais por capilaridade.

Para que se obtenham os resultados desejados, deve ser feita uma escolha adequada dos materiais que compõem o sistema de recuperação. Isto vale tanto para os aglomerantes, agregados, quanto para os aditivos hidrofugante e incorporador de ar. Com estes aditivos, permite-se que a argamassa de saneamento se torne hidro-repelente, retendo os sais e possibilitando a transposição de vapor d'água pelo seu elevado número de poros. Segundo Arendt (1995), é obrigatória, na Alemanha, a verificação da quantidade de água absorvida em 24 horas no reboco de recuperação. Conforme Bianchin (1999), a Norma Alemã WTA 2-2-91 (1995) recomenda a composição básica de um sistema de revestimento de recuperação conforme segue abaixo:

- a) aglomerante: cimento Portland com eventual adição de cimento branco;
- b) carga: pó de calcário, eventualmente pó de quartzo;
- c) inertes: areia quartzosa com granulometria uniformemente escalonada;
- d) agregados leves: pedra pomes, poliestireno expandido ou vidro expandido (perlita);
- e) aditivo: metilcelulose (para aumentar a capacidade de retenção de água);

- f) aditivo hidrofugante: aproximadamente 2,5% de estearatos de zinco, sódio ou chumbo;
- g) aditivo incorporador de ar: 1% da massa de cimento de elementos tensálicos, por exemplo: acrilsulfonatos de sódio, sulfonatos alquídicos com ligações de sílico inorgânico (BIANCHIN, 1999).

Para Arendt (1995), a incorporação de poros de ar estáveis na argamassa de saneamento se deve principalmente ao traço da mesma, pois são decisivos os aglomerantes usados e a granulometria da areia. Para os alemães é fundamental que estas argamassas de saneamento também sejam produzidas em usinas, para garantir a sua uniformidade. Bianchin (1999) lembra também que, cabe salientar que os materiais utilizados para compor o sistema de revestimento de recuperação devem ser totalmente compatíveis entre si e com o substrato a revestir, a fim de que nenhuma reação provoque qualquer dano ou deterioração que possa afetar o seu desempenho.

### 3.1.1 Camadas do sistema de revestimento de recuperação

Um sistema de revestimento é composto por chapisco, emboço e argamassa de saneamento. Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 estas camadas devem ter as seguintes características:

- a) chapisco: constituído por uma mistura fluida de cimento e areia, e que serve de ponte de aderência mecânica. Segundo a DIN 18550 – Parte 2 (DIN 1985), o chapisco serve para melhorar a ancoragem mecânica do revestimento e também para regularizar a capacidade de absorção de água pelo substrato para que a cura do revestimento seja uniforme. Quando o chapisco é convencional, é aplicado em toda a superfície da alvenaria, havendo melhor aderência junto ao substrato, mas acarretando dificuldades para que o vapor de água passe da alvenaria para o revestimento, por ser o chapisco compacto neste caso. Segundo ARENDT (1995), as edificações afetadas por umidade e sais deverão ter a aplicação de chapisco em 50% da superfície do substrato, de forma reticulada, para que não haja obstrução total da passagem de água. Se as alvenarias forem muito fracas e absorventes pode-se usar cal como aglomerante no chapisco, aplicando uma camada contínua. A norma brasileira NBR 7200 (ABNT, 1982) define como chapisco, a camada de argamassa aplicada sobre o concreto ou alvenaria, com a finalidade de oferecer base ou superfície adequada ao emboço. Esta camada é composta predominantemente de areia grossa de 3 a 5mm de diâmetro.

- b) reboco base WTA (emboço): aplicado como camada regularizadora do substrato e/ou como depósito de sais do substrato. De acordo com ARENDT (1995), o Reboco Base é uma camada de argamassa de nivelamento, mais barata, utilizada quando a superfície da alvenaria apresentar diferenças de planicidade que exijam camadas de reboco superior a 30mm de espessura, ou se a alvenaria estiver fortemente contaminada por sais. Esta camada deverá ser aplicada após a cura do chapisco, e pode servir também como depósito de sais quando a alvenaria estiver fortemente contaminada, devendo ser compatível com a argamassa de saneamento. Esta camada tem a incumbência de proteger, nas primeiras idades, a argamassa de saneamento da contaminação dos sais presentes.

As características dos rebocos bases-WTA constam na tabela 11.

Tabela 11: características dos rebocos base (emboço) - WTA 2-2-91 (ARENDT, 1995, p.24)

Características	Unidade	Prescrição	Método de ensaio
Argamassa fresca			
Resistência	cm	17±0,5	DIN 18555-p2/1982
Ar incorporado	V(%)	> 20	DIN 18555-P2/1982
Argamassa curada *			
Coef.de resist. À difusão de vapor de água	-	< 18	DIN 52615/1987
Resistência à compressão	N/mm <sup>2</sup>	≥ reboco de recuperação	DIN 52615/1987
Absorção capilar de água (W <sub>24</sub> )	Kg/m <sup>2</sup>	> 1	DIN 52617/1987
Profundidade de penetração de água (h <sub>24</sub> )	mm	> 5	DIN 52617/1987
Porosidade	V(%)	> 45	WTA 2-2-91/1995

\* As condições de armazenamento dos corpos-de-prova são de acordo com a DIN 18555-p2 (7 dias: 20 ± 1°C e UR = 95%, e 21 dias: 20 ± 1°C e UR = 65%)

Para a NBR 7200 (ABNT, 1982), o emboço é a primeira camada de revestimento, ou seja, a primeira demão de argamassa composta de areia média e aglomerante, aplicada uniformemente sobre o chapisco, como base para o reboco (segunda camada de argamassa).

- a) argamassa de saneamento (WTA): a argamassa de saneamento WTA, que é a terceira camada, deve ter no mínimo 2cm de espessura. Segundo o Caderno de Recomendações Alemão W-T-A 2-2-95, esta argamassa pode ser utilizada como reboco base, quando a espessura total do revestimento não ultrapassar 4cm. Esta camada deve ser estanque à água em estado líquido, e servirá para o depósito de sais cristalizados.

As características da argamassa de saneamento (WTA) constam na tabela 12.

Tabela 12: características das argamassas de saneamento - WTA

Características	Unidade	Prescrição	Método de ensaio
Argamassa fresca			
Consistência	cm	17± 0,5	DIN 18555-p2/1982
Massa específica	Kg/dm <sup>3</sup>	-	-
Ar incorporado	V(%)	> 25	DIN 18555-P2/1982
Retenção de água	%	> 85	
Trabalhabilidade	cm	< 3 *	
Argamassa curada **			
Coefficiente de resistência à difusão de vapor de água	-	< 12	DIN 52615/1987
Resistência à tração na flexão	N/mm <sup>2</sup>	-	
Resistência à compressão	N/mm <sup>2</sup>	1,5-5	DIN 52615/1987
Relação das resistências	-	< 3	
Absorção capilar de água (W <sub>24</sub> )	Kg/m <sup>2</sup>	> 0,3	DIN 52617/1987
Profundidade de penetração de água (h <sub>24</sub> )	mm	< 5	DIN 52617/1987
Porosidade	V(%)	> 40	WTA 2-2-91/1995
Resistência aos sais	-	resistente	

\* Após 15 minutos de descanso, o abatimento (consistência não deverá ter redução maior do que 3cm)

\*\* As condições de armazenamento dos corpos-de-prova são de acordo com a DIN 18555-p2 (7 dias: 20 ± 1°C e UR = 95%, e 21 dias: 20 ± 1°C e UR = 65%)

Para a NBR 7200 (ABNT, 1982), a camada da argamassa de saneamento corresponde ao reboco ou segunda camada de argamassa com espessura máxima de 5mm, utilizada para recobrimento do emboço, oferecendo uma superfície que permite receber ou se constituir em decoração final.

Bianchin (1999) lembra que se deve medir o grau de umidade e identificar a quantidade e tipo dos sais prejudiciais (sulfatos, cloretos, nitratos) na alvenaria degradada antes de utilizar um sistema de recuperação. Após a identificação, a argamassa antiga deve ser removida na área umedecida e no mínimo 80cm acima desta região com argamassas à base de cal.

Segundo Posser (2004), este procedimento é necessário, pois as argamassa de recuperação reduzem a taxa de evaporação da umidade do substrato, aumentando desta forma a altura da umidade ascensional presente na alvenaria antiga. Estas argamassas de recuperação são menos permeáveis ao vapor de água que as argamassas à base de cal. Assim, evita-se que a umidade, juntamente com os sais, seja transportada até o limite entre o revestimento de recuperação e o revestimento antigo, ocasionando manifestações patológicas nesta interface.

As juntas, segundo Arendt (1995), devem ser raspadas com uma profundidade de 2 a 3cm a fim de que maior quantidade de sal presente na alvenaria seja retirado. Sempre que possível, a limpeza da parede deve ser executada por meios mecânicos.

A tabela 13 mostra a espessura indicada para cada camada do revestimento, dependendo do grau de salinização da alvenaria conforme o Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 (ARENDDT, 1995, p.33).

Tabela 13: intervenção em relação ao grau de salinização  
(ARENDDT, 1995, p.33)

<b>Grau de salinização<sup>(1)</sup></b>	<b>Intervenção</b>	<b>Espessura das camadas (cm)<sup>(3)</sup></b>
Pequeno	Chapisco <sup>(2)</sup>	≤0,5
	Reboco de Recuperação	≥2,0

continua

continuação

Médio até alto	Chapisco <sup>(2)</sup>	$\leq 0,5$
	2. Emboço de Recuperação	1,0 – 2,0
	3. Reboco de Recuperação	1,0 – 2,0
	Chapisco <sup>(2)</sup>	$\leq 0,5$
	Emboço de Recuperação	$\geq 1,0$
	Reboco de Recuperação	$\geq 1,5$

(1) Verificado anteriormente por ensaios e testes.

(2) Chapisco não contínuo, a não ser por indicação do fabricante.

(3) Espessura total das camadas, não podendo ultrapassar 4cm.

Para que se possa compreender melhor o funcionamento de uma argamassa de saneamento, e o que a diferencia de uma argamassa convencional nacional, será feita uma comparação entre as principais propriedades de ambas, uma vez que a de saneamento segue as recomendações do Caderno de Recomendações Alemão - WTA 2-2-91.

### 3.1.2 Comparação entre as principais propriedades das argamassas convencionais e dos sistemas de revestimento de recuperação no estado fresco e no estado endurecido

A seguir serão abordadas algumas das principais propriedades no estado fresco e no estado endurecido das argamassas convencionais e dos sistemas de revestimentos de recuperação alemão WTA.

No estado fresco serão descritas as propriedades de trabalhabilidade, retenção de água, consistência e plasticidade, massa específica e teor de ar incorporado. No estado endurecido serão colocadas as propriedades de resistência mecânica ( $f_c$  e  $f_t$ ), difusão de vapor e resistência aos sais.

### 3.1.2.1 Principais propriedades das argamassas no estado fresco

#### *3.1.2.1.1 Trabalhabilidade*

Segundo Rago e Cincotto (1997), a trabalhabilidade da argamassa no estado fresco avalia a facilidade de manuseio, transporte e aplicação desta argamassa. Na prática, na aplicação manual, significa que a argamassa se deixa penetrar pela colher do pedreiro, sem ser fluida, mantendo-se coesa no transporte para a desempenadeira e no lançamento sobre a base. Na execução do revestimento, a trabalhabilidade da argamassa reflete-se sobre sua capacidade de adesão ao substrato e capacidade de aderência.

Cavani et al. (1997) lembram que uma trabalhabilidade adequada supõe que, durante a mistura, a argamassa se concentra nas paredes da cuba da argamassadeira, não respingando. Exige ainda pouco esforço de manuseio e, ao ser arremessada, adere bem ao substrato, sem deslizar, o mesmo ocorrendo com a segunda porção arremessada sobre a primeira, existindo perfeita aderência entre elas. Desta maneira, quando uma camada superficial é cortada com a colher do pedreiro, a camada mais interna não se solta do substrato.

De acordo com Cincotto et al. (1995), esta propriedade depende e resulta de várias outras como consistência, plasticidade, coesão interna, retenção e exsudação de água, tixotropia, adesão inicial e massa específica. Segundo Carasek (1990), a perfeita execução da argamassa exige que esta tenha uma adequada consistência, ou seja, tenha coesão para ser transportada, mas que não se prenda na colher do pedreiro, e plasticidade para se espalhar; deve apresentar, ainda, fluidez, sem que haja segregação da água.

Para Cincotto et al. (1995), à medida que decresce o módulo de finura do agregado, mantendo-se a continuidade da granulometria, e decresce o teor de grãos angulosos, há melhora na trabalhabilidade da argamassa. Para estes autores, o uso da cal, por exemplo, favorece a trabalhabilidade, enquanto que os cimentos que possuem maior finura, podem resultar em argamassas com maior trabalhabilidade e maior retenção de água.

Conforme estudos feitos por Antunes et al. (1997), as argamassas que possuem cal em sua constituição são mais coesas, mantendo-se trabalháveis por um período mais longo do que as

de cimento e areia, as quais tem um aspecto áspero e apresentam fortes tendências à exsudação.

Cavani et al. (1997) realizaram também estudos sobre a influência do teor de ar incorporado na argamassa sobre a sua trabalhabilidade. Segundo os resultados obtidos, a quantidade de água colocada em argamassas, bem como o índice de consistência determinado para a obtenção da mesma trabalhabilidade, são inversamente proporcionais ao teor de ar incorporado. Por isto não é aconselhável fixar um índice de consistência padrão para a trabalhabilidade ótima, desvinculado do teor de ar incorporado.

De acordo com Bianchin (1999), na Alemanha, a trabalhabilidade dos sistemas de revestimento de recuperação é determinada pela sua consistência. O ensaio para a determinação do índice de consistência e a trabalhabilidade das argamassas segue a norma alemã DIN 18555, parte 2, capítulo 3. O molde tronco-cônico e o tampo da mesa de consistência são previamente umedecidos. Este molde deve ficar centralizado sobre o tampo da mesa de consistência e deve ser preenchido em duas camadas, sendo que cada uma deve ser adensada através de 10 golpes com o uso de soquete. O excesso da argamassa deve ser removido, bem como as partículas de material que se encontram em volta do molde. Após 30 segundos, o molde é retirado lentamente na vertical e são aplicados 15 golpes em 15 segundos no tampo da mesa de consistência. Imediatamente após o último golpe é feita a medida do espalhamento da argamassa em duas direções ortogonais entre si. Se a diferença entre os dois valores for inferior a 3cm, a trabalhabilidade é considerada adequada.

#### *3.1.2.1.2 Retenção de água*

De acordo com Cincotto et al. (1995), define-se a retenção de água das argamassas no estado fresco, como a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam perda de água, como evaporação, sucção ou absorção pelos componentes.

Bauer (1987) lembra que a argamassa, ao perder água para o tijolo, enrijece muito rapidamente, diminuindo sua trabalhabilidade, podendo ocorrer uma má ligação argamassa-substrato. Por isto, a necessidade de se ter argamassas com alta retenção de água. Para que

haja uma diminuição desta absorção inicial dos tijolos, é importante lembrar da necessidade de se umedecer os mesmos antes de assentá-los, como geralmente ocorre nas obras.

Esta propriedade de retenção de água, segundo Cincotto et al. (1995), influi nas condições de manuseio da argamassa pelo pedreiro, e também nas propriedades no estado endurecido, pois determina as condições de hidratação do cimento e a carbonatação da cal, que são agentes responsáveis pela evolução do processo de endurecimento e ganho de resistência da argamassa. A retenção de água de uma argamassa modifica as condições de contato da argamassa com o substrato, agindo sobre a retração de secagem, resistência mecânica e aderência do revestimento.

Estudos feitos por Scartezini e Carasek (2003) mostram que argamassas com areias mais finas perdem menos água por absorção capilar do que argamassas com areia de granulometria mais grossa. À medida que aumenta o tamanho dos grãos da areia, aumenta a perda de água da argamassa, mas em alguns casos a resistência de aderência do revestimento aumenta. Sobre blocos cerâmicos observaram que há um leve aumento da resistência de aderência com o aumento da perda de água da argamassa. Já sobre blocos de concreto não se observa este fenômeno.

Segundo Cincotto et al. (1995), os aglomerantes são os principais responsáveis pela retenção de água das argamassas, devido a suas áreas específicas. Desta forma, contribui para melhorar a capacidade de retenção de água da argamassa, a maturação prévia da pasta de cal ou mesmo a maturação da própria argamassa. Por conseqüência, há uma melhora nas condições de hidratação do cimento, se comparada à adição da cal em pó à mistura. De acordo com estes autores, é com estas medidas que se melhoram os resultados da resistência de aderência da argamassa.

De acordo com John (2003), argamassas com baixa retenção de água têm problemas de exsudação, fazendo com que o pedreiro tenha que mexer constantemente a mistura, reduzindo a sua produtividade. Ele diz, também, que a retenção de água está certamente ligada à área superficial das partículas e também às propriedades superficiais das partículas. Neste sentido, com partículas mais finas nas argamassas, como é o caso das cales, há o favorecimento da retenção.

Para Cincotto et al. (1995), o emprego da cal dolomítica melhora a retenção de água da argamassa. Também é necessário que a adição de cal seja pelo menos em igual proporção ao

teor de cimento para que haja uma melhora na retenção de água. De acordo com Davison (1961 apud CINCOTTO et al., 1995), a figura 11 mostra a porcentagem de água perdida para diferentes traços de argamassas, em função da sucção inicial do tijolo.

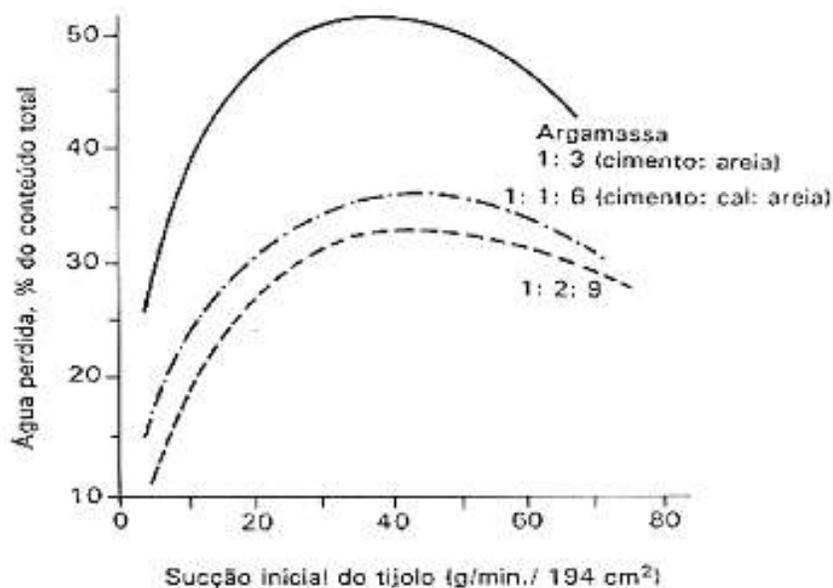


Figura 11: perda de água de argamassas em função da sucção dos tijolos - tempo de contato = 4 minutos (DAVISON, 1961 apud CINCOTTO et al., 1995)

Segundo Bianchin (1999), o ensaio para a determinação da retenção de água em argamassas de saneamento seguem as recomendações da norma DIN 18555-P7 (DIN, 1987), e são feitas medidas da massa da água retida após sucção feita com papéis filtrantes colocados sobre a argamassa por 5 minutos. Este valor deve ficar acima de 85%.

### 3.1.2.1.3 Consistência e plasticidade

Segundo Rilem (1982), a consistência e a plasticidade são as propriedades que melhor expressam a trabalhabilidade de uma argamassa, com o que concordam Cincotto et al. (1995). Em alguns ensaios, a avaliação destas duas propriedades ocorre em conjunto. A consistência é a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas e a manutenção desta consistência, com o passar do tempo, significa que a argamassa não terá esta tendência durante a sua aplicação.

Conforme Rilem (1966), a consistência pode ser considerada como a fluidez da argamassa e depende do teor de água de amassamento e do teor de ar incorporado. A consistência também depende do tipo e proporção dos aglomerantes e da superfície específica dos materiais empregados. Já a plasticidade é definida como a propriedade pela qual a argamassa tende a manter sua deformação, sem se romper, após a redução do esforço que a originou. Depende do teor de ar, da natureza e do teor de aglomerantes, além da intensidade da mistura das argamassas.

Diversos autores classificam as argamassas segundo sua consistência em:

- a) argamassas secas – quando a pasta que envolve os grãos do agregado preenche os vazios entre os grãos, os quais permanecem em contato;
- b) argamassas plásticas – há uma fina película de pasta que atua como lubrificante na superfície dos grãos;
- c) argamassas fluídas – quando os grãos de agregado estão imersos na pasta.

Rosello (1989 apud CINCOTTO et al., 1995) apresenta, na figura 12, as três situações de consistência.

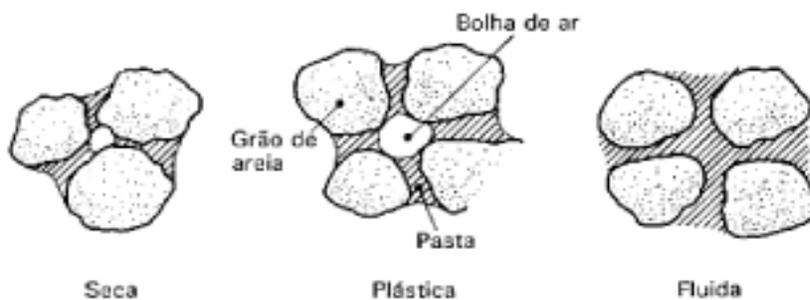


Figura 12: consistência das argamassas  
(ROSELLO, 1989 apud CINCOTTO et al., 1995)

Segundo Cincotto et al. (1995), os seguintes fatores influenciam esta propriedade: relação água/aglomerante; relação aglomerante/areia; granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante. Quanto maior for o teor de cal em uma argamassa, mantendo-se constante a relação aglomerante/areia, maior deverá ser a relação água/cimento para que a argamassa passe de uma consistência seca para uma mais fluída.

A NBR 13.276 (ABNT, 1995) fixa o índice de consistência padrão das argamassas de revestimento em  $255 \pm 10$ mm, medida obtida através de 30 golpes aplicados na mesa de consistência em 30 segundos sobre o molde cônico no centro da mesa para índice de consistência. Já o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 prescreve uma consistência de  $170 \pm 5$ mm, orientando-se pela norma alemã DIN 18555, parte 2, capítulo 3 (1982), medida obtida após 15 golpes em 15 segundos aplicados na mesa de consistência, sobre a qual está o molde tronco-cônico centralizado sobre o tampo da mesa. Este valor, segundo Bianchin (1999), não pode ser tomado como referência, pois no Brasil a aplicação é manual e na Alemanha é mecânica.

#### *3.1.2.1.4 Massa específica*

De acordo com Mattos (2001), os valores obtidos em ensaios de massa específica de uma argamassa fornecem indiretamente informações sobre a compactidade da mistura, pois quando se compra argamassas que contem materiais de massa específica iguais, mas com diferente volume de vazios, a que apresentar menor volume de vazios apresenta maior massa específica.

Segundo Bianchin (1999), a massa específica e o teor de ar incorporado afetam a trabalhabilidade das argamassas. Ao diminuir a massa específica, aumenta o teor de ar, as argamassas se tornam mais leves e mais trabalháveis. Já a maturação da cal, por pelo menos 24 horas, aumenta o teor de água retido, aumentando a massa específica aparente das argamassas no estado fresco.

Segundo o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 não há prescrição para o valor da massa específica no estado fresco para rebocos de recuperação.

#### *3.1.2.1.5 Teor de ar incorporado*

Segundo Mattos (2001), o aditivo incorporador de ar é o principal aditivo utilizado em argamassas para melhorar a sua plasticidade, ao mesmo tempo em que reduz a quantidade de água empregada. Ocorre a melhora na trabalhabilidade porque o ar incorporado atua como

lubrificante entre os grãos da mistura. Este aditivo também melhora a capacidade de adesão inicial, mas em excesso pode causar resultados insatisfatórios como: redução da aderência e da resistência mecânica. Existe, portanto, um teor ótimo de aditivo, a partir do qual as propriedades das argamassas mudam de tendência.

Para Posser (2004), o índice de consistência diminui com o aumento da relação cal/cimento para argamassas com alto teor de incorporador de ar ( $>0,85\%$ ). Neste caso, o incorporador de ar faz com que as argamassas apresentem maior coesão. Já para argamassas com baixos teores de incorporador de ar ( $<0,64\%$ ) há um aumento da consistência com o aumento da relação cal/cimento, demonstrando ser a cal a principal responsável por esta propriedade. O aumento do índice de consistência não indica um aumento de trabalhabilidade, uma vez que, pela avaliação do pedreiro, argamassas com diferentes índices de consistência apresentam a mesma trabalhabilidade.

Conforme Bianchin (1999), além de melhorar a trabalhabilidade, o ar incorporado nas argamassas propicia um maior rendimento, com menor consumo de cimento por metro cúbico de argamassa. O teor de ar incorporado e a massa específica de uma argamassa são fatores que afetam a trabalhabilidade das argamassas, pois a massa específica e o teor de ar incorporado são inversamente proporcionais.

Existem dois métodos experimentais para se determinar a incorporação de ar em argamassas frescas, um que utiliza um aparelho de pressão – método pressométrico e um que utiliza a massa específica do material – método gravimétrico, normatizado pela NBR 13.278 (ABNT, 1995). O Caderno de Recomendações Alemão coloca que a incorporação deva ser acima de 25% nos rebocos de recuperação.

### 3.1.2.2 Principais propriedades das argamassas no estado endurecido

#### *3.1.2.2.1 Resistência mecânica*

Segundo Cincotto et al. (1995), a resistência mecânica das argamassas de revestimento é a capacidade destas argamassas de resistir às tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais estão sujeitas. Estes esforços, que geram as tensões na superfície vertical da edificação,

se originam de solicitações decorrentes de fenômenos térmicos ou climáticos, que também dependem das condições de exposição das superfícies.

De acordo com Bianchin (1999), as propriedades mecânicas das argamassas dependem da estrutura física dos produtos de hidratação do cimento e da cal, da relação água/cimento e do teor de aglomerante. A resistência mecânica se origina quando os silicatos e aluminatos presentes no cimento entram em contato com a água, produzindo produtos de hidratação. Nas argamassas mistas de cimento e cal, ocorre ainda o processo de carbonatação do hidróxido de cálcio, pela ação do anidrido carbônico do ar. Como esta reação é mais lenta, o endurecimento é também mais lento destas argamassas.

De acordo com Taube et al. (2003), as principais características e propriedades dos substratos, que podem influenciar na resistência de aderência à tração (principal solicitação de uma argamassa de revestimento) são: a matéria-prima, a porosidade, a capacidade de absorção de água e a textura superficial. Como exemplo, pode-se citar um estudo feito por estes autores com uma argamassa mista de cimento, cal e areia na proporção 1:1,66:6,77 (em massa de materiais secos), produzida em obra, que apresentou melhor desempenho com relação à resistência de aderência à tração, quando aplicada em laje de concreto do que quando aplicada sobre blocos cerâmicos.

Segundo Scartezini e Carasek (2003), a importância do estudo da resistência à tração dos revestimentos decorre da necessidade de conhecer as condições de ancoragem da argamassa à base de aplicação. Estudos feitos por estes autores com argamassa de revestimento na proporção 1:1:6 em volume, e uma solução de cal na proporção de 1% de hidróxido de cálcio em relação à massa de água, permitiram as seguintes conclusões:

- a) o tipo de substrato é o maior responsável pela variação nos resultados da resistência de aderência, ou seja, em blocos de concreto os resultados são superiores aos valores obtidos para os revestimentos sobre blocos cerâmicos, pois aqueles têm maior rugosidade superficial;
- b) os blocos de concreto chapiscados proporcionam uma aderência menor do que blocos sem preparo, enquanto que o seu umedecimento e a aplicação da solução de cal na argamassa sobre estes blocos melhoram a aderência;
- c) no substrato composto por blocos cerâmicos molhados previamente, não há influência na aderência, enquanto que o chapisco influencia positivamente a resistência, bem como a aplicação da solução de cal.

Conforme o Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 a resistência à compressão para as argamassas de saneamento deve ficar entre 1,5 e 5 MPa.

#### *3.1.2.2.2 Difusão de vapor*

Para Polisseni (1986), o coeficiente de difusão do vapor d'água indica o grau de dificuldade que o vapor d'água encontra para se difundir no material, comparado com a dificuldade que ele teria para atravessar uma camada de ar estacionária de mesma espessura, com temperatura e pressão totalmente idênticas. O Caderno de Recomendações Alemão estabelece um coeficiente de resistência à difusão de vapor d'água abaixo de 12 para as argamassas de saneamento.

#### *3.1.2.2.3 Resistência à passagem dos sais*

Segundo Cincotto et al. (1995), a resistência aos sais, especialmente ao ataque de sulfatos, está ligada à composição, à natureza dos materiais, à sua resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade da argamassa e dos materiais a ela adjacentes. O Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 descreve o ensaio de resistência aos sais, que deve seguir as prescrições da norma alemã DIN 18555, parte 7. Corpos-de-prova ficam em contato com uma lâmina contendo uma solução de sais. Se a argamassa de saneamento não for atravessada pela lâmina, é considerada aprovada após 10 dias.

### **3.1.3 Aplicação das argamassas de saneamento na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim em Florianópolis/SC**

De acordo com Tonera (1997), as argamassas de saneamento, produzidas industrialmente na Alemanha, são argamassas secas especiais industrializadas, prontas para uso, bastando acrescentar água à mistura seca em forma de pó. Na Fortaleza de Anhatomirim foram aplicadas 7 argamassas de saneamento, em diferentes painéis, sendo 3 estrangeiros (2 alemães e 1 holandesa) e 4 nacionais, como segue:

- a) duas argamassas de saneamento industrializadas alemãs aplicadas em três camadas (chapisco, emboço e reboco) (aplicação-abril/jun/95 e abril/96-jul/96);
- b) uma argamassa de saneamento industrializada holandesa, aplicada em uma única camada (aplicação abril/95);
- c) uma argamassa industrializada de saneamento brasileira, traço 1:3,5 de água e pó (composição recomendada pela Norma Alemã WTA 2-2-91-1995, ver item 3.1) em volume, aplicada em camada única (maio/jun/95);
- d) uma argamassa pré-fabricada convencional de cimento, cal e areia média brasileira, traço 1:6 de ci CP IV 32 e argamassa em volume. O traço da argamassa é de 1:7 de cal e areia média em volume (abril/95).
- e) uma argamassa comum brasileira, preparada em obra, constituída de cimento, cal hidratada, areia média e água, traço 1:2:8 em volume (abril/95), conforme Nappi (2002);
- f) uma argamassa comum brasileira de cal hidratada e areia média, preparada em obra, cal hidratada e areia média e água, traço 1:3 em volume (abril/95), que segundo Nappi (2002) é a argamassa mais utilizada em edifícios antigos.

De acordo com Nappi (2002), estes rebocos foram aplicados em painéis de 2 metros de largura por 2 metros de altura, aplicados em 5 locais, sob ambientes distintos. Posteriormente foram avaliados durante um período de 3 anos, principalmente quanto aos níveis de umidade e salinidade. Cabe salientar, conforme relata Toner (1997), que a argamassa industrializada de saneamento brasileira foi encomendada para uma empresa de São Paulo, baseado na composição descrita no item 3.1, com adição de aditivo hidrofugante em torno de 2,5% (estearatos) da massa de cimento e 1% de incorporador de ar. Segundo a empresa a relação aglomerante:agregado calcário foi de 1:4,88. Após a retirada das amostras de argamassa existente nas paredes, antes do experimento, verificou-se que as mesmas estavam úmidas ou, em muitos casos, muito úmidas, com valores acima de 10%. Nas regiões mais profundas das alvenarias a umidade ficou entre 50 a 90 %, indicando grande capacidade das alvenarias de absorverem umidade do ar.

As superfícies escolhidas para os testes tiveram os rebocos existentes retirados com ponteiros e talhadeiras, raspando-se as juntas a uma profundidade de 3cm. Este experimento ocorreu entre 1995 e 1996, em paredes afetadas pela umidade e salinidade, muito mofadas, escuras e com eflorescências. Juntamente com os painéis de argamassas de saneamento, foi instalado o sistema austríaco de dessalinização eletrofísico da empresa Kerasan. Durante a aplicação das argamassas de saneamento, foram produzidos corpos-de-prova in loco e feito os ensaios de

absorção de água com os tubos Karsten, ou seja, o ensaio do cachimbo e o ensaio da massa específica. Além disto, foram retiradas amostras das argamassas aplicadas em dez/95 e nov/96, as quais foram submetidas à umidade natural e análise de sais.

Em novembro/1996 procederam-se a alguns ensaios de permeabilidade. Segundo Tonera (1997), os sistemas de revestimento estrangeiros mostraram melhor desempenho do que os nacionais. Já nos ensaios de densidade (massa específica), das quatro argamassas nacionais analisadas, quanto ao reboco (argamassa de saneamento WTA), três atenderam a Norma Alemã e um não. Já nas argamassas estrangeiras, três atenderam a Norma Alemã (valor deve ser  $<1,4\text{g/cm}^3$ ) e uma não, portanto para as argamassas de saneamento, as estrangeiras tiveram melhor desempenho quanto à massa específica. A Norma Alemã não exige ensaios de massa específica para chapisco e emboço. Somente a argamassa nacional industrializada (protótipo nacional de argamassa de saneamento, única camada) apresentou um valor de densidade adequado de 1,29. Conforme Nappi (2002), foram retiradas seis amostras de cada tipo de argamassa, através de broca tipo copo, a alturas 80cm, 120cm e 180cm, em 3 profundidades de 0, 1,5 e 3,0cm. Este processo se repetiu em 1996, 1997 e 1998, sendo que após uma avaliação global, foram observados aspectos como presença de fissuras, manchas, eflorescências salinas, presença de microorganismos, resistência à abrasão, falta de aderência, aspecto visual e sinais de umidade. O melhor desempenho ficou com a argamassa holandesa. A tabela 14 mostra a média encontrada nos resultados dos ensaios de permeabilidade em Anhatomirim.

Tabela 14: média dos resultados dos ensaios de permeabilidade das argamassas aplicadas em Anhatomirim (TONERA, 1997)

<b>Argamassas de saneamento</b>	<b>00 min.</b>	<b>01 min.</b>	<b>02 min.</b>	<b>03 min.</b>	<b>04 min.</b>	<b>05 min.</b>	<b>10 min.</b>	<b>15 min.</b>	<b>20 min.</b>	<b>30 min.</b>	<b>60 min.</b>
Nacionais	0	0,18	0,33	0,45	0,37	0,444	1,08	1,52	1,93	2,53	3,1625
Internacionais	0	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15	0,38

A tabela 15 mostra os resultados das massas específicas dos corpos-de-prova das argamassas aplicadas.

Tabela 15: resultado dos ensaios de massa específica nos corpos-de-prova das argamassas de saneamento aplicadas em Anhatomirim (TONERA, 1997)

<b>Tipo de argamassa de saneamento</b>	<b>Material</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Pré-fabricada brasileira	reboco	1,92
Comum de cal e areia brasileira	reboco	1,76
Holandesa	reboco	1,09
Alemã	chapisco	1,39
Alemã	emboço	1,19
Alemã	reboco	1,75
Industrial brasileira	reboco	1,29
Alemã	chapisco	1,90
Alemã	emboço	1,44
Alemã	reboco	1,23
Comum de ci:cal:areia brasileira	emboço	1,86
Comum de ci:cal:areia brasileira	reboco	1,78

Como visto no item 3.1.2.1.4, não há prescrição para a massa específica no estado fresco para as argamassas de saneamento. Observa-se que das argamassas brasileiras, apenas a industrializada atingiu um valor inferior a 1,4 indicado pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91. Uma das causas possíveis poderia ser o fato da utilização de agregados mais pesados do que nas demais argamassas. Conforme Tonera (1997), tanto os resultados visuais, quanto os oriundos das análises de permeabilidade, salinidade, e densidade da argamassa industrializada brasileira, apresentaram resultados comparáveis aos obtidos com as estrangeiras, indicando um bom desempenho.

Em nov/1996 foram retiradas amostras das argamassas aplicadas para verificar o grau de salinidade presente, o que foi feito na Central de Análises do Departamento de Química da

Universidade Federal de Santa Catarina. Os resultados foram satisfatórios em relação às recomendações da norma alemã WTA, com aumento dos percentuais de sais nos rebocos aplicados, tanto nos estrangeiros, quanto no nacional industrializado, comprovando a migração destes, do interior da alvenaria para os rebocos.

Nappi (2002) lembra que, antes de enviar as amostras de argamassas para análise quantitativa de sais, é aconselhável realizar um exame simplificado de diagnóstico qualitativo de salinidade, com algumas soluções químicas, devidamente proporcionadas (para cloreto-ácido nítrico e nitrato de prata; para sulfato-ácido clorídrico e cloreto de bário e para nitrato-ácido acético, reagente de Griess-Hosvay e zinco em pó). Desta forma, somente se envia para o laboratório as amostras que realmente tenham estes elementos, reduzindo-se custos.

Para a classificação da quantidade de sais presentes nas amostras das argamassas, foi utilizada a tabela 16, conforme indicação do instituto IGS (1995), conforme relata Toner (1997).

Tabela 16: classificação quanto à umidade e à contaminação por sais (IGS, 1995 apud TONERA, 1997)

Grau de sobrecarga	Grau de umidificação	Capilaridade com 97% URA	Sais (M -%) (somente restos de ácidos)			Partículas solúveis em água (M -%)
			cloretos	nitratos	sulfatos	
0 mínima	abaixo de 10%	muito abaixo da umidade do material	0 – 89,29 mg sal/kg			abaixo de 0,08
I pouca	entre 10% e 25%	abaixo da umidade do material	89,29 – 285,71 mg sal/kg			entre 0,08 e 0,25
II média	entre 25% e 50%	próxima à umidade do material	285,71 – 892,86 mg sal/kg			entre 0,25 e 0,8
III alta	entre 50% e 90%	acima da umidade do material	892,86 – 2.857,14 mg sal/kg			entre 0,8 e 2,5
IV muito alta	acima de 90%	próximo à umidade do	acima de 2.857,14 mg sal/kg			acima de 2,5

As tabelas 17 e 18 mostram a distribuição da salinidade nas argamassas aplicadas em Anhatomirim segundo Tonera (1997).

As siglas utilizadas para as tabelas representam as amostras retiradas e significam:

- a) P1/1 A = Parede 1, Parede 2, Parede 3;
- b) 1 A, 2 A, 3 A = pano 1, pano 2, pano 3;
- c) A, B,C = primeira, segunda, terceira retirada de amostras;
- d) 60, 120 e 180cm = altura do ponto de coleta em relação ao nível do piso.

Tabela 17: resultado da salinidade nas primeiras amostras das argamassas aplicadas em Anhatomirim (TONERA, 1997)

Amostra	Altura (cm)	Grau de contaminação por cloretos	Grau de contaminação por nitratos	Grau de contaminação por sulfatos	Tipo da argamassa
Parede 1					
P1/1A	60	II	0	III	(traço 1:3,5) Industrializ.brasileira
P1/1A	120	II	0	III	Industrisliz.brasileira
P1/1A	180	II	0	III	Industrializ.brasileira
Parede 2					
P2/1A	60	III	II	0	(traço 1:3) Tradicional brasileira
P2/1A	120	0	0	0	Tradicional brasileira
P2/1A	180	0	0	0	Tradicional brasileira
Parede 3					
P3/1A	60	I	0	II	(traço 1:6) Pré-fabric. brasileira
P3/1A	120	0	0	II	Pré-fabric. brasileira
P3/1A	180	0	0	II	Pré-fabric. brasileira

continua

continuação

P3/2A	60	III	0	0	(traço 1:3) Tradicional brasileira
P3/2A	120	0	0	0	Tradicional brasileira
P3/2A	180	0	0	0	Tradicional brasileira
P3/3A	60	0	0	I	Holandesa
P3/3A	120	0	0	I	Holandesa
P3/3A	180	0	0	I	Holandesa
P3/4A	60	I	0	0	Alemã 2
P3/4A	120	0	0	0	Alemã 2
P3/4A	180	0	0	I	Alemã 2
P3/5A	60	II	0	II	(traço 1:3,5) Industrializ.brasileira
P3/5A	120	II	0	II	Industrializ.brasileira
P3/5A	180	IV	0	III	Industrializ.brasileira
P3/6A	60	0	0	I	Alemã 2
P3/6A	120	0	I	II	Alemã 2
P3/6A	180	0	0	II	Alemã 2
P3/7A	60	0	0	I	(traço 1:2:8) Comum bras.
P3/7A	120	0	0	I	Comum bras.
P3/7A	180	0	I	I	Comum bras.
Parede 4					
P4/1A	60	III	III	III	(traço 1:3,5) Industrializ.brasileira
P4/1A	120	III	IV	II	Industrializ.brasileira
P4/1A	180	IV	IV	II	Industrializ.brasileira
P4/1A	180	IV	III	III	Industrializ.brasileira
P4/2A	60	IV	IV	II	Holandesa
P4/2A	60	IV	IV	I	Holandesa
P4/2A	120	IV	IV	II	Holandesa
P4/2A	120	IV	IV	I	Holandesa
P4/2A	180	IV	III	I	Holandesa

Tabela 18: resultado da salinidade nas amostras das argamassas aplicadas na segunda retirada em Anhatomirim (TONERA, 1997)

Amostra	Altura (cm)	Grau de contaminação por cloretos	Grau de contaminação por nitratos	Grau de contaminação por sulfatos	Tipo da argamassa
Parede 1					
P1/1B	60	II	0	III	(traço 1:3,5) Industrializ.brasileira
P1/1B	120	I	N.D.	II	Industrializ.brasileira
P1/1B	180	II	0	II	Industrializ.brasileira
P1/2A	60	II	0	I	Alemã 2
P1/2A	120	II	0	II	Alemã 2
P1/2A	180	II	N.D.	II	Alemã 2
Parede 2					
P2/1B	60	IV	0	0	(traço 1:3) Tradicional bras.
P2/1B	120	II	0	0	Tradicional bras.
P2/1B	180	II	0	0	Tradicional bras.
P2/2A	60	II	I	I	Alemã 1
P2/2A	120	II	-	III	Alemã 1
P2/2A	180	I	0	I	Alemã 1
Parede 3					
P3/1B	60				
P3/1B	120				
P3/1B	180	II	0	II	(traço 1:6) Pré-fabric. brasileira
P3/2B	60				
P3/2B	120				
P3/2B	180				
P3/3B	60				
P3/3B	120				
P3/3B	180				
P3/4B	60				
P3/4B	120				

continua

continuação

P3/4B	180				
P3/5B	60				
P3/5B	120				
P3/5B	180				
P3/6B	60				
P3/6B	120				
P3/6B	180				
P3/7B	60				
P3/7B	120				
P3/7B	180				
Parede 4					
P4/1B	60	IV	IV	II	(traço 1:3,5) Industrializ.brasileira
P4/1B	120	IV	IV	II	Industrializ.brasileira
P4/1B	180	IV	IV	II	Industrializ.brasileira
P4/2B	60	IV	III	II	Holandesa
P4/2B	120	II	0	II	Holandesa
P4/2B	180	IV	IV	II	Holandesa
Parede 5					
P5/1A	60				Alemã 1
P5/1A	120				Alemã 1
P5/1A	180				Alemã 1

### 3.2 TRATAMENTO ELETRO-OSMÓTICO<sup>1</sup>

O emprego do sistema eletro-osmótico ativo é válido tanto para a descontaminação da parede sujeita à umidade por ascensão capilar, como também para combater contaminações ocorridas por fatores externos, ou mesmo para remover ou reduzir os sais já existentes na alvenaria.

Merino (1995) dá as seguintes definições para osmose e forese:

---

<sup>1</sup> RUARO, Paulo. Patologia em alvenarias de edificações históricas: método de dessalinização por eletro-osmose ativa. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Trabalho não publicado.

- a) osmose: é um fenômeno natural por onde um líquido, com uma determinada concentração de sais, passa através de uma membrana ou corpo poroso no sentido da menor densidade, ou menor concentração de sais.
- b) forese: é um fenômeno análogo, onde se produz o movimento de partículas em suspensão, dentro de um líquido, desde a zona de maior concentração até a mais dispersa.

Ambos fenômenos estão associados a uma diferença de potencial elétrico entre as duas zonas de contato e no mesmo sentido do fluxo da umidade. O terreno atua como ânodo (-), enquanto a parede atua como cátodo (+). Este fluxo pode alterar-se em um e outro sentido mediante a indução de potenciais elétricos. De acordo com Ulsamer (1995), o tratamento eletro-osmótico se fundamenta em certas propriedades da eletricidade terrestre e utiliza a eletricidade que se produz espontaneamente entre uma parede de tijolos úmidos e o solo também úmido sobre o qual se assenta. O valor desta corrente elétrica pode alcançar 600 a 700 milivolts. Com o efeito desta corrente, a água se desprende do muro até a terra. A aplicação prática se efetua da seguinte maneira:

Colocam-se alguns dispositivos de contato na parede de tijolos e se conectam os mesmos a dispositivos metálicos cravados na terra, através de condutores devidamente vedados. Deve-se levar em conta que cada caso requer um estudo especial, a instalação será função do grau de umidade da terra, de sua reação ácida ou alcalina, entre outros. Estes fatores fazem variar o tipo de contato, condutores, número de pontes elétricas, entre outros. Existem dois tipos de eletro-osmose que são a passiva e a ativa, cujo processo é descrito nos itens a seguir.

### 3.2.1 Sistema passivo de eletro-osmose

A aplicação da eletro-osmose para secar paredes úmidas se baseia no princípio de que a parede, a umidade e o terreno podem constituir um sistema semelhante ao de uma pilha elétrica. Gratwick (1971) explica que uma pilha é constituída por dois materiais sólidos (eletrodos) que possuem potenciais elétricos diferentes, colocados em um meio condutor líquido ou sólido granulado úmido (eletrólito). Quando se liga um fio condutor entre os dois eletrodos (que podem ser formados por dois metais ou por um metal e uma haste de carbono) se obtém um circuito e aparece uma corrente elétrica. Esta corrente permanecerá até que as modificações químicas causem uma extinção das diferenças de potenciais.

No caso dos sistemas de eletro-osmose, o funcionamento é garantido pela diferença de potencial elétrico que existe entre o solo e a parede, quando esta absorve água. Segundo Polisseni (1986), para que se possa aplicar uma tensão entre a parede e o solo, é preciso encaixar em uma abertura feita na parede, uma haste de zinco, alumínio ou magnésio, que deverá ser enterrada no solo. Aparece, então, uma corrente elétrica no circuito, que será suficiente para eliminar a umidade. No instante em que a umidade é eliminada, cessa a corrente elétrica. Um exemplo de processo eletro-osmótico passivo, é utilizado na Espanha, é relatado por Ulsamer (1995), e consiste em se embutir tijolos ocos dentro da parede, chamados de **Raem**, de seção triangular, conforme figura 13.



Figura 13: condutores isolados entre os tijolos e a terra (ULSAMER, 1995). *Dispositivo de contacto*: tijolo vasado com lâmina de cobre no seu interior. *Toma de tierra*: grelha de cobre

Na face que vai para o exterior há uma grelha (ralo) de cobre e na face interior uma lâmina, também de cobre. A grelha e a lâmina são unidas entre si por dois pares de fios de cobre, de maneira que dois fios percorrem por dentro o tijolo oco, e os outros dois pela sua face exterior, ficando estes embutidos na parede. Através destes fios se formam espontaneamente correntes elétricas, devido à diferença de umidade entre a grelha exterior e a lâmina interior que está em contato direto com a obra. A corrente assim formada terá uma ação eletro-osmótica, que inverte o sentido da ascensão capilar da água pelo interior da parede, fazendo com que a mesma se dirija para as partes ocas dos tijolos, em cujo interior se evaporará.

De acordo com Merino (1995), existe também o sistema Ernst-Traber, que nem sempre dá bom resultado, pois depende da natureza do terreno e da água presente. Este sistema consiste na eliminação e inversão do potencial eletro-osmótico que aparece entre a parede e o terreno. Os ânodos (-) são introduzidos na parede enquanto os cátodos (+) são colocados no terreno. Ambos eletrodos devem ser de titânio, para evitar o rápido desgaste. Na parede executam-se furos com diâmetros de 5 a 10mm, onde se introduzem barras metálicas e os produtos da forese. Estas barras são conectadas entre si mediante cabos de cobre que são ligados com a terra por meio de uma ponta cravada no terreno. Este sistema pode ser ativo, mediante o uso da corrente elétrica da rede interior do edifício, ou passivo, que aproveita o potencial elétrico natural do terreno, parede e eletrodos.

### 3.2.2 Sistema ativo de eletro-osmose

Este sistema funciona com a introdução de uma corrente elétrica ao circuito, acentuando-se o fenômeno. O método passa então a se chamar de eletro-osmose-forese. Segundo Arendt (1995), neste caso são colocados ânodos especiais na alvenaria (ânodos positivos) em espaçamentos determinados, ligados à terra, ou a outros sistemas de aterramento, sendo então conectados a um gerador de corrente contínua com uma diferença de potencial. Na Alemanha o limite de voltagem aplicado nestes casos é de 24 volts. Ainda de acordo com Arendt (1995), em casos de contaminação da parede por cloreto de sódio, os íons cloreto, sob ação do campo elétrico, migram para o ânodo e gotejam da parede em forma de hidratos de cloro. Os íons de sódio e outros cátions migram para o cátodo e combinam-se com o CO<sub>2</sub> do ar, formando carbonatos. Íons nitrato comportam-se de maneira semelhante. A descontaminação de sulfatos solúveis ocorre principalmente pela migração dos cátions para o sistema de aterramento.

#### 3.2.2.1 Sistema eletro-osmótico ativo KERASAN

O presente estudo resgata dados da utilização de um sistema de dessalinização de paredes, denominado KERASAN, que oferece novas possibilidades de redução dos teores de sais, e que se mostra especialmente atrativo para a preservação de monumentos antigos e restauração de afrescos ou construções de importância histórico-cultural. Seu funcionamento ocorre da

seguinte forma: os sais se encontram dissolvidos na água capilar da alvenaria úmida formando íons positivos e negativos. O sistema prevê a implantação de um circuito elétrico, no qual é aplicada uma grande diferença de potencial. Dois eletrodos são instalados na alvenaria úmida e são supridos com corrente contínua formando um campo elétrico. A aplicação do sistema eletro-físico, juntamente com o umedecimento da parede, age dissociando os sais e atraindo parte deles para a região do ânodo, que está preso na parede. O restante dos sais migra para a região do cátodo, reagindo com o CO<sub>2</sub> do ar, formando carbonatos<sup>2</sup>.

Os íons positivos dos sais (cátions) são movidos para o eletrodo negativo (cátodo (-)) e os íons negativos dos sais (ânions) são movidos para o eletrodo positivo (ânodo (+)) que está preso na parede. O sistema KERASAN dispõe ainda de um dispositivo de controle (figura 14) que supre os eletrodos com corrente contínua e ajusta a voltagem e a corrente, otimizando o processo de dessalinização.

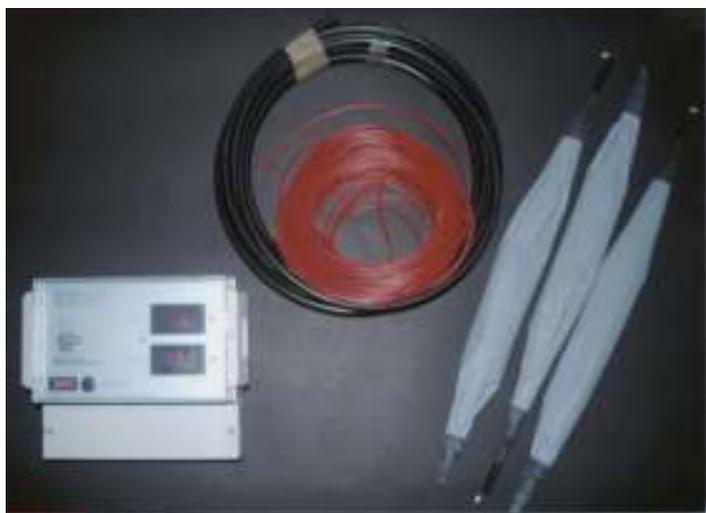


Figura 14: dispositivo de controle, eletrodos coletores (ânodos) e o eletrodo negativo-cabo preto (RUARO, 1997)

De acordo com Ruaro et al. (1997), o fabricante KERASAN descreve o funcionamento dos eletrodos como segue:

O eletrodo positivo do sistema Kerasan patenteado tem formato cilíndrico, com um diâmetro de cerca de 34mm. Ele consiste de um núcleo plástico eletricamente condutivo que está envolvido por uma membrana semipermeável. Os ânions nocivos migram para dentro do eletrodo coletor de sais, onde a membrana especial impede a

---

<sup>2</sup> RUARO, Paulo. Patologia em alvenarias de edificações históricas: método de dessalinização por eletro-osmose ativa. 1997. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Trabalho não publicado.

migração posterior dos sais. Os sais migrados são envolvidos e quimicamente neutralizados dentro do eletrodo. Um eletrodo pode absorver até 0,5 kg de sais destrutivos. A distância entre os eletrodos depende da concentração de sais na alvenaria, sendo distância média de 50cm. Os eletrodos são instalados na área de maior concentração de sais na parede. O orifício perfurado na parede tem um diâmetro de 35mm e 40cm de profundidade. Quando o eletrodo estiver saturado de sais tem de ser substituído.

O fabricante salienta que a necessidade da troca dos eletrodos é percebida pela redução gradativa das leituras em miliamperes. Esta redução também pode indicar o saneamento da parede, o que pode ser verificado através de ensaios químicos. Já o eletrodo negativo:

[...] consiste de um cabo metálico revestido com um plástico condutor que permite a passagem de corrente e ao mesmo tempo protege-o da deterioração pela ação dos sais. Os cátions migram para a região do eletrodo negativo e formam carbonatos, que fecham os poros capilares da parede, impedindo a ascensão da água.

O prazo dado pelo fabricante KERASAN para que a concentração de sais da alvenaria possa ser reduzida para um teor inofensivo é de 3 a 12 meses, dependendo do nível de concentração de sais e da umidade da parede. Se a quantidade de água na parede, for suficientemente elevada, o processo de dessalinização pode ocorrer rapidamente. O processo de dessalinização é considerado como terminado quando a concentração de sais decrescer para os seguintes valores (em porcentagem da massa original encontrada na parede antes da aplicação da tecnologia):

- a) Cloretos : 0,10 %;
- b) Nitratos : 0,15 %;
- c) Sulfatos : 0,80 %.

### 3.3 EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO (RESGATE DE DADOS DE RUARO - 1997)<sup>3</sup>

Resgata-se aqui um estudo feito por Ruaro (1997) no laboratório do NORIE/LEME junto à UFRGS, no ano de 1997, sobre uma parede que sofreu salinização, e onde posteriormente foi

---

<sup>3</sup> RUARO, Paulo. Patologia em alvenarias de edificações históricas: método de dessalinização por eletro-osmose ativa. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre: UFRGS, 1997. Trabalho não publicado.

aplicado o sistema eletro-osmótico ativo Kerasan com o intuito de verificar a eficácia do método e comparar seus resultados com outros métodos de dessalinização, com é o caso do sistema de revestimento de recuperação.

Foram realizadas análises quantitativas dos sais, antes e depois da aplicação do sistema, a fim de se avaliar o desempenho da técnica de dessalinização aplicada. Descreve-se a seguir a forma como o autor elaborou o seu experimento e os resultados obtidos.

### 3.3.1 Construção da parede

Foi erguida uma parede de alvenaria revestida com argamassa, com espessura de 50cm (por ser esta uma espessura comum em paredes de edificações históricas, e, também, em função do comprimento do eletrodo utilizado no sistema Kerasan, que é de aproximadamente 40cm). Todos os traços de argamassa de assentamento, emboço e argamassa de revestimento foram confeccionados com cal e areia. A parede foi construída dentro de uma fôrma metálica, dentro da qual havia uma solução de sais para a contaminação da parede. Internamente à fôrma havia uma lona plástica.

### 3.3.2 Solução de sais

A parede foi contaminada pela colocação de uma solução de sais que foi estimulada a migrar para dentro do material por ascensão capilar. Estes sais em média se apresentam em maior concentração na água do mar, e segundo o autor, foi utilizada uma concentração três vezes maior que a concentração especificada pela norma ASTM D1141-90, resultando nos valores de 7,359% de NaCl, 1,560% de MgCl<sub>2</sub>, 1,227% de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,348% de CaCl<sub>2</sub> e 0,2085% de KCl.

Desta maneira acelerou-se a contaminação da parede, simulando-se os comportamentos das faces interna e externa de uma edificação exposta ao sol. Após a confecção foi utilizado um quadro de lâmpadas em uma das faces da parede para acelerar a evaporação da umidade de construção e estimular a umidade ascendente.

### 3.3.3 Retirada de amostras para os ensaios de salinidade

Após dois meses de aplicação da solução de sais, foi feita a retirada de corpos de amostras da parede para a verificação da contaminação. O autor obteve dois perfis de corpos-de-prova, um na face da parede aquecida pelo quadro de lâmpadas, e o outro na face oposta.

### 3.3.4 Aplicação do sistema eletro-osmótico ativo Kerasan

Anterior à aplicação do sistema foi retirado o reboco deteriorado, com a raspagem das juntas de assentamento até aproximadamente 3cm de profundidade, eliminando-se parte dos sais e retirando-se o reboco deteriorado. O sistema de dessalinização foi aplicado por três meses na parede.

A aplicação dos ânodos do sistema foi feita na face aquecida pelo quadro de lâmpadas em duas linhas horizontais conforme mostra a figura 15, situadas a 35 e 65cm de altura, entre os pontos das amostras anteriormente retiradas. Na mesma altura, no lado oposto, foram também colocados ânodos entre os pontos onde anteriormente foram retiradas as amostras.



Figura 15: face da parede com as duas linhas de eletrodos e à direita o perfil vertical de furos devido à retirada de amostras contaminadas (RUARO, 1997)

A aplicação do cátodo do sistema foi feita no lado oposto da parede, a 10cm de altura através do embutimento de uma haste em um rasgo horizontal feito na parede, conforme mostra a figura 16. A fenda foi preenchida com argamassa.



Figura 16: Face da parede com o cátodo já instalado no corte da alvenaria com o revestimento já recomposto (RUARO, 1997)

Após a instalação dos eletrodos, os mesmos foram conectados a um dispositivo de controle, que supria os mesmos com uma corrente contínua, ajustando a voltagem e corrente, para otimizar o processo de dessalinização. O dispositivo de controle recebeu fornecimento de energia em 220 volts. A parede recebeu, também, a aspersão freqüente de água em toda sua extensão (duas vezes ao dia), principalmente na face onde foram instalados os ânodos, melhorando o contato dos mesmos, conforme procedimento recomendado pelo fabricante.

Durante o processo de contaminação, o pesquisador constatou a formação de eflorescências na face na qual o painel de lâmpadas foi colocado. A parte superior da parede apresentou-se seca sem eflorescências. Este fenômeno se apresentou em formato curvo entre 30 e 75cm de altura em relação à superfície da solução salina e também numa faixa de 15cm imediatamente acima da solução.

O formato curvo do perfil, conforme se vê através da figura 17, pode ser explicado pela perda do calor pelas laterais do quadro de lâmpadas, resultando em temperaturas mais baixas nas laterais da face da parede e uma conseqüente ascensão capilar em maiores alturas. A figura 18 ilustra a face não aquecida da parede após a contaminação.



Figura 17: face da parede que foi aquecida pelo quadro de lâmpadas, e a formação de eflorescências em duas regiões distintas abaixo da linha seca e imediatamente superior a superfície da solução de contaminação (RUARO, 1997)



Figura 18: vista da face não aquecida, após a contaminação - pequena quantidade de eflorescência (RUARO, 1997)

Na face não aquecida, pôde-se observar apenas a formação de eflorescências mais acentuadas imediatamente superiores (aproximadamente 5cm) à superfície de solução, e mais dispersas até 50cm de altura (mapeamento). Posteriormente verificou-se também a presença de criptoflorescências pelo descolamento do reboco, conforme se vê na figura 19, com a queda

de placas, após o quadro de lâmpadas ter sido desligado. Conforme o autor, isto foi devido à hidratação e aumento de volume dos sais, causando expansão e descolamento do reboco.

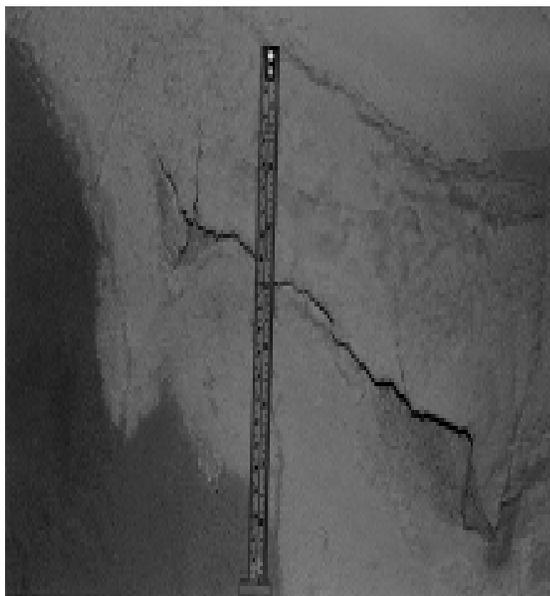


Figura 19: face aquecida onde houve o descolamento de camadas do reboco, juntamente com as eflorescências formadas sobre o mesmo (RUARO, 1997)

### 3.3.5 Análise dos resultados

As figuras 20, 21, 22, 23, 24 ilustram o comportamento da contaminação por cloretos antes e depois da aplicação da eletro-osmose na face da parede que sofreu o aquecimento pelo quadro de lâmpadas.

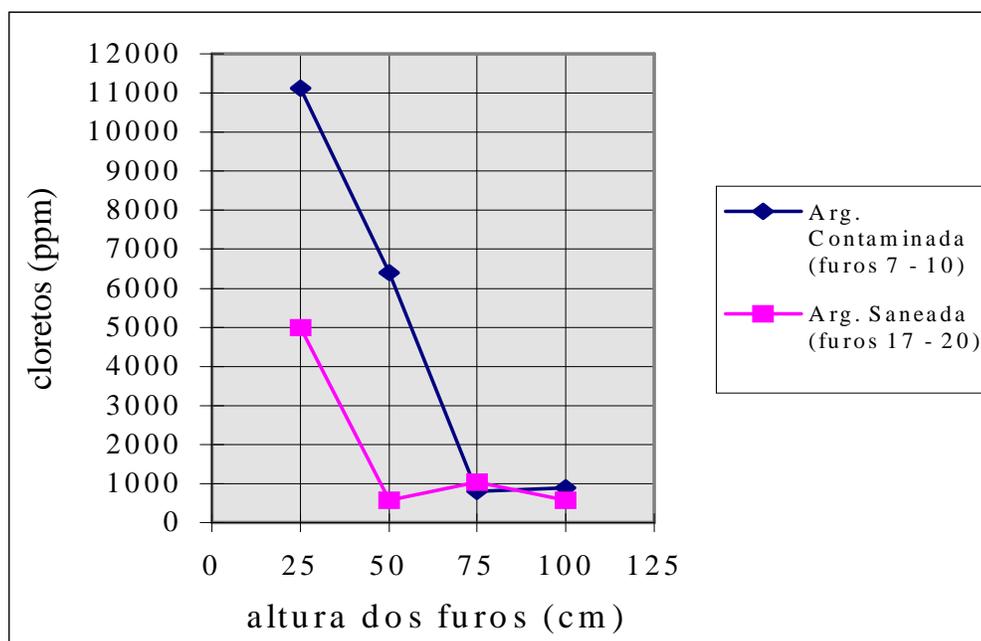


Figura 20: teor de cloretos nas argamassas contaminada e saneada, profundidade 0 a 2cm (argamassa sem eletrodos), na face aquecida, e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses (RUARO, 1997)

Na figura 20, face da parede aquecida pelas lâmpadas, pode-se observar a redução acentuada do teor de cloretos nas alturas 25 e 50cm (argamassa saneada) e 25 a 75cm (argamassa contaminada), região próxima à aplicação dos eletrodos (duas linhas aplicadas a 35 e 65cm de altura, respectivamente). Já na altura de 75cm pode-se observar um aumento na concentração do teor de cloretos na argamassa saneada, o que pode ser devido à posição de retirada dessas amostras coincidir com o caminho dos sais atraídos pelos eletrodos positivos (ânodos) presos na parede, provenientes da parte superior a esta região. Pode ser observada ainda a redução do teor de cloretos na altura 100cm.

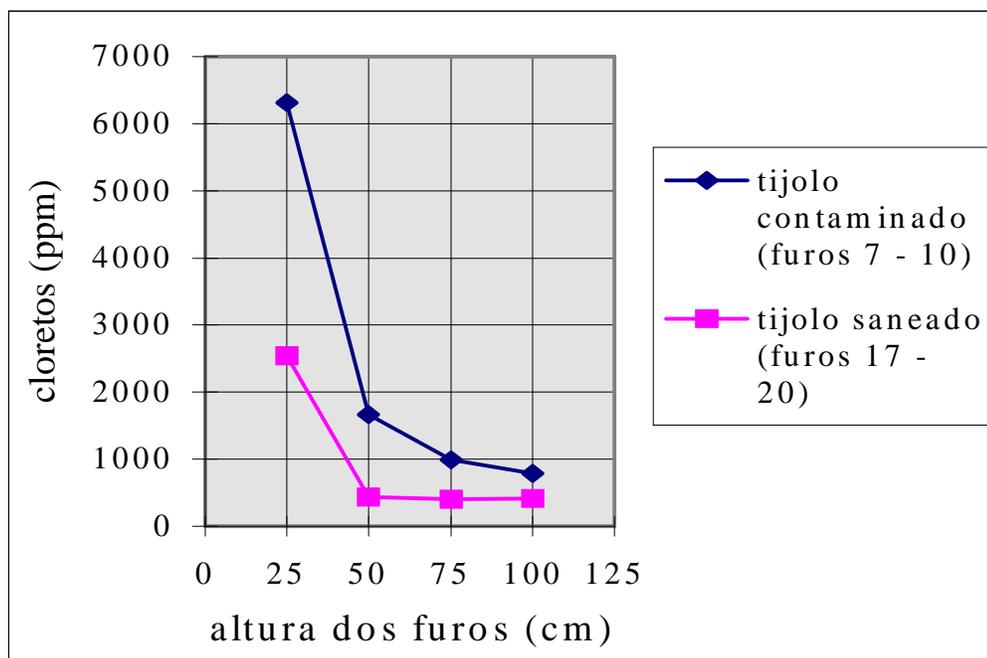


Figura 21: teor de cloretos em tijolos contaminados, profundidade 2 a 7cm (sem eletrodos) na face aquecida e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses (RUARO, 1997)

Na figura 21, face aquecida da parede, pode-se observar a redução do teor de cloretos na faixa entre 25 e 50cm (tijolos saneados) e em todas as alturas (tijolos contaminados), acentuando-se mais na faixa entre 25 e 50cm, região próxima à aplicação dos eletrodos (duas linhas aplicadas a 35 e 65cm de altura, respectivamente).

Constata-se ainda segundo Ruaro (1997), que em um mesmo perfil, para as figuras 20 e 21, a maior concentração de cloretos se encontra nos pontos mais baixos, devido à ascensão capilar, Ruaro (1997) constatou ainda que acima dos 60cm a parede apresentava-se superficialmente seca pela ação do painel de lâmpadas. Observa-se também pelas figuras acima que na maior parte dos pontos de retirada das amostras, a concentração de sais é mais acentuada na argamassa do que no tijolo, indicando ser pela sua porosidade, um meio mais propício à ascensão e contaminação pelos sais.

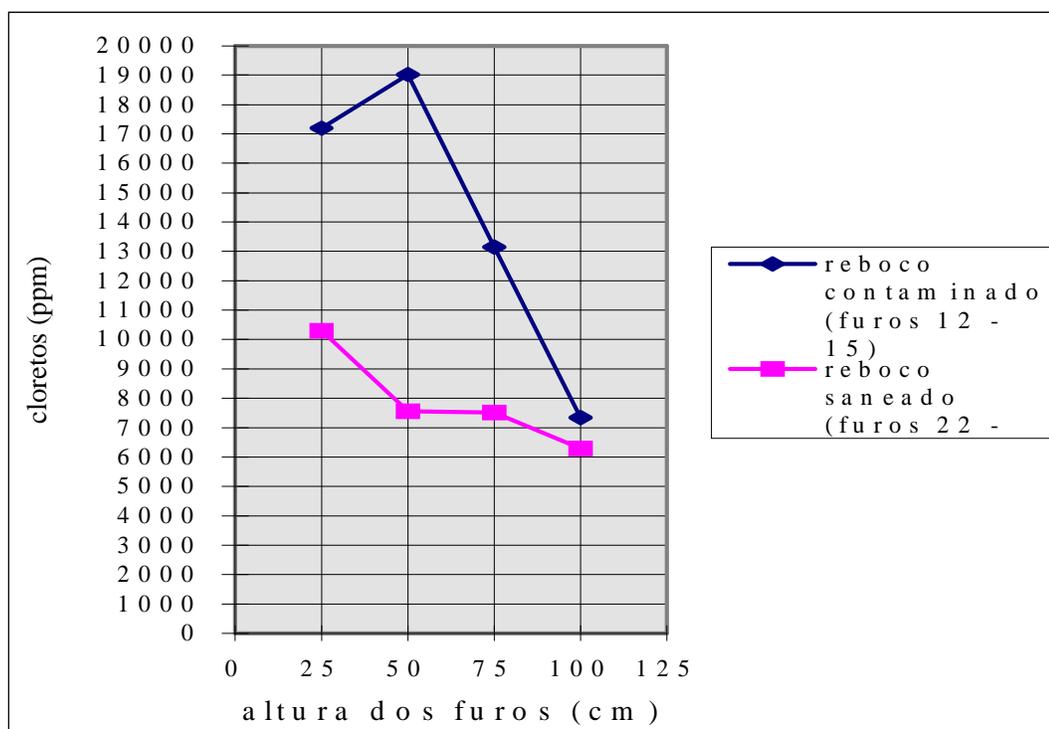


Figura 22: teor de cloretos na argamassa contaminada, profundidade 0 a 2cm (sem a aplicação dos eletrodos), na face não aquecida e após a aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses (RUARO, 1997)

A figura 22, face que não recebeu aquecimento direto do painel de lâmpadas (RUARO, 1997), onde o reboco não foi retirado, podemos observar que a contaminação mais elevada ocorreu na altura de 50cm, para o reboco contaminado, o que pode ser explicado pela solubilidade dos cloretos que nessas condições podem ascender mais do que no lado aquecido. Com a aplicação do sistema de dessalinização, ocorre uma redução acentuada dos teores de cloretos, maior na altura de 50cm e em seguida na altura de 25cm. Isto pode ser devido a que, na altura de 25cm ocorrer o fluxo de sais da parte inferior da parede para a superior por capilaridade. A amostra da altura a 50cm fica situada na região intermediária das duas linhas de eletrodos.

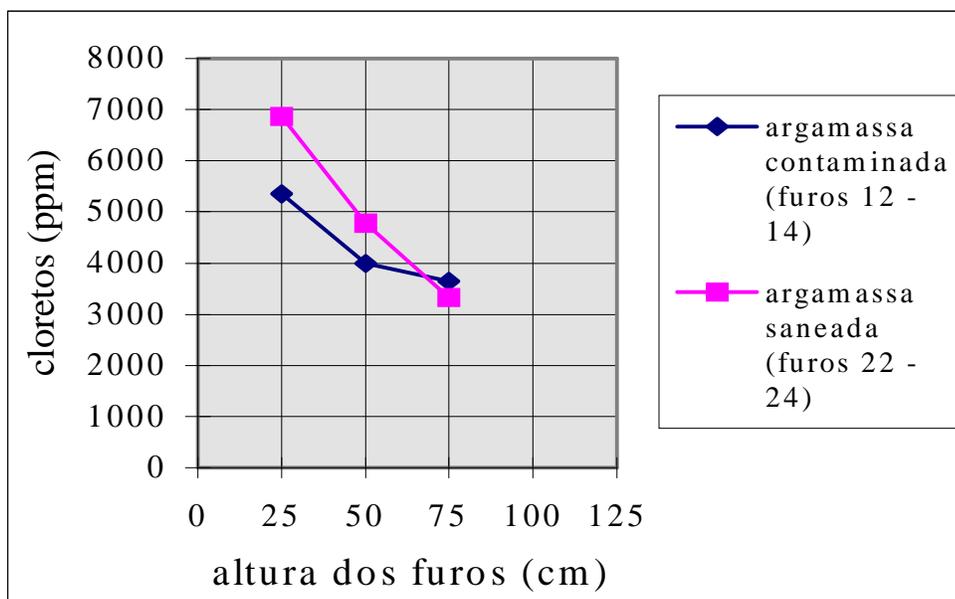


Figura 23: teor de cloretos na argamassa contaminada, profundidade - 2 a 7cm (sem a aplicação dos eletrodos), e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses (RUARO, 1997)

A figura 23, lado não aquecido da parede, na argamassa (prof. 2 a 7cm), observa-se comportamento inverso do reboco da figura 22, com aumento no teor de cloretos nas alturas 25 e 50cm na argamassa saneada.

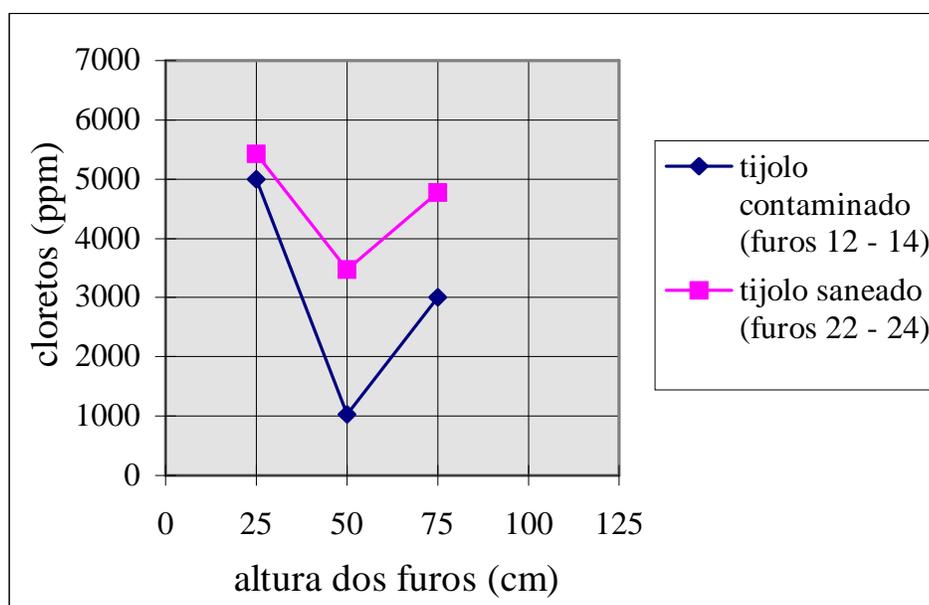


Figura 24: teor de cloretos em tijolos contaminados, profundidade de 2 a 7cm (sem a aplicação dos eletrodos), e após aplicação do sistema eletro-osmótico ativo por três meses (RUARO, 1997)

Na figura 24, face não aquecida da parede, constata-se o aumento dos teores dos sais em todas as alturas da alvenaria dos tijolos saneados, indicando a mesma tendência observada na argamassa da figura 23. Com o fluxo de sais em direção aos eletrodos positivos, os tijolos e a argamassa que estão situados na profundidade de 2 a 7cm da parede, inicialmente absorvem parte destes sais. Segundo Ruaro (1997), acredita-se que em um segundo momento estes teores teriam redução se o sistema continuasse a ficar ligado.

### 3.3.6 RESULTADOS OBTIDOS COM O EXPERIMENTO

Pode-se observar nos gráficos que houve uma redução acentuada do teor de cloreto na maioria das situações analisadas. Para a argamassa na face da parede aquecida, houve redução de 38% no teor de cloretos, enquanto que nos tijolos a redução foi de 60%. Na face oposta, a redução no teor de cloretos para o reboco (0 a 2cm de espessura), foi de 39%. Para a argamassa houve aumento de 13% e para o tijolo aumento de 100%. A redução média no teor de cloretos foi superior a 25%. Este valor está no mínimo esperado para 3 meses, já que o sistema empregado propõe o saneamento completo no prazo máximo de 12 meses. Considerando que o índice de cloretos deva ser inferior a 0,10% após o tratamento, e levando em conta que o experimento ocorreu em apenas três meses, no resultado global dos experimentos feitos, a redução foi de 34,15%, atingindo o índice proposto. Para a face aquecida da parede, a redução foi de 49,58%, valor bem acima do esperado, e para a face oposta, a redução foi de 18,73%, valor abaixo do esperado. No resultado geral chegou-se à redução de 34,15%, atingindo o índice proposto<sup>4</sup>.

## 3.4 SISTEMA KERASAN APLICADO NA FORTALEZA DE ANHATOMIRIM

O sistema eletro-físico KERASAN foi aplicado também em maio/1995 na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim, na cidade de Florianópolis/SC. Este projeto de pesquisa foi realizado

---

<sup>4</sup> RUARO, Paulo. Patologia em alvenarias de edificações históricas: método de dessalinização por eletro-osmose ativa. 1997. Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Trabalho não publicado.

com o apoio das universidades UFSC e UFRGS, dos institutos IPHAN/SC e IPHAN/RS, com a cooperação internacional do Governo da Alemanha, através do Instituto de Análise e Planejamento de Recuperação de Edifícios Históricos - IGS, sediado em Munique. No projeto inicial, os eletrodos deveriam ser aplicados por um período de um a dois anos no local. Durante este tempo, a parede escolhida para aplicação da tecnologia deveria ser molhada periodicamente, sem causar danos ao entorno imediato. Descreve-se, a seguir, os relatos feitos por Toner (1997) entre abril/1995 e abril/1997, referente à aplicação dos eletrodos na fortaleza.

### 3.4.1 Escolha da superfície teste

Em abril/1995 foi escolhida pela equipe a parede teste, na qual os eletrodos pudessem permanecer atuantes por um período longo, entre um e dois anos. Um dos fatores determinantes nesta escolha foi a necessidade do controle de acesso ao local, em função do monitoramento do processo de dessalinização, além do que a parede deveria ser molhada periodicamente.

### 3.4.2 Análise química das amostras antes do tratamento

Foram recolhidas amostras granuladas de tijolos e argamassa em duas alturas, em relação ao nível do piso interno, para análise da salinidade por laboratórios da Alemanha (Instituto IGS) e Áustria (empresa Kerasan), antes do tratamento de dessalinização. Os resultados mostraram uma salinização muito alta de cloretos e de nitratos em todas as provas, e contaminação mínima por sulfatos.

### 3.4.3 Colocação dos eletrodos

Segundo Nappi (2002) os eletrodos foram instalados no Quartel da Tropa da Fortaleza, no seu piso inferior, num total de 15 em duas alturas. Estes eletrodos funcionam como pólos positivos. A forma desalinhada de colocação dos eletrodos, conforme mostra a figura 25

deveu-se à presença de alvenaria de pedra preenchida com argamassa e tijolos, o que tornou bastante trabalhoso o processo.

Como os eletrodos não poderiam ser colocados nas pedras de granito da parede, teve que ser analisado os pontos de fuga, onde havia argamassa e tijolos por baixo do revestimento em meio à alvenaria de pedra. Os furos feitos com broca helicoidal de 35mm por 43cm de comprimento, trazida da Áustria, foram realizados na argamassa e tijolos com 40cm de profundidade, a uma altura média de 1,55m do piso interno, e distanciados aproximadamente de 50cm um do outro. Acima destes furos foram feitos outros com broca de 20mm de diâmetro por 30cm de comprimento, com inclinação de 45°, a uma altura média de 2,00m do piso interno, com a finalidade de facilitar a umidificação interna da parede (figura 26).

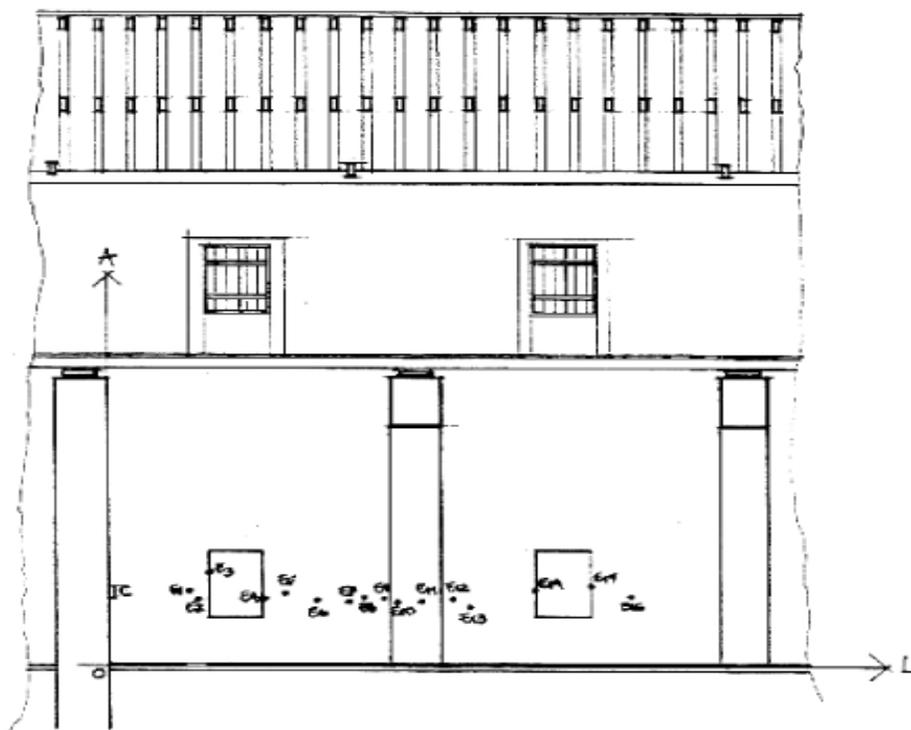


Figura 25: colocação dos eletrodos de forma desalinhada na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim (TONERA, 1997)

A figura 26 mostra o perfil da parede em Anhatomirim com a colocação do eletrodo.

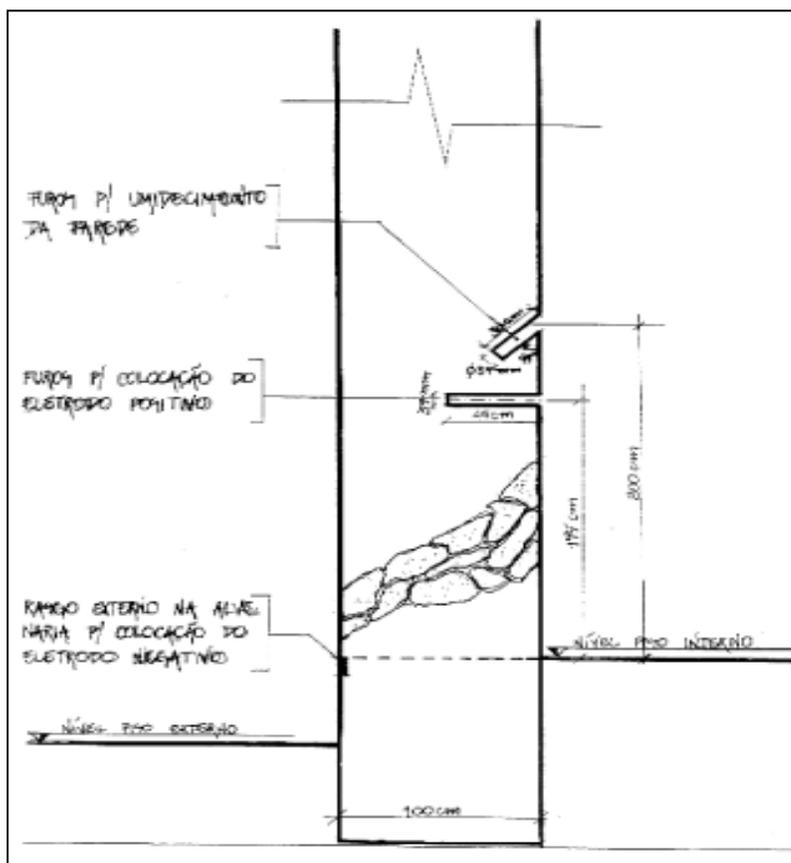


Figura 26: corte da parede em Anhatomirim, mostrando a instalação do eletrodo (TONERA, 1997)

Na face externa da parede foi executado um rasgo na alvenaria para colocação de uma canaleta no nível do piso interno, contendo o eletrodo negativo. Desta forma foi evitada a atração dos sais existentes no solo, e foi criada uma barreira contra a umidade ascendente. Esta canaleta foi embutida na ranhura e coberta com argamassa de cal e areia.

Para acelerar o processo de condução dos sais para os eletrodos, foi completamente molhada a parede até a altura de 2m, inclusive os furos superiores de 20mm, duas vezes por semana segundo Nappi (2002).

No lado interno da parede, foi colocada a parte ensacada dos eletrodos, que deve entrar justa nas perfurações, alojando-se totalmente dentro da parede. Ficam apenas aparentes os conectores das extremidades, onde os eletrodos são interligados entre si. Os eletrodos (figura 27) foram colocados em duas linhas de alturas na parede escolhida.



Figura 27: colocação do eletrodo na parede da Fortaleza de Anhatomirim (TONERA, 1997)

A central de controle reguladora de tensão/voltagem foi fixada na parede perpendicular à parede em estudo e a energia elétrica entrava na central com tensão de 220V e saía para os eletrodos com aproximadamente 20V. Um aterramento do sistema, com haste rígida de cobre foi realizado na área externa da Fortaleza.

#### 3.4.4 Leitura do sistema

A leitura do sistema na central de controle foi realizada inicialmente duas vezes por semana, antes e depois do umedecimento da parede. Segundo Tонера (1997), nem sempre se pode molhar a parede por problemas de abastecimento de água na Ilha de Anhatomirim. Houve pane também no sistema elétrico, que ficou desligado por cerca de 80 horas. Quinze meses depois foi identificado um vazamento do conteúdo de três eletrodos.

Outro incidente ocorreu no 18º mês dos trabalhos, quando o valor da leitura do sistema na central de controle estava muito baixo em função do sistema ter ficado desligado mais de uma semana por falta de energia elétrica.

### 3.4.5 Coleta de amostras

Seis meses após a aplicação dos eletrodos, foram coletadas amostras e novamente um ano depois nos mesmos pontos. Nesta ocasião o sistema foi desligado e os eletrodos saturados foram substituídos por novos.

### 3.4.6 Troca de eletrodos

O sistema funcionou muito bem até 3 meses após a aplicação. Oito meses após a sua instalação foi iniciado o processo de troca de eletrodos. Os eletrodos substituídos foram acondicionados em sacos plásticos, cada um, e levados a laboratórios da UFSC, UFRGS e KERASAN (fabricante) para serem examinados.

### 3.4.7 Análise dos resultados obtidos

Segundo Tonera (1997), verificou-se, através de análises laboratoriais, feitas na Áustria, que a umidade não era ascendente, e sim higroscópica, e que o tijolo vinha sendo destruído ao longo do tempo devido as altos valores de sais presentes. Os resultados da primeira retirada de provas após o tratamento apontaram um índice ainda muito alto de cloretos e nitratos na maioria das amostras, e pouco de sulfatos. No relatório de trabalho feito por Tonera (1997), os resultados da segunda coleta ainda não estavam finalizados, constando apenas os resultados de duas provas. Tonera (1997) descreve, porém, que um ano e 4 meses após o tratamento, as leituras decresceram e ficaram baixas indicando três possibilidades de situações:

- a) nova necessidade de troca de eletrodos por estarem saturados;
- b) problemas no fornecimento de energia elétrica ou oxidação nos contatos elétricos;
- c) eletrodos rompidos;
- d) possibilidade de que a área de teste teve seu processo de dessalinização concluído.

Diz Tonera (1997), que neste período, embora se tivesse uma apreciação visual favorável da área em teste e os resultados fossem promissores, ainda faltavam novas coletas para se comprovar a eficiência desta tecnologia.

Segundo Nappi (2002), o sistema de dessalinização por eletrodos comprovadamente reduziu os sais presentes nas alvenarias. Contudo, deve ser ressaltado que, devido a sua dimensão, o orifício necessário para sua instalação é significativo, e este tratamento deve ser precedido de barreiras para inibir a continuada contaminação por sais do subsolo.

Após o relato de dois experimentos com o sistema de dessalinização de paredes KERASAN, será abordado no próximo capítulo um estudo de caso, que permitiu a execução de ensaios de desempenho em laboratório com um experimento de argamassas de saneamento, bem como ensaios in loco de salinidade após a aplicação das argamassas na parede do porão da casa do Dr. Annes Dias.

## 4 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O prédio selecionado para o estudo de caso foi construído no início do século XX e está localizado na av. João Pessoa, na cidade de Porto Alegre/RS (figura 28). O mesmo pertenceu ao Dr. Annes Dias, e hoje pertence ao Exército Brasileiro. Sua escolha foi decorrente de um levantamento preliminar de manifestações patológicas em alguns prédios históricos de Porto Alegre/RS. No prédio em questão, foi identificada elevada umidade, com desagregação da argamassa, tanto externa, quanto internamente. Esta manifestação patológica ocorre principalmente na parede lateral esquerda de quem de frente olha a edificação. Esta parede tem 50cm de espessura.



Figura 28: fachada principal da casa localizada na av. João Pessoa

A casa localiza-se ao lado da Casa de Portugal, onde há um muro com cerca de 3,00 m de altura, sendo sua face superior revestida com pingadeira cerâmica, cujas peças estão rejuntadas com argamassa, sendo que algumas estão faltando. Esta argamassa apresentava-se solta e quebradiça (figura 29). O ponto mais crítico ficava no encontro com a parede da casa, onde a argamassa estava solta, proporcionando grande infiltração de água da chuva.



Figura 29: muro e parede lateral da casa junto à Casa de Portugal

Acredita-se que esta permanência da água junto ao substrato e argamassa de revestimento, subindo através dos seus capilares, era na ocasião a principal causa da degradação da lareira e da argamassa interna do 2º pavimento, onde estão as pinturas murais bastante danificadas devido ao descolamento do reboco (figura 30).



Figura 30: desagregação da argamassa interna à esquerda e à direita da lareira da casa respectivamente

O porão da casa apresenta um pé-direito de 1,90m e a degradação da argamassa de revestimento na face interna da parede que está junto ao muro era grande. Pôde-se notar a formação de uma faixa praticamente horizontal, com desagregação da argamassa por pulverulência a uma altura de 1,45m do nível do solo (figura 31), devido à constante permanência da água. Além disto, existiam manchas de umidade na face inferior da parede, junto ao piso, causadas por ascensão por capilaridade das águas do solo. Nas fundações

provavelmente não houve cuidado em se colocar alguma impermeabilização, ou esta já havia se degradado com o passar do tempo. A ventilação nesta área também era precária, além de se encontrar entulho depositado no chão, contribuindo para a permanência da umidade de condensação.



Figura 31: umidade na parede lateral do porão abaixo da lareira

Voltando-se para a face externa desta parede, na altura dos 2º e 3º pisos da casa, nota-se, hoje ainda, que o reboco apresenta fissuras do tipo pé-de-galinha, causadas pela retração do emboço. Esta retração pode ser devido ao uso de um traço com areia muito fina ou um traço rico em cimento, também contribuindo para a passagem da água da chuva.

Ainda ocorriam naquela época problemas de infiltração da água da chuva, devido às telhas coloniais assentadas sobre a platibanda, e que ainda se encontram lá. As gotas de chuva escorriam por sobre a superfície curva destas telhas até a extremidade, passando por baixo, indo depositar-se na face externa da parede, e pela ação das forças de absorção capilar eram succionadas por finos poros capilares da superfície para o interior do material, conforme mostra a figura 32.



Figura 32: platibanda lateral com manchas escuras e argamassa de revestimento com fissuras sob forma de pés-de-galinha

Desta forma, qualquer projeto que visasse sanear estas paredes, teria necessariamente que levar em conta a complexidade na avaliação das causas, para que diagnósticos corretos fossem dados, analisando-se também a eficiência das técnicas de saneamento.

Vê-se, do exposto, que mesmo aplicando métodos de recuperação das argamassas, várias outras medidas deveriam ser ainda tomadas, combatendo as diversas fontes de infiltração de água.

Durante o ano de 2002 foram feitas algumas benfeitorias na casa, como a colocação de uma algeroza sobre o muro da Casa de Portugal e algumas telhas foram recolocadas, diminuindo sensivelmente a umidade interna da parede lateral.

No final do ano de 2002 procedeu-se então à coleta de amostras da parede do porão e do primeiro piso com o intuito de se analisar a quantidade de umidade ainda presente nesta fachada lateral. Paralelamente iniciaram-se os trabalhos em laboratório para a elaboração de uma argamassa de saneamento, bem como sua aplicação em fevereiro de 2003 na parede do porão, analisando-se finalmente seu desempenho oito meses após, em outubro de 2003.

O fluxograma da figura 33 mostra os ensaios feitos tanto em laboratório, quanto *in loco*, bem como as diversas etapas que fizeram parte destes procedimentos.

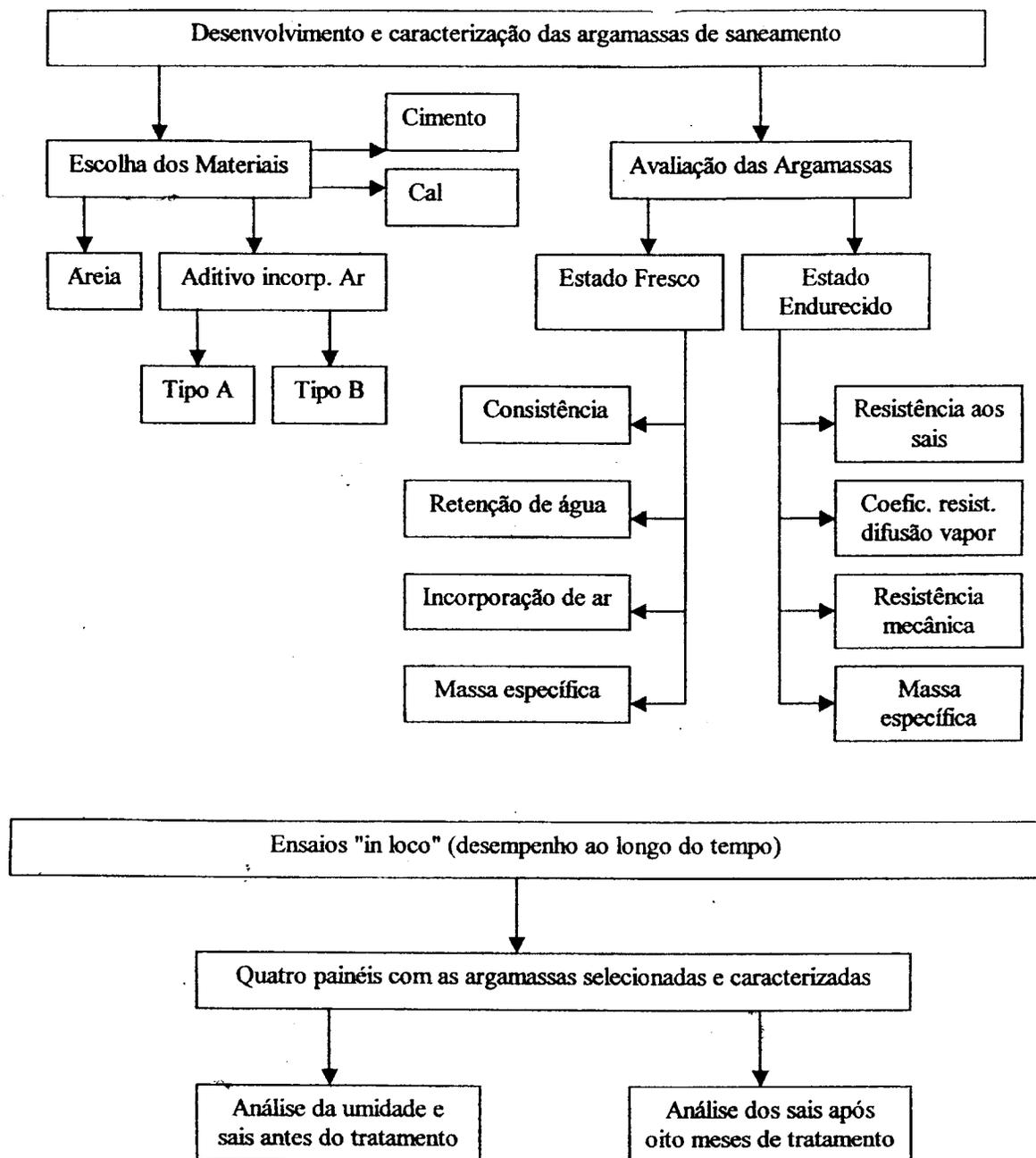


Figura 33: fluxograma do experimento com as argamassas de saneamento

## 5 ENSAIOS PRELIMINARES COM AS ARGAMASSAS

Foram produzidas em laboratório duas argamassas de saneamento, traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:pasta de cal:areia seca), em volume, e com 1% de incorporador de ar e 2% de hidrofugante sobre a massa de cimento, além de duas argamassas convencionais nas proporções 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:pasta de cal:areia seca), em volume, sem os aditivos, efetuando-se posteriormente ensaios de caracterização no estado fresco e no estado endurecido.

### 5.1 VARIÁVEIS ANALISADAS

As seguintes variáveis independentes foram utilizadas, com o intuito de se acompanhar o desempenho das argamassas ensaiadas:

- a) traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:pasta de cal:areia seca): estes traços, em volume, são os mais comuns em nosso estado e foram utilizados como argamassas de referência (testemunhos);
- b) traços 1:2:9 e 1:1:6 (cimento:pasta de cal:areia seca): com 1% de teor de aditivo incorporador de ar e 2% de teor de aditivo hidrofugante sobre a massa de cimento, propostas por Bianchin (1999) e denominadas de argamassas de saneamento.

Os seguintes ensaios foram efetuados para se analisar o desempenho das argamassas estudadas, e que passam a ser as variáveis dependentes.

- a) no estado fresco: consistência, retenção de água, teor de ar incorporado, e massa específica;
- b) no estado endurecido: resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência aos sais, resistência à difusão de vapor e massa específica.

## 5.2 MATERIAIS UTILIZADOS

### 5.2.1 Cimento

Utilizou-se o cimento Portland CP II F-32 composto com fíler calcáreo, cujas características químicas e físicas estão descritas no Anexo A. A escolha deste cimento CP II deve-se ao fato deste ser o cimento muito utilizado no Brasil, embora em nosso estado não seja. Salieta-se que a massa específica, obtida através do fabricante, é de  $3,11 \text{ kg/dm}^3$ , enquanto a massa unitária de  $1,10 \text{ kg/dm}^3$  foi obtida em laboratório, através dos procedimentos recomendados pela NBR 7251 (ABNT/1982).

### 5.2.2 Cal

A cal utilizada foi a CH II, cal hidratada extra. A caracterização foi obtida do fabricante, conforme apresentado no Anexo B. Sua massa específica é de  $2,60 \text{ kg/dm}^3$ . A massa unitária da pasta de cal é de  $1,44 \text{ kg/dm}^3$ , obtida através das prescrições da NBR 7251 (ABNT, 1982).

### 5.2.3 Agregado miúdo

Iniciou-se o planejamento do experimento, procurando obter uma areia com granulometria média conforme orientações da NBR 7217 (ABNT, 1987) e NBR 7211 (ABNT, 1983). Para tanto, teve-se que analisar a granulometria de areias encontradas no mercado.

Optou-se por analisar duas areias, uma de granulometria grossa e outra de granulometria fina, obtidas de um mesmo fornecedor, provenientes do Rio Guaíba. Estas areias foram secas ao ar livre e procedeu-se o seu peneiramento pelo conjunto de peneiras indicado pela NBR 7217 (ABNT, 1987), deixando-se de fora os grãos maiores, retidos na peneira de 4,8mm. Uma composição de 40% da areia de granulometria grossa e 60% da areia de granulometria fina permitiu que se obtivesse a areia com granulometria média. A caracterização dos agregados miúdos consta no Anexo B. Salieta-se ainda que a massa unitária foi de  $1,59 \text{ kg/dm}^3$  e o módulo de finura de  $2,28 \text{ kg/dm}^3$  NBR 7217 (ABNT, 1987).

## 5.2.4 Aditivos

### 5.2.4.1 Aditivo incorporador de ar

Além da areia analisada, teve-se que verificar inicialmente a incorporação de ar na argamassa de saneamento experimentada, para se chegar o mais próximo possível dos 25% indicado no Caderno de Recomendações Alemão – WTA 2-2-91 (1995).

Para se ter, portanto, alguns parâmetros da porcentagem de incorporação de ar, procederam-se alguns ensaios em laboratório nos traços 1:2:9 e 1:1:6. Utilizaram-se duas marcas de aditivo incorporador de ar, na proporção de 1% sobre a massa de cimento, e uma marca de hidrofugante, na proporção de 2% sobre a massa de cimento. Utilizaram-se estes valores, pois segundo ARENDT (1995), estes são os **teores ótimos**, o que foi confirmado por Bianchin (1999) em sua pesquisa com materiais e técnicas nacionais.

Inicialmente executaram-se três ensaios em laboratório, com o traço 1:2:9, acompanhando-se os resultados de incorporação de ar (ver resultados na página 114), bem como de retenção de água, uma vez que a WTA recomenda que este valor seja maior que 85%. No primeiro ensaio foi utilizada uma marca de aditivo, trocando-se a seguir para a segunda marca nos 2º e 3º ensaios.

Notou-se que houve um aumento de incorporação de ar com a utilização da segunda marca. Após 30 dias, foram produzidas, em laboratório, novas argamassas com os traços 1:2:9 (4º ensaio) e 1:1:6 (5º ensaio), com a segunda marca de aditivo incorporador de ar, obtendo-se então resultados semelhantes ao 2º e 3º ensaios e aumento da incorporação no 5º ensaio.

Optou-se, portanto, usar a segunda marca de aditivo incorporador de ar, que é isento de cloretos, composto por resinas sintéticas e surfactantes, que são elementos químicos que baixam a tensão superficial do líquido onde estão dissolvidos. Segundo dados do fabricante, é considerado o mais potente incorporador de ar para concretos. Sua massa específica é de 1,04 kg/dm<sup>3</sup>. Este aditivo foi utilizado por fornecer teores mais elevados de incorporação de ar nas argamassas produzidas em laboratório.

### 5.2.4 2 Aditivo hidrofugante

O aditivo hidrofugante utilizado foi o Estearato de Zinco, cuja fórmula química é  $Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$ . Sua massa específica é de  $1,09 \text{ kg/dm}^3$  e a massa unitária é de  $0,32 \text{ kg/dm}^3$ . Este aditivo é muito utilizado como matéria-prima da indústria de plásticos. Optou-se pelo aditivo à base de estearato, pois, embora apresente baixas propriedades hidrofugantes em baixas idades (28 dias), é mais durável quando comparado com os oleatos. Segundo Droll e Meier (199\_ apud POSSER, 2004) os aditivos à base de oleatos desenvolvem as propriedades de repelência à água muito rápido, mas seus efeitos também diminuem rapidamente, fazendo com que os sais presentes nas argamassas alcancem a superfície do revestimento rapidamente, produzindo danos no material.

## 5.3 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

### 5.3.1 Transformação dos traços de volume para massa

Os traços estudados (cimento : pasta de cal : areia seca) foram os de 1:2:9 e de 1:1:6 em volume, sendo necessária sempre a sua transformação para massa, uma vez que a porcentagem dos aditivos adotada é calculada sobre a massa do cimento, diminuindo assim a variabilidade na repetição dos traços para se fazer os diversos ensaios. A fórmula abaixo permite esta conversão:

$$1: \frac{V_{ca} \cdot \delta_{ca}}{\delta_{ci}} : \frac{V_a \cdot \delta_a}{\delta_{ci}} \quad (\text{fórmula 1})$$

onde:

$V_{ca}$  – proporção de cal em pasta, em volume aparente;

$V_a$  – proporção da areia seca, em volume aparente;

$\delta_{ca}$  – massa unitária da pasta de cal hidratada, em  $\text{kg/dm}^3$ ;

$\delta_a$  – massa unitária da areia seca, em  $\text{kg/dm}^3$ .

### 5.3.2 Mistura

Nos primeiros três experimentos (tabela 19), em que se analisou a incorporação de ar na argamassa de traço 1:2:9, em volume, com areia seca e com aditivos, transformado para massa, o processo de produção foi manual, em laboratório (figura 34).



Figura 34: argamassa feita manualmente em laboratório

Como a norma alemã WTA recomenda que a argamassa de saneamento não seja feita manualmente, procurou-se fazer os 4º e 5º experimentos nos traços 1:2:9 e 1:1:6 respectivamente, em volume, com areia seca e com aditivos (tabela 19), utilizando-se uma betoneira de tombo elétrica no laboratório. Não houve grande alteração nos resultados com a incorporação de ar no traço 1:2:9, sendo que a porcentagem aumentou significativamente no traço 1:1:6 em relação ao traço 1:2:9.

### 5.3.3 Produção da pasta de cal

A produção da pasta de cal utilizada nas argamassas seguiu as orientações de Bianchin (1999), e foi composta por 47% de água e 53% de cal em pó já hidratada, encontrada no comércio. Esta mistura ficou em repouso por um período de 3 a 4 dias, mexendo-se uma vez por dia. Optou-se pela cal já hidratada pela praticidade do experimento. Já Kanan (2000)

sugere que a pasta de cal seja feita com pedras de cal virgem, colocadas em um tanque com água quente. Esta mistura deve ser mexida com frequência e ficar coberta até esfriar por um período de 12 a 24 horas, quando então é peneirada e guardada com uma camada de água que a cobre durante um mínimo de três semanas. Segundo a mesma autora, o período ideal de maturação seria de três meses. Segundo Masuero (2000), a cal CH II tem maior teor de óxidos de cálcio, magnésio e impurezas e apresenta boa retentividade de água.

#### 5.3.4 Definição e verificação da consistência da argamassa

No primeiro experimento com cada um dos traços 1:2:9 e 1:1:6, com e sem aditivos, a consistência ficou a cargo do pedreiro que definiu, pela sua experiência, a quantidade de água necessária para uma adequada trabalhabilidade e manuseio. Estas quantidades foram seguidas para as demais produções dos traços, medindo-se a consistência de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Optou-se por seguir a consistência definida pelo pedreiro, uma vez que a intenção é a de se produzir uma argamassa de saneamento em obra e não em usina. A seqüência abaixo demonstra os passos seguidos para obtenção das argamassas:

- a) determinação da massa de cal em pó hidratada e da massa de água antes de serem misturados. Execução da pasta, deixando-se em repouso em recipiente plástico fechado por 3 a 4 dias, mexendo-se uma vez por dia;
- b) determinação das massas de cimento, pasta de cal, areia seca, do aditivo incorporador de ar, do aditivo hidrofugante e da água, já transformados os traços de volume para massa;
- c) colocação dos materiais na seguinte ordem, tanto na padiola quanto na betoneira:
- d) pasta de cal + cimento e mistura os materiais; adiciona a areia seca + água; adiciona o hidrofugante em pó e o restante da água com o aditivo incorporador de ar, misturando novamente (Bianchin, 1999).
- e) execução dos ensaios no estado fresco e moldagem dos corpos-de-prova.

#### 5.3.5 Moldagem e cura dos corpos-de-prova

Para se fazer os ensaios nas argamassas endurecidas, moldaram-se corpos-de-prova cilíndricos  $\varnothing=50\text{mm}$  e  $h=100\text{mm}$ , seguindo as orientações da NBR 7215 (ABNT, 1996),

conforme ilustra a figura 35, sendo que o armazenamento ocorreu ao ar livre, em ambiente de laboratório, por 24 horas, quando então foram desmoldados e colocados em câmara climatizada com umidade relativa de 65% e temperatura de  $23\pm 1^{\circ}\text{C}$ , por mais 27 dias.



Figura 35: confecção dos corpos-de-prova em laboratório

Já os corpos-de-prova  $\varnothing=20\text{mm}$  x  $h=100\text{mm}$  foram moldados e curados de acordo com o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), cujos procedimentos descreve-se a seguir.

- a) os corpos-de-prova de forma achatada são moldados sobre placas lisas, sem o uso de desmoldantes. Nesta pesquisa foram usados moldes de PVC, conforme figura 36;
- b) os corpos-de-prova para ensaios de argamassas curadas devem ser armazenados primeiramente por 7 dias em temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $\pm 95\%$ . Em seguida os corpos-de-prova são colocados em câmara climatizada com temperatura de  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $\pm 65\%$ ;
- c) a desforma ocorre no segundo dia após a moldagem.



Figura 36: corpos-de-prova  $\varnothing=20\text{mm}$  e  $h=100\text{mm}$  com os moldes em PVC

Os corpos-de-prova assim moldados foram submetidos aos ensaios discriminados na tabela 19.

Tabela 19: ensaios feitos com corpos-de-prova

<b>Ensaio</b>	<b>Traços de 28.01.03</b>	<b>Traços de 05.02.03</b>	<b>Traços de 25.02.03</b>	<b>Dimensões dos CPs (<math>\varnothing</math> x h em mm)</b>
Resistência aos sais	1:1:6S 1:2:9S			20 x 100
Difusão de vapor	1:1:6S 1:2:9S			20 x 100
Resistência à compressão	1:1:6S 1:2:9S	1:2:9S 1:2:9	1:1:6S 1:1:6	50 x 100
Resistência à tração	1:1:6S 1:2:9S	1:2:9S 1:2:9	1:1:6S 1:1:6	50 x 100
Massa específica	1:1:6S 1:2:9S	1:2:9S 1:2:9	1:1:6S 1:1:6	50 x 100

S – argamassa de saneamento

A idade dos CPs foi de 56 dias para todos os ensaios, com exceção do de compressão, onde os CPs tinham 63 dias. Esta idade dos CPs deveu-se a questões de planejamento que envolveram

pessoal e equipamentos disponíveis no laboratório da universidade, de maneira que os ensaios fossem possíveis de serem concretizados.

#### 5.4 MÉTODOS DE ENSAIO ADOTADOS PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DAS ARGAMASSAS DE SANEAMENTO

Os ensaios descritos no item 5.1.1 seguiram as prescrições de Normas Nacionais, Norma Alemã e do Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 (1995), conforme ilustra a tabela 20.

Tabela 20: prescrições seguidas para determinar as propriedades das argamassas

<b>Propriedades</b>	<b>Método utilizado</b>
Argamassa no estado fresco	
Consistência	NBR 13276 (ABNT, 1995)
Retenção de Água	NBR 13277 (ABNT, 1995)
Teor de ar Incorporado	NBR-NM 47:2002
Massa Específica	NBR 13277 (ABNT, 1995)
Argamassa no Estado Endurecido	
Resistência à Compressão	NBR 7215 (ABNT, 1996)
Resistência à Tração por Compressão Diametral	NBR 7222 (ABNT, 1994)
Resistência aos Sais	Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 (1995)
Resistência à Difusão de Vapor	DIN 52615 (DIN, 1987)
Massa Específica	NBR 9778 (ABNT, 1987)

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) diz que as argamassas de saneamento devem seguir as prescrições das Normas Alemãs DIN. Para o ensaio de Resistência aos Sais seguiram-se as prescrições do Caderno de Recomendações Alemão WTA

2-2-91 (1995) e para o ensaio de Difusão de Vapor a Norma Alemã DIN 52615 (DIN/1987). Já para os demais ensaios utilizaram-se as Normas Brasileiras vigentes por serem mais acessíveis.

#### 5.4.1 Ensaio em argamassas no estado fresco

##### 5.4.1.1 Consistência

A consistência não foi estabelecida previamente pelo espalhamento na mesa de consistência. Optou-se pela análise do pedreiro, como visto no item 5.6.1.2, tanto para o traço 1:2:9, quanto para o 1:1:6. Após esta análise, mediu-se então a consistência conforme a NBR 7215 (ABNT, 1996), cujos resultados constam na tabela 21.

Tabela 21: consistências das argamassas de saneamento

Traços	Espalhamento (mm)
1:2:9S	293,5
1:1:6S	288,5

S – argamassas de saneamento

Mediram-se apenas as consistências das argamassas de saneamento e não as das argamassas convencionais, pois a finalidade era comparar os valores das de saneamento com os propostos pela Norma Alemã WTA 2-2-91 (1995). Dos resultados obtidos, pode-se observar que a argamassa com maior teor de cal apresenta uma consistência maior. O Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 (1995) considera como valor básico para o espalhamento  $170 \pm 5$ mm. Pelos resultados apresentados na tabela 20, verifica-se que as consistências obtidas foram bem mais elevadas, devido à necessidade de se obter uma trabalhabilidade das argamassas compatível com a técnica de aplicação utilizada no Brasil, que se baseia na experiência do pedreiro.

Os resultados neste estudo serão comparados com os obtidos por Bianchin (1999) para os traços que obtiveram o melhor desempenho de argamassas de saneamento, que são os traços 1:2:9 e 1:1:6 com 1% de incorporador de ar e 2% de hidrofugante, cimento Portland CP IV-32 e cal dolomítica CH III. Também serão comparados os resultados com estudos feitos por Pagnussat et al. (2003), que utilizou o traço 1:2:9 com a mesma porcentagem de aditivos de Bianchin (1999), onde os tipos de cimento foram o cimento Portland branco estrutural nacional, Portland estrutural mexicano, pololânico CPIV-32, e cal dolomítica CH III. Desta forma vê-se que neste ensaio os resultados se assemelham aos traços de melhor desempenho estudados por Bianchin (1999) e por Pagnussat et al. (2003).

#### 5.4.1.2 Retenção de água

Os ensaios de retenção de água foram executados quando da primeira produção de argamassas de saneamento em laboratório, traço 1:2:9 com aditivos, e um mês depois, no quarto e quinto experimento em laboratório, com a produção dos traços 1:2:9 e 1:1:6 com aditivos seguindo as recomendações da NBR 13277(ABNT, 1995). A tabela 22 ilustra os resultados obtidos.

Tabela 22: resultados dos ensaios de retenção de água

Traço	Retenção de água (%)
1:2:9S	90,70
1:2:9S	92,18
1:1:6S	89,00

S – argamassa de saneamento

Conforme uma das características dos Rebocos de Recuperação - WTA, a retenção de água deve ter um índice superior a 85%, o que foi plenamente atendido nos ensaios. Os traços com maior teor de cal (1:2:9S), os valores foram superiores, comprovando o que Bianchin (1999) relata, que argamassas com maior teor de cales, principalmente cales em pasta, aumentam a retenção de água. Os resultados deste ensaio são compatíveis com os valores obtidos por Bianchin (1999) e por Pagnussat et al. (2003), este variando entre 94,18% e 99,43% para as argamassas com aditivos.

### 5.4.1.3 Incorporação de ar

A incorporação de ar foi medida nas cinco produções da argamassa de saneamento no laboratório, de 27.12.02 a 28.01.03 (tabela 23), através do aparelho para controle do ar incorporado, conforme figura 37. Os três primeiros ensaios foram feitos manualmente em laboratório conforme já citado no item 5.3.2, sendo que no 4º e 5º experimentos se utilizou uma betoneira de tombo elétrica.



Figura 37: aparelho que mede a incorporação de ar, conforme NBR-NM 47:2002

Tabela 23: teor de ar incorporado das argamassas de saneamento

<b>Traço 1.2:9s</b>	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	<b>Marca de aditivo</b>
1º ENSAIO	9,0	A
2º ENSAIO	12,0	B
3º ENSAIO	14,5	B
4º ENSAIO	13,0	B
<b>Traço 1:1:6s</b>	<b>Teor de ar incorporado (%)</b>	<b>Marca de aditivo</b>
5º ENSAIO	19,0	B

S – argamassa de saneamento

Como o desempenho do aditivo líquido B foi melhor que o do aditivo líquido A no traço 1:2:9, adotou-se este produto para confecção das argamassas de saneamento seguintes. Nota-se, na tabela 23, que os valores obtidos ficaram bem abaixo dos 25% indicados pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91.

Comparando-se com os estudos de Bianchin (1999), vê-se que o único traço das argamassas estudadas por esta autora, e que atingiu 25% de incorporação de ar, foi o com 1,2% de aditivo incorporador de ar e 0% de hidrofugante. Com 1% de incorporação de ar e 2% de hidrofugante para o traço 1:1:6 o resultado foi de 19% e para o traço 1:2:9 foi de 18%.

Também nos ensaios de Pagnussat et al. (2003), nenhuma argamassa atingiu este valor de 25%, sendo o maior valor de 18,51%, utilizando-se cimento branco mexicano.

#### 5.4.1.4 Massa específica

Para este ensaio, seguiram-se as orientações da NBR 13277 (ABNT,1995), obtendo os resultados que constam na tabela 24.

Tabela 24: massa específica das argamassas de saneamento

<b>Traço</b>	<b>Massa específica (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
1:2:9S	2,00
1:1:6S	1,78

S – argamassas de saneamento

O Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) não faz menção a valores para a massa específica no estado fresco. Verifica-se que estes valores são compatíveis com os obtidos na Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim e mostrados anteriormente no item 3.1.4.

## 5.4.2 Ensaio em argamassas no estado endurecido

### 5.4.2.1 Resistência aos sais

Este ensaio segue as orientações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), onde os corpos-de-prova, de dimensões 20 X 100mm, são colocados sobre uma solução de sais composta por cloreto, sulfato e nitrato. As medidas necessárias para se executar este ensaio estão descritas abaixo:

- a) faz-se uma solução de sais em 1 litro de água deionizada nas seguintes proporções:
- b) 35g de NaCl (cloreto de sódio) + 5g de NaSO<sub>4</sub> (sulfato de sódio) + 15g de NaNO<sub>3</sub> (nitrato de sódio);
- c) impermeabiliza-se a lateral dos corpos-de-prova;
- d) colocam-se os corpos-de-prova sobre 3 discos de papel-filtro dentro de um recipiente raso;
- e) a solução de sais deve ser colocada com cuidado junto à borda do recipiente até alcançar a face inferior dos corpos-de-prova, aproximadamente 5mm, segundo Bianchin (1999);
- f) cobre-se o conjunto com os corpos-de-prova, de acordo com a figura 38;
- g) acompanha-se o experimento durante 10 dias, acrescentando a solução de sais, de modo que a face inferior dos corpos-de-prova esteja sempre em contato com o líquido.



Figura 38: corpos-de-prova em contato com a solução de sais

Se após os 10 dias não aparecerem manchas de umidade na face superior dos corpos-de-prova, o reboco de recuperação é considerado aprovado. Embora as recomendações alemãs indiquem que o conjunto deva ficar em repouso em ambiente climatizado de 20°C e 65% de umidade relativa do ar, adaptou-se o experimento para 23°C e 70% de umidade relativa, uma vez que a câmara climatizada estava nestas condições com outros ensaios em andamento. A tabela 25 mostra os resultados obtidos após o ensaio.

Tabela 25: resultados do ensaio de resistência aos sais

<b>Traço de 28.01.03</b>	<b>Resistência aos sais (dias)</b>
1:1:6S	10
1:1:6S	6
1:1:6S	7
1:2:9S	8
1:2:9S	9
1:2:9S	10

S- argamassas de saneamento

Pelos resultados obtidos, nota-se que somente dois dos seis corpos-de-prova atingiram o valor recomendado pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), o que pode ser devido a falhas durante a elaboração dos CPs, permitindo que uns ficassem com mais vazios que outros, daí o motivo de somente dois CPs terem ficado resistentes. Nos ensaios feitos por Bianchin (1999) em laboratório, utilizando 1,3% de incorporador de ar e 2,6% de hidrofugante, para ambos os traços 1:1:6S e 1:2:9S foi atingida a resistência com 10 dias. Em estudos feitos por Pagnussat et al. (2003) já não foi atingida a resistência aos 10 dias.

#### 5.4.2.2 Coeficiente de resistência à difusão de vapor

Procura-se com este ensaio seguir as orientações da Norma Alemã DIN 52615 (DIN, 1987). Através da determinação do coeficiente de resistência à difusão de vapor, pode-se determinar a capacidade da argamassa de ser mais ou menos permeável ao vapor de água.

A prescrição da Norma Alemã para Rebocos de Recuperação WTA 2-2-91 (1995) é de que o Coeficiente seja menor que 12. O método de condução deste ensaio segue os seguintes passos:

- a) encaixam-se os corpos-de-prova de dimensões 20 X 100 mm na boca de frascos de vidro, os quais contêm uma solução que absorva umidade. Neste experimento foi colocada a sílica-gel;
- b) a umidade relativa dentro do frasco com a sílica-gel deve ficar entre 0 a 3%;
- c) vedam-se lateralmente os corpos-de-prova junto aos frascos, de forma que não passe o ar pelas laterais;
- d) pesa-se primeiramente o conjunto de frascos, colocando os mesmos em uma câmara com condições ambientais de 23°C de temperatura e umidade relativa entre 47 a 53% (*Wet-Cup-Method*);
- e) após um período de 24 horas pesa-se novamente o conjunto.

O princípio deste ensaio se baseia na formação de um fluxo de umidade de fora para dentro do frasco, uma vez que a umidade relativa externa é maior que a interna. Assim, ao se pesar após 24 horas o conjunto, verifica-se um aumento de massa, que se refere ao vapor de água condensada no interior do corpo-de-prova. A fórmula para se obter o Coeficiente de Difusão de Vapor ( $\mu$ ) é a seguinte:

$$\mu = \frac{\delta L \cdot 24.000(p_1 - p_2)}{WDD \cdot S} = \frac{24}{WDD \cdot S} \quad (\text{fórmula 2})$$

sendo,

$$WDD = \frac{24}{t_2 - t_1} \times \frac{m_2 - m_1}{A} \quad (\text{g} / \text{m}^2 \cdot \text{d}) \quad (\text{fórmula 3})$$

- a)  $\mu$  – coeficiente de resistência à difusão de vapor;
- b)  $m_2 - m_1$  – diferença de massa entre duas pesagens, em g;
- c)  $t_2 - t_1$  – diferença entre dois tempos, em horas;
- d)  $\delta L$  – permeabilidade da umidade, em kg/(m.h.Pa);

- e) WDD – taxa de fluxo da umidade, em  $\text{g}/(\text{m}^2.\text{d})$ ;
- f) P1 – massa do conjunto no instante t1, em g;
- g) P2 – massa do conjunto no instante t2, em g;
- h) A – área da seção do corpo de prova, em  $\text{m}^2$ ;
- i) S – espessura do corpo de prova, em m.

Embora o Caderno de Recomendações WTA 2-2-91 (1995) oriente para se fazer o experimento a uma umidade relativa de 53%, este ensaio (figura 39) foi realizado em câmara climatizada com 56 % de umidade relativa e a 23°C, pois havia outros ensaios em andamento. Colocou-se dentro dos frascos a sílica-gel, deixando-se uma distância de 1cm até a face inferior da argamassa, conforme recomendações da Norma Alemã DIN 52615 (1987). Os resultados obtidos neste ensaio constam na tabela 26.



Figura 39: corpos-de-prova encaixados em frascos de vidro contendo sílica-gel

Observando-se os resultados obtidos, todos os corpos-de-prova tiveram um coeficiente de resistência à difusão de vapor inferior a 12, conforme recomenda a Norma Alemã DIN 52615 (1987).

De acordo com Bianchin (1999), este ensaio é muito sensível às variações climáticas, como a temperatura e a umidade. Diz a autora, também, que este resultado da difusão de vapor também não é tão importante para o Brasil, uma vez que a difusão de vapor se processa muito mais através das aberturas do que pela parede. Os resultados obtidos em seus experimentos para 1% de incorporador de ar e 2% de hidrofugante, no traço 1:1:6, ficou em torno de 14 e no de 1:2:9 em torno de 16.

Tabela 26: resultados do ensaio de difusão de vapor

Traço	$\mu$ = coeficiente de resistência à difusão de vapor
1:1:6S	2,19
	3,65
	2,73
1:2:9S	4,71
	2,73
	2,73

S – argamassas de saneamento

Durante este experimento, ocorreram problemas técnicos na câmara climatizada, prejudicando o andamento do ensaio, pois não houve uma constância de 56% de umidade relativa no local, fazendo com que os resultados ficassem bem abaixo de 12 e tão diferentes dos obtidos por Bianchin (1999).

#### 5.4.2.3 Resistência Mecânica

Estes ensaios foram executados conforme orientações da NBR 7215 (ABNT, 1996) para a resistência à compressão (figuras 40 e 41) e NBR 7222 (ABNT, 1994) para resistência à tração por compressão diametral.



Figura 40: corpos-de-prova capeados para o ensaio de resistência à compressão



Figura 41: corpo-de-prova submetido à compressão

A tabela 27 mostra os resultados obtidos com diferentes traços. Pode-se observar pelos resultados obtidos que os traços atenderam as exigências do Caderno de Recomendações Alemão – W-T-A que estipula valores entre 1,5 e 5 MPa para a resistência à compressão. Percebe-se que, na média, a resistência à compressão foi menor nos traços com aditivos, tanto no 1:1:6S, quanto no 1:2:9S, conforme esperado.

A resistência à tração foi maior no traço 1:1:6 do que no traço 1:1:6S, conforme esperado. Já para o traço 1:2:9 a resistência à tração comportou-se diferente, ficando maior em média no traço 1:2:9S.

Nestes ensaios, houve uma influência maior do incorporador de ar diminuindo a resistência à compressão em cerca de 25 % para o traço 1:1:6S e em cerca de 9% para o traço 1:2:9S.

A resistência à tração no traço 1:1:6S também diminuiu em cerca de 24%, embora no traço 1:2:9S houve maior influência do hidrofugante, aumentando a resistência à tração em cerca de 13%. Portanto, a adição dos aditivos somente foi favorável para a resistência à tração no traço 1:2:9S.

Tabela 27: resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração por compressão diametral dos copos-de-prova

<b>Traços 28.01.03</b>	<b>Fc aos 63 dias MPa</b>	<b><math>\mu</math> (fc) Mpa</b>	<b>Ft aos 56 dias MPa</b>	<b><math>\mu</math> (ft) MPa</b>	<b>Relação fc63/ft56</b>
1:1:6	4,38	4,14	0,29	0,29	15,10
	3,90		0,29		13,45
	-		0,28		-
1:1:6S	2,85	3,10	0,20	0,22	14,25
	2,88		0,18		16,00
	-		0,23		-
	3,08		0,21		14,67
	3,57		0,25		14,28
	-		0,23		-
1:2:9	2,11	2,61	0,15	0,16	15,93
	2,95		0,14		15,64
	2,70		0,15		13,93
	2,42		0,21		10,43
	2,88		0,15		16,13
1:2:9S	2,67	2,37	0,17	0,18	15,71
	2,67		0,18		14,83
	-		0,18		-
	2,39		0,17		17,35
	2,19		0,12		17,58
	2,09		0,18		15,00
	2,19		0,20		12,10
	2,42		0,21		13,71

fc – resistência à compressão

ft – resistência à tração por compressão diametral

S – argamassa de saneamento

$\mu$  - média

Na figura 42 pode-se ver os corpos-de-prova rompidos por compressão. Já as figuras 43 e 44 ilustram a colocação de um dos CPs sobre o prato da prensa onde vai sofrer uma pressão de tração por compressão diametral e os CPs rompidos após este ensaio.



Figura 42: corpos-de-prova rompidos à compressão



Figura 43: corpo-de-prova submetido à tração por compressão diametral



Figura 44: corpos-de-prova rompidos à tração por compressão diametral

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, confirmam os obtidos por Bianchin (1999) para o traço 1:1:6S e por Pagnussat et al. (2003) para o traço 1:2:9S. Segundo Pagnussat et al. (2003), os poros deixados pelo aditivo incorporador de ar diminuem a compacidade das argamassas no estado endurecido, reduzindo a sua resistência mecânica. Nos estudos feitos por este autor, para o traço 1:2:9S com cimento CP IV, houve um aumento da resistência à compressão, mostrando uma maior influência do hidrofugante sobre o incorporador de ar.

Conforme Bianchin (1999), pode-se notar que há uma relação entre a resistência à compressão, o teor de ar incorporado e a porosidade. Esta relação é proporcional. À medida em que a quantidade de incorporador de ar aumenta, o teor de ar incorporado aumenta e a porosidade também é acrescida. Isto ocorre até uma quantidade de aditivo incorporador de ar aproximado de 1%. Com valores superiores, o teor de ar incorporado diminui, a resistência à compressão aumenta e a porosidade também diminui na mesma proporção.

Para Bianchin (1999), a resistência à tração por compressão diametral do traço 1:1:6S apresentou valores maiores do que as do traço 1:2:9 na ordem de 57%. Os resultados dos ensaios de tração confirmam os resultados obtidos por Bianchin (1999), por ser o traço 1:1:6S mais rico em cimento.

Observa-se também que nenhum dos traços atingiu o valor inferior a três unidades, quanto à relação entre as resistências à compressão e à tração sugerida pelo Caderno de Recomendações Alemão, embora os CPs deste ensaio não tenham tido a idade de 28 dias recomendada no Caderno, e sim 63 dias para a compressão e 56 dias para tração. Salienta-se também que estes CPs permaneceram em câmara climatizada até a execução dos ensaios. Estes valores acima de 3 unidades seguem resultados obtidos por Pagnussat et al. (2003). Já para Bianchin (1999), os traços 1:1:6S e 1:2:9S com teor de ar incorporado aproximadamente superior a 1% atingiram as três unidades.

Segundo ainda Bianchin (1999), este valor da relação entre as resistências tem o objetivo de garantir a estabilidade do sistema de revestimento na Alemanha, o qual ainda sofre a ação de congelamento, onde ocorrem tensões de tração elevadas nos revestimentos. Daí a necessidade da resistência à tração ter valores maiores, próximos aos valores da resistência à compressão. Para o nosso país este valor pode ser mais flexível, tendo em vista que somente em poucas regiões ocorre este fenômeno.

#### 5.4.2.4 Massa Específica

Estes ensaios seguiram as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 1987), e foram executados nos rebocos de recuperação que foram produzidos no quarto e quinto experimentos no dia 28.01.03. Seguindo as orientações da norma, deixaram-se os corpos-de-prova por 72 horas em estufa, registrando então as suas massas. Após saturação dos mesmos em água por mais 72 horas, completou-se o processo com o aquecimento destes corpos-de-prova até a água entrar em ebulição por mais 5 horas, como mostram as figuras 45 e 46. Após a saturação com fervura, procedeu-se à pesagem em balança hidrostática (figura 47). Neste experimento utilizou-se uma balança eletrônica na qual foi preso um recipiente imerso em água. Tarou-se a balança e se colocou o corpo-de-prova dentro deste recipiente, obtendo-se a sua massa saturada imersa em água. Os resultados deste ensaio constam na tabela 28.



Figura 45: corpos-de-prova imersos por 72 horas



Figura 46: corpos-de-prova sendo fervidos por 5 horas



Figura 47: pesagem do corpo-de-prova imerso em água

Tabela 28: massas específicas das argamassas em estudo

Traços de 28.01.03	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )	μ (kg/dm <sup>3</sup> )
1:1:6	2,14	2,13
1:1:6	2,13	
1;1:6	2,13	
1.1:6S	1,98	2,03
1:1:6S	1,98	
1:1:6S	1,98	
1:1:6S	2,07	
1:1:6S	2,07	
1:1:6S	2,07	
1:2:9	2,09	2,09
1:2:9	2,09	
1:2:9	2,10	
1:2:9S	2,03	2,04
1:2:9S	1,98	
1:2:9S	1,98	
1:2:9S	2,08	
1:2:9S	2,08	
1:2:9S	2,08	

S – argamassa de saneamento

μ – média

Vê-se pela tabela 28 que, na média, a massa específica diminuiu com a adição dos aditivos, tanto no traço 1:1:6S, quanto no traço 1:2:9S.

Uma das características dos Rebocos de Recuperação – WTA é de que a massa específica no estado endurecido deve ficar abaixo de  $1,4 \text{ kg/dm}^3$ . Segundo Bianchin (1995) este valor é recomendado para que indiretamente seja garantida a porosidade da argamassa e também limitada a quantidade de cimento. Pode-se observar que pelos resultados obtidos com os ensaios, todos ficaram acima deste valor, não atendendo à Norma Alemã.

Os valores obtidos por Bianchin (1999) ficaram em torno de  $1,5$  e  $1,9 \text{ kg/dm}^3$ . Segundo a autora, isto pode ser devido à maneira diferente de se moldar os CPs. A norma alemã DIN 18550 prescreve a moldagem em duas camadas com 10 golpes cada camada, enquanto a norma brasileira NBR 7215 orienta a moldagem com 20 golpes em cada uma das quatro camadas. Este valor de  $1,4 \text{ kg/dm}^3$  é recomendado para que seja garantida a porosidade da argamassa e limitada a quantidade de cimento.

#### 5.4.2.5 Conclusão

Do exposto nos ensaios descritos, verifica-se, portanto, que alguns corpos-de-prova atenderam totalmente ao desempenho recomendado pela Norma Alemã como na retenção de água e na resistência à difusão de vapor. A incorporação de ar, a resistência aos sais e a resistência à compressão foi atendida parcialmente, embora a massa específica ficasse em média acima do valor recomendado pela Norma Alemã. Tendo em vista os resultados obtidos, considerou-se satisfatório o desempenho das argamassas de saneamento produzidas manualmente com materiais nacionais em laboratório, de forma que se decidiu por sua aplicação na parede do porão da casa do Dr. Annes Dias.

O capítulo 6 abordará os ensaios de umidade feitos no porão e no primeiro piso da casa, bem como os resultados obtidos com os ensaios de salinidade na parede do porão, antes e após o tratamento com as argamassas de saneamento.

## 6 ENSAIOS *IN LOCO*: DESEMPENHO AO LONGO DO TEMPO

A partir dos resultados obtidos com os ensaios em laboratório nas argamassas de saneamento no estado fresco e no estado endurecido, foram aplicados na parede da casa, os dois traços com e sem aditivo incorporador de ar e com e sem aditivo hidrofugante, sob forma de painéis de 50 x 50cm, num total de quatro painéis, verificando-se após alguns meses o seu desempenho.

Para se analisar o grau de umidade e de salinidade existente na argamassa original e no substrato, e o desempenho das argamassas aplicadas na parede da casa do Dr. Annes Dias, os seguintes ensaios foram efetuados:

- a) teor de umidade nas paredes antes do tratamento;
- b) salinidade na parede do porão na argamassa original através dos ensaios de titulometria e fotometria;
- c) salinidade após o tratamento através de ensaios de titulometria e fotometria.

### 6.1 ENSAIOS DO TEOR DE UMIDADE

O grau de umidade das paredes pode ser identificado através de ensaios de laboratório. Nesta pesquisa, optou-se por identificar os teores de umidade natural na face interna da parede lateral do porão e do primeiro piso, em várias profundidades e alturas. Desta forma pode-se obter um gráfico do comportamento da umidade, determinando assim a sua procedência.

Selecionou-se a parede lateral esquerda em relação à fachada principal, que faz divisa com a Casa de Portugal, por ser um local crítico com grande umidade. Retiraram-se amostras do porão e do primeiro piso, compostas por reboco, emboço e tijolos. As retiradas no porão foram em alturas de 60cm, 120cm e 180cm de altura, e no primeiro andar a 30cm, 60cm e 90cm de altura em relação ao piso interno. As amostras foram extraídas com furadeira com broca helicoidal de 6 mm de diâmetro, sob forma de pó ou pequenos fragmentos de argamassa e tijolos, cuidando-se para não esquentar demais o equipamento, pois o que se queria, justamente, era não alterar a umidade dos fragmentos.

Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas com a seguinte nomenclatura: P1A, P1B e P1C para o porão e P2D, P2E e P2F para o primeiro piso, conforme se esclarece abaixo.

- a) P1, P2 – parede do porão e parede do primeiro piso, respectivamente;
- b) A, B e C – alturas de extração das amostras em relação ao nível do piso no porão a 60, 120 e 180cm, respectivamente;
- c) D, E e F – alturas de extração das amostras em relação ao nível do piso do primeiro andar a 30, 60 e 90cm, respectivamente;
- d) 1,2,3, etc. – nº do segmento da amostra em profundidade.

As amostras foram retiradas em quatro etapas distintas, para não atrapalhar as atividades diárias dos pracinhas da FEB, e também as de um jornal que é feito nas dependências da edificação. As três primeiras retiradas foram feitas no mês de nov/2002. Tendo em vista que os resultados dos experimentos mostraram que a parede estava com pouca umidade, optou-se por fazer uma nova retirada em out/2003, a fim de se ter um novo parâmetro da umidade. Primeiramente fizeram-se furos em três pontos no porão e no primeiro piso (figuras 48 e 49). Numa segunda etapa retiraram-se novamente amostras em três novas localizações no porão e no primeiro piso (figuras 50 e 51). Na terceira extração, retiraram-se amostras em três pontos do primeiro piso (figura 52). A quarta retirada de amostras do porão é mostrada na figura 53.

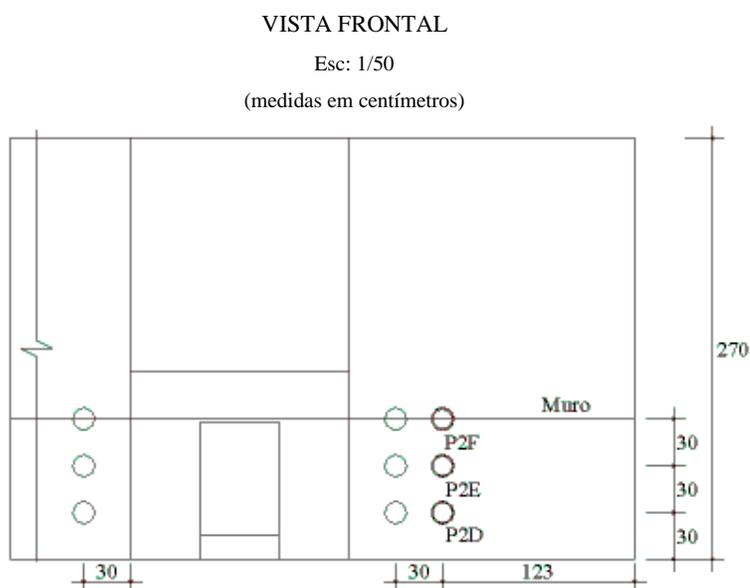


Figura 48: no 1º piso da casa – 1ª retirada de amostras

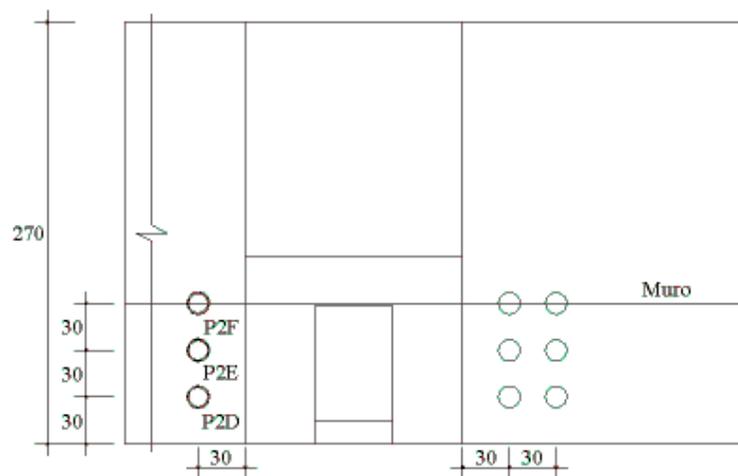


Figura 49: no 1º piso da casa – 2ª retirada de amostras

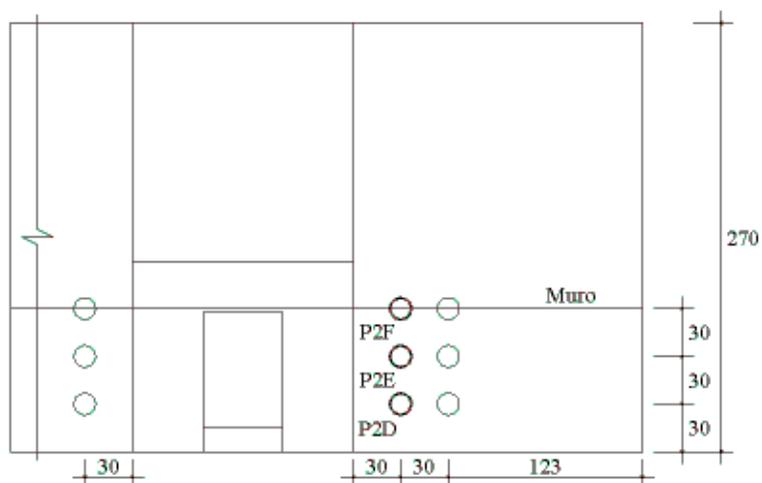


Figura 50: no 1º piso da casa – 3ª retirada de amostras

VISTA FRONTAL

Esc: 1/50

(medidas em centímetros)



Figura 51: no porão da casa – 1ª retirada de amostras

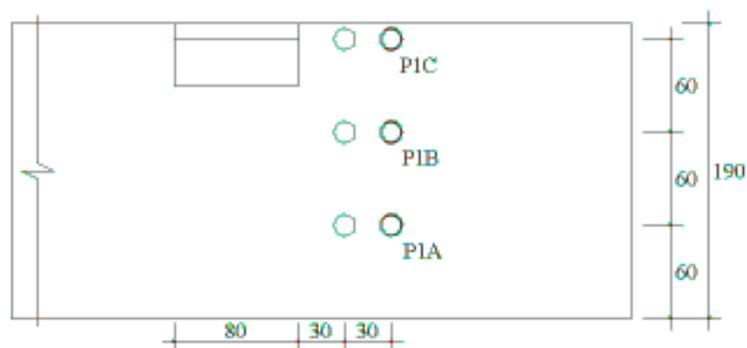


Figura 52: no porão da casa – 2ª retirada de amostras

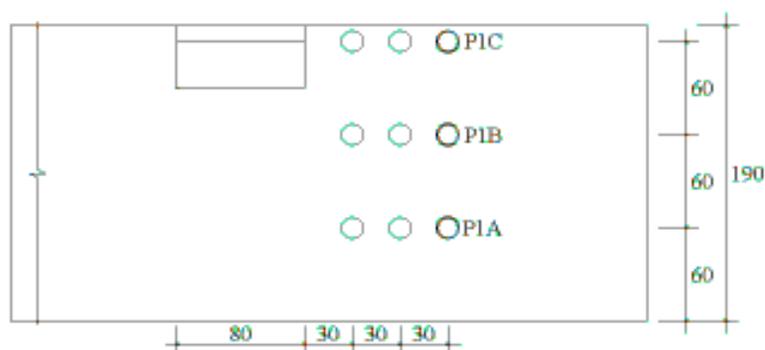


Figura 53: no porão da casa – 3ª retirada de amostras

A figura 54 destaca a localização dos furos efetuados no 1º piso da casa e no porão, respectivamente.



Figura 54: posição de retirada de amostras no 1º piso da casa, à esquerda e à direita da lareira respectivamente

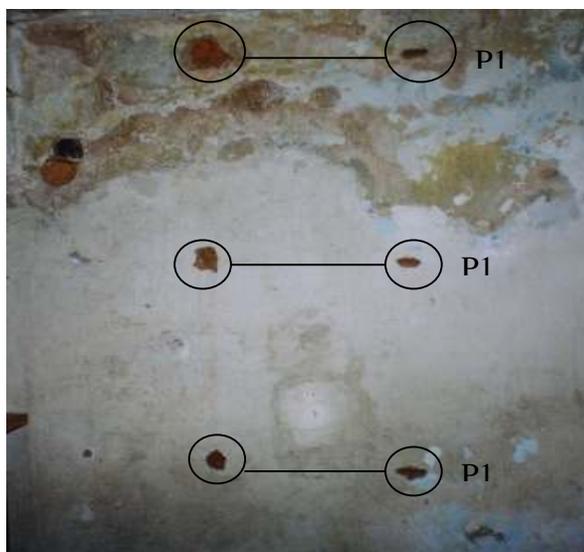


Figura 55: posição de retirada de amostras no porão da casa

Os resultados encontram-se na Tabela A-6 do Anexo C, podendo-se observar que, em algumas amostras, a umidade ficou próxima dos 10%. Nestes pontos a parede pode ser então considerada úmida. Cabe salientar que as amostras das três primeiras retiradas foram feitas no verão, pois foi concedida licença pelos usuários da casa para este período. Provavelmente nos meses de inverno, os resultados obtidos seriam outros, pois a umidade não evaporaria tão rapidamente da parede. As figuras 56 a 59 mostram a distribuição da umidade nas diversas profundidades da parede do primeiro piso e do porão através da retirada de amostras.

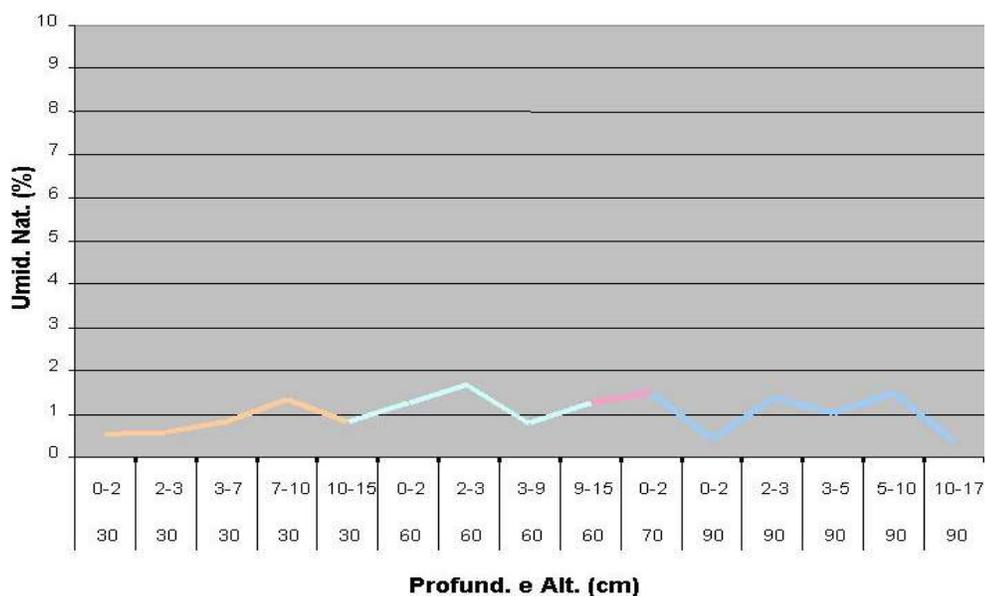


Figura 56: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 1ªs amostras retiradas no 1º piso da casa

Analisando-se o gráfico da figura 56, pode-se verificar que a média do teor de umidade das amostras retiradas na altura de 30cm é de 0,8%, aumentando para 1,23% na altura de 60cm, vindo a diminuir para 0,93% na altura de 90cm. Esta variação confirma o diagnóstico visual feito no capítulo 4, onde se descreve os problemas de infiltração de água vinda do encontro do muro de 3m de altura do vizinho com a casa, lembrando que se está analisando o primeiro piso. A uma altura de 60cm em relação ao piso do primeiro andar, coincide externamente a face superior do muro do vizinho, justificando a maior quantidade de umidade neste ponto. Ao mesmo tempo, esperava-se que, à medida que se aprofundasse a retirada de amostras em cada ponto, a umidade aumentasse, uma vez que a superfície da parede seca mais rápido (deve-se levar em conta que a parede tem 50cm de espessura e que se retiraram amostras até a profundidade de 17cm). Este gráfico não segue esta lógica, mostrando que para uma mesma altura de retirada de amostras, à medida que se aprofunda na parede, a umidade até diminui. Uma hipótese a que se chega, é que a retirada foi feita com broca helicoidal, e que a mesma aquece o material quando é retirado da parede, podendo influir no teor de umidade do mesmo. Quando se avança na profundidade, mesmo tomando cuidados para que a broca não aqueça, é necessário se fazer mais força na retirada das amostras, considerando-se, ainda, a qualidade dos tijolos maciços antigos.

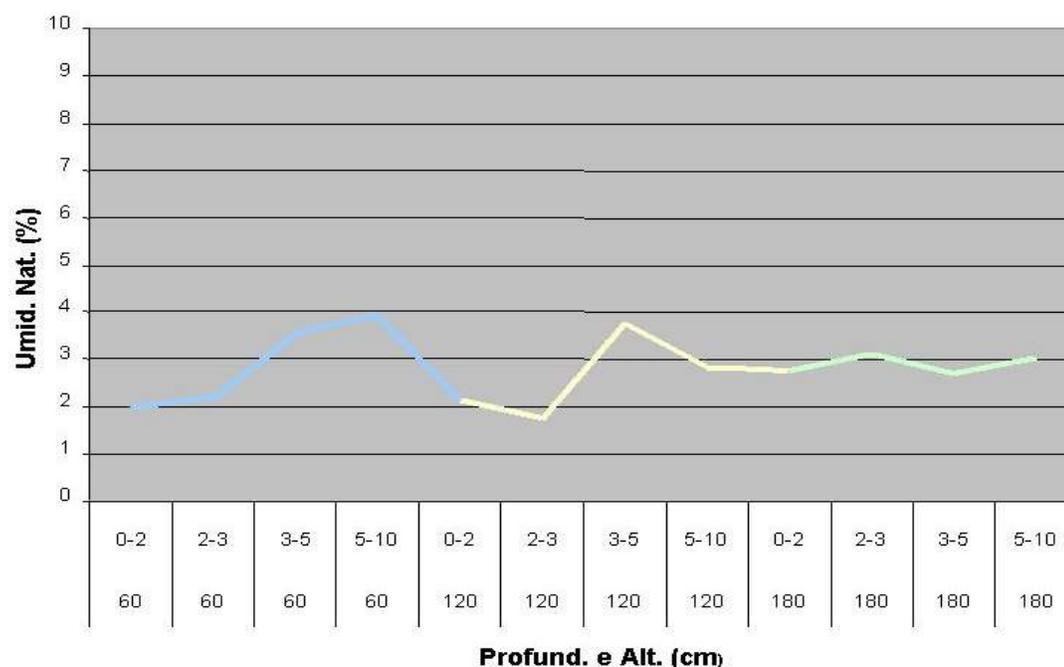


Figura 57: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 1ªs amostras retiradas do porão

No gráfico da figura 57, no porão, verifica-se que a média do teor de umidade das amostras, à altura de 60cm, ficou em torno de 2,90%, diminuindo para 2,63% na altura de 120cm, aumentando para 2,89% na altura de 180cm. O motivo de ser mais úmido na parte mais alta e mais baixa da parede confirma a origem da umidade descrita no capítulo 4, pois a parte mais alta desta parede está mais próxima da origem da infiltração de água junto ao muro do vizinho. Por falta também da impermeabilização junto ao solo, a parede do porão é mais úmida próxima ao piso. Na altura de 60cm as amostras ficam mais úmidas à medida que se aprofundam na parede, já não se comportando assim nas alturas de 120cm e 180cm. Novamente pode ter havido influência do aquecimento da broca helicoidal. Nota-se, também, que nas alturas de 60cm e 120cm a superfície seca mais rápido que o interior da parede do porão.

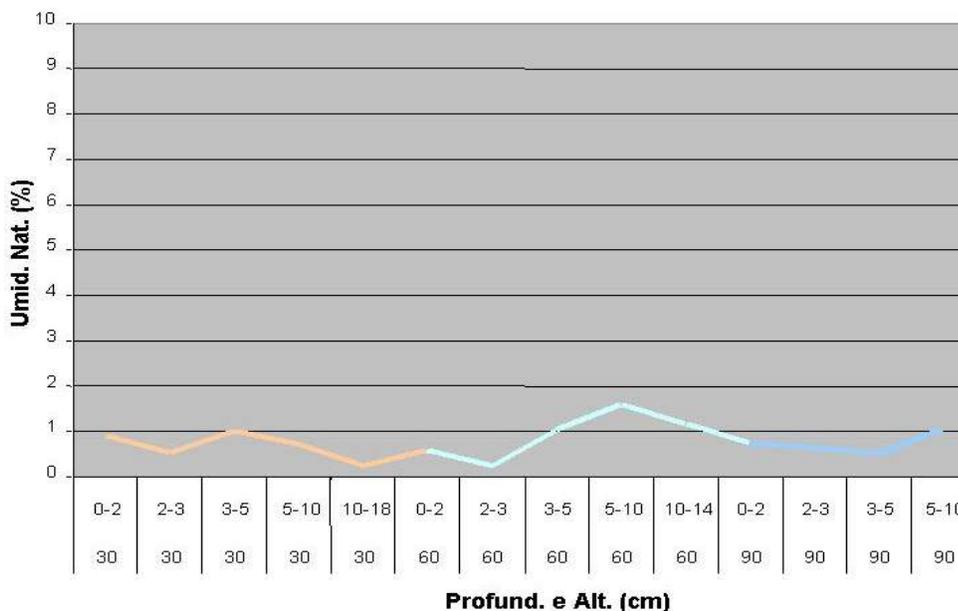


Figura 58: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades de coleta das 2ªs amostras retiradas no 1º piso da casa

Na figura 58 as médias passam de 6,67% aos 30cm de altura de retirada das amostras para 0,90% aos 60cm de altura, chegando em 0,73% aos 90cm de altura. O comportamento repete os resultados obtidos no gráfico da figura 56, sendo maior a média onde coincide externamente o encontro do muro do vizinho no ponto a 60cm do piso. Também não há um comportamento crescente da umidade, a medida em que se aprofundam as retiradas das amostras em cada ponto, a não ser na altura de 60cm, onde das 5 amostras retiradas, as 3 mais profundas apresentaram maior umidade (de 3 até 14cm de profundidade).

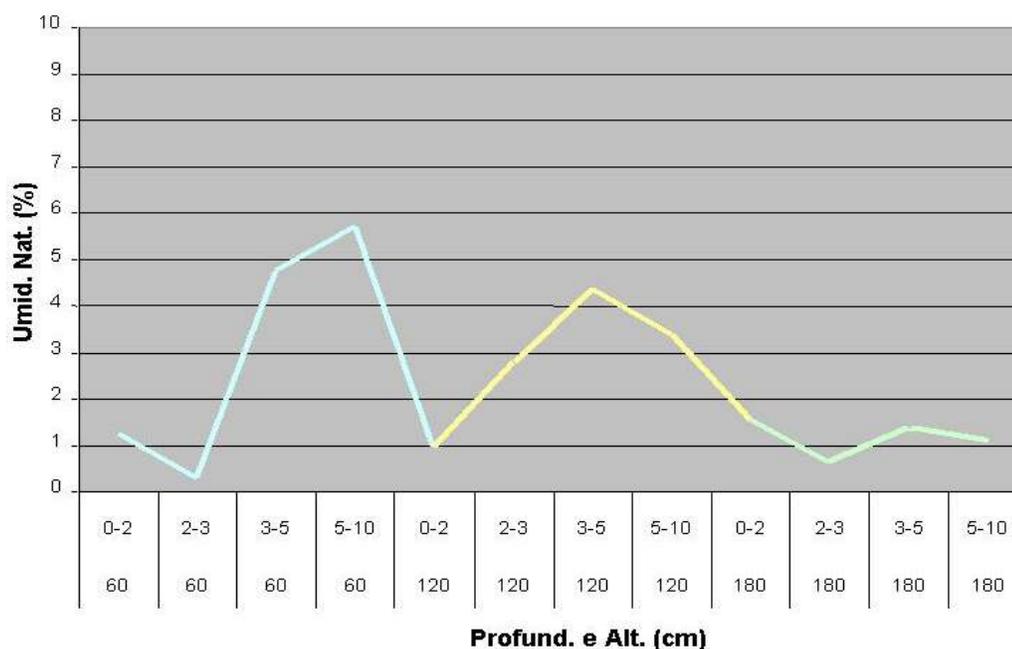


Figura 59: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 2ª retirada de amostras no porão

No gráfico da figura 59 a média do teor de umidade das amostras é maior quanto mais próximo do solo, ou seja, aos 60cm de altura a média é de 3,00%, passando para 2,90% na altura de 120cm, baixando para 1,15% a uma altura de 180cm. Pode-se observar que, próximo ao solo a umidade é novamente maior do que na parte mais alta da parede.

Como estes pontos ficam mais distante da base da lareira, onde havia bastante umidade, nota-se que em relação ao gráfico da figura 57 na altura de 180cm, a média do teor de umidade agora já é menor, passando de 2,89% para 1,15%. Nas alturas de 60cm e 120cm, vê-se que a superfície seca mais que o interior da parede. Na altura de 180cm novamente deve ter havido influência do aquecimento da broca helicoidal, não havendo um comportamento uniformemente crescente da umidade como se esperava obter.

Comparando a figura 56 com a 57, pode-se concluir que as médias dos índices de umidade no porão são superiores às do primeiro piso, confirmando a dificuldade de circulação de ar no porão.

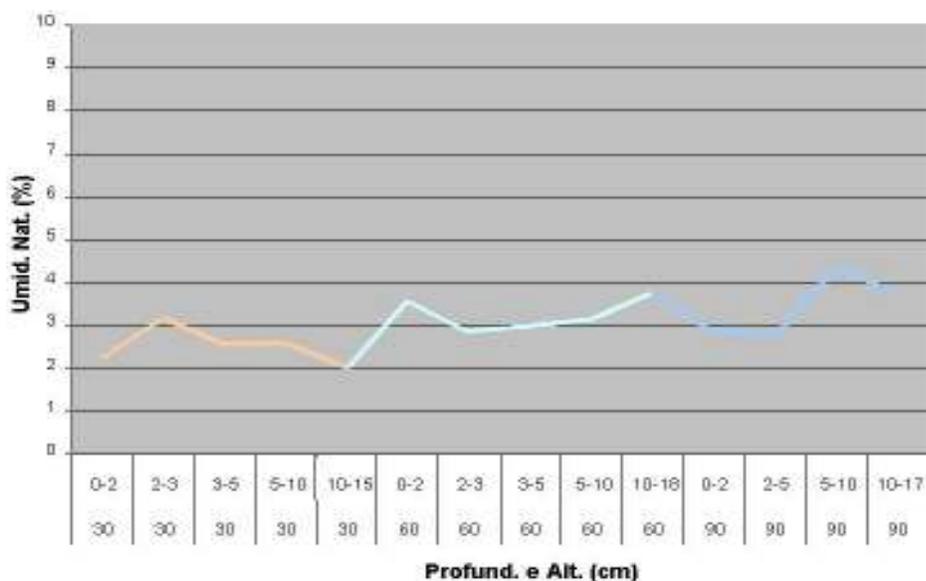


Figura 60: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 3ª retirada de amostras no 1º andar da casa

No gráfico da figura 60 as médias do teor de umidade crescem à medida que aumenta a altura de retirada das amostras, passando de 2,52% a 30cm de altura, 3,25% a 60cm de altura e 3,44% a 90cm de altura. As amostras foram retiradas à direita da lareira conforme mostra a figura 49. Pode-se observar que nas alturas de 30cm e 60cm em relação ao piso, a variação do teor de umidade, na profundidade, é mínima. Na altura de 90cm, as duas primeiras amostras da superfície apresentaram um teor de umidade inferior às duas amostras retiradas em uma maior profundidade.

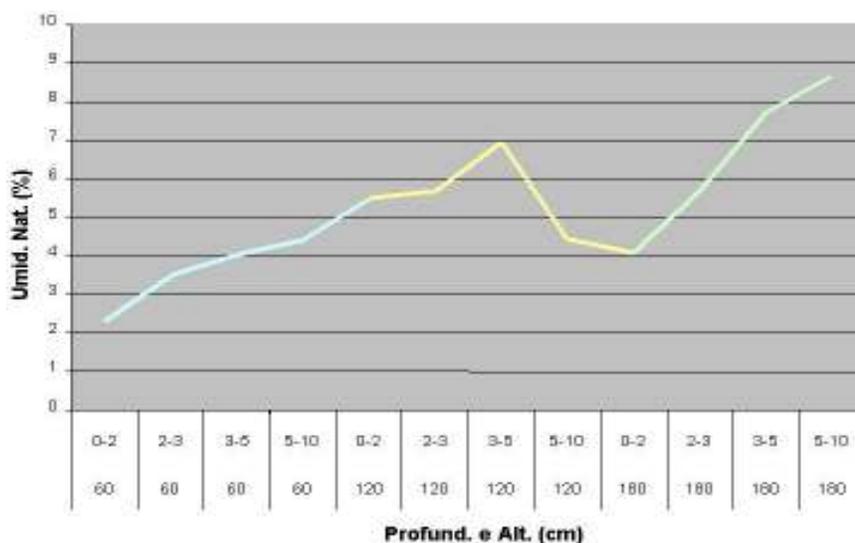


Figura 61: distribuição da umidade natural em função das alturas e profundidades da 4ª retirada de amostras do porão

No gráfico da figura 61 a média do teor de umidade das amostras do porão supera as das retiradas anteriores, passando de 3,55% na altura de 60cm, 5,63% na altura de 120cm, para 6,54% na altura de 180cm. Deve-se lembrar que estas amostras foram retiradas um ano após as retiradas anteriores, no mês de out/03, mês com maior umidade que em nov/02. Diferente dos outros pontos, a média do teor de umidade das amostras retiradas é menor junto ao piso, aumentando no sentido de baixo para cima na parede. Tanto na altura de 60cm, quanto na de 180cm, as amostras da superfície apresentaram-se com menor umidade que as mais profundidades. Observando-se as figuras 56 a 61, pode-se constatar que a umidade no porão é bem maior do que no primeiro andar, chegando a 8,67% de umidade. Verifica-se que as paredes estavam pouco úmidas na ocasião, pois os resultados ficaram abaixo de 10%. De acordo com Toner (1997), quando o índice de umidade da parede é inferior a 10%, a umidade é mínima. Após esta análise da umidade das paredes, procedeu-se, então, ao planejamento da retirada de amostras para que fosse possível se fazer a análise da salinidade no porão da casa, antes do tratamento com as novas argamassas, e depois do tratamento.

## 6.2 ANÁLISE DOS SAIS ANTES DO TRATAMENTO DA PAREDE DO PORÃO

As amostras da argamassa antiga e da alvenaria para análise química de sais feita em laboratório foram coletadas sob forma de fragmentos, usando-se também uma broca helicoidal de 6mm de diâmetro. Para permitir comparações entre as diversas alturas da parede seguiram-se os seguintes critérios:

- a) retirada das amostras em três alturas (75cm, 105cm e 135cm do piso) entre os painéis das argamassas de tratamento;
- b) retirada das amostras da argamassa antiga, a uma mesma altura das amostras retiradas posteriormente dos painéis com as argamassas novas (135cm em relação ao piso do porão);
- c) retirada das amostras em duas profundidades: 0 a 3cm e 3 a 6cm, para verificar a distribuição do sal pela argamassa e alvenaria.

As figuras 62 e 63 mostram os pontos de retirada das amostras na argamassa antiga, próximos aos painéis com as novas argamassas.

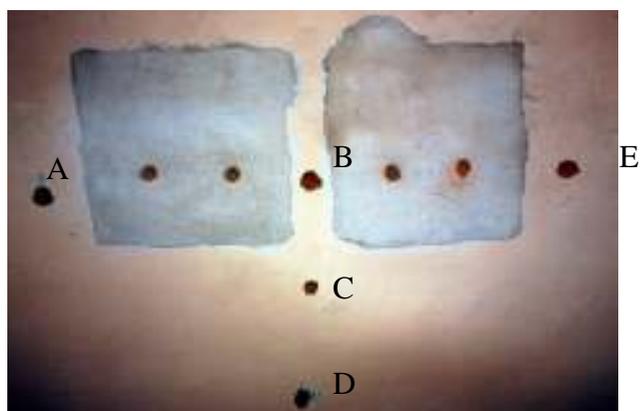


Figura 62: amostras da argamassa antiga, retiradas próximo aos dois primeiros painéis das novas argamassas (traços 1:2:9 e 1:2:9S respectivamente) para os ensaios de salinidade

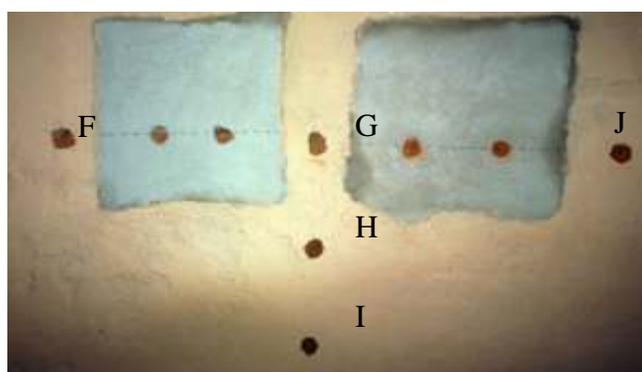


Figura 63: amostras da argamassa antiga, retiradas próximo aos dois segundos painéis das novas argamassas (traços 1:1:6 e 1:1:6S respectivamente) para os ensaios de salinidade

Na identificação das amostras coletadas para os ensaios de salinidade, utilizou-se a seguinte nomenclatura:

- a) A, B, E, F, G, J – amostras retiradas na argamassa antiga (figuras 62 e 63), da esquerda para a direita, próximas aos painéis com as argamassas novas a uma altura de 135cm em relação ao piso do porão;
- b) C, H – amostras a uma altura de 105cm do piso;
- c) D, I – amostras a uma altura de 75cm do piso;
- d) 1 – profundidade de 0 a 3cm das amostras (argamassa de revestimento);
- e) 2 – profundidade de 3 a 6cm das amostras (alvenaria).

Na tabela 29, pode-se ver os resultados das análises realizadas em função das amostras coletadas da argamassa original e da alvenaria. A ordem das amostras nessa tabela e no gráfico da figura 64 segue a orientação da esquerda para a direita na parede.

Tabela 29: resultado dos ensaios de presença de sais antes do tratamento da parede do porão da casa

Amostra	Altura (cm)	Profundidade (cm)	Cloretos (mg/kg Cl <sup>-</sup> )	Grau de contaminação por cloretos	Sulfatos (mg/kg SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> ) conforme tabela Kerasan	% de sais em cada amostra	Grau de contaminação por sulfatos - classificação tabela Kerasan
A1	135	0-3	617,67	II	3027,28	75	IV
A2	135	3-6	371,92	II	1015,66	25	III
B1	135	0-3	240,00	I	2461,84	78	III
B2	135	3-6	N/D	-	679,20	22	II
C1	105	0-3	N/D	-	1330,15	84	III
C2	105	3-6	N/D	-	251,00	16	I
D1	75	0-3	N/D	-	643,04	84	II
D2	75	3-6	N/D	-	126,52	16	I
E1	135	0-3	N/D	-	1557,32	89	III
E2	135	3-6	N/D	-	187,37	11	I
F1	135	0-3	N/D	-	1668,93	89	III
F2	135	3-6	N/D	-	215,67	11	I
G1	135	0-3	N/D	-	388,59	59	II
G2	135	3-6	N/D	-	273,78	41	I
H1	105	0-3	N/D	-	637,59	70	II
H2	105	3-6	N/D	-	268,27	30	I
I1	75	0-3	N/D	-	1006,30	84	III
I2	75	3-6	N/D	-	199,39	16	I
J1	135	0-3	N/D	-	545,66	67	II
J2	135	3-6	N/D	-	269,85	33	I

A Figura 64 mostra a distribuição da salinidade (cloretos e sulfatos) na parede do porão antes do tratamento com as argamassas de saneamento.

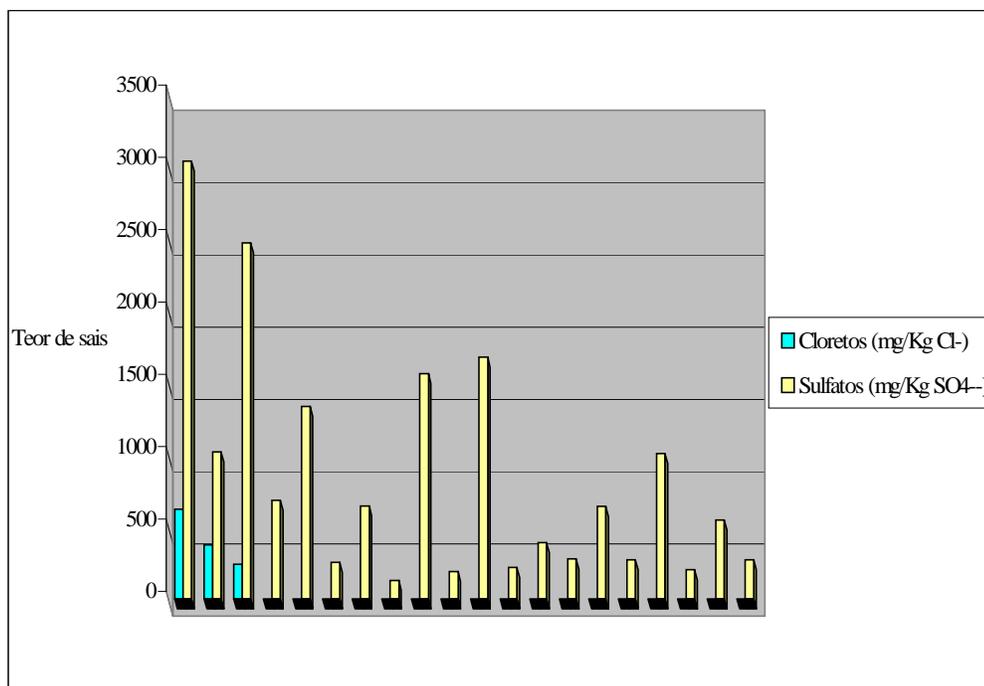


Figura 64: distribuição dos sais cloretos e sulfatos nas diversas alturas e profundidades das amostras retiradas do porão

Vê-se do exposto que há uma contaminação por cloretos em uma pequena quantidade de amostras retiradas na mesma altura, enquanto que a contaminação por sulfatos ocorre em todas as amostras. Analisando a quantidade destes sulfatos, constata-se também que há maior incidência na argamassa de revestimento do que na alvenaria.

Em muitas das amostras analisadas notou-se a presença de metais que interferem no ensaio de identificação de cloretos. Isto pode ter sido a causa de se detectar a presença destes sais em somente três amostras.

Antes de se analisar o grau de contaminação das amostras, é conveniente salientar que os dois primeiros painéis com as novas argamassas, conforme mostra a figura 61, ficam à esquerda da base da lareira do primeiro piso da casa, enquanto que os dois painéis da figura 62 ficam à direita da base da lareira.

Como se pode observar no gráfico da figura 64, na altura de 1,35m, há grande incidência de sulfatos na argamassa à esquerda da base da lareira, variando do grau IV na argamassa do ponto A, grau III na argamassa dos pontos B, C e E. No ponto D o grau foi II. Já nos tijolos a

variação é de grau II no ponto A, grau II no ponto B, e grau I nos pontos C, D e E. Vê-se que nas amostras antes do tratamento da parede, há mais sais na argamassa do que nos tijolos (substrato). Já os cloretos aparecem apenas em três das amostras, de grau II na amostra A e grau I na amostra B.

Nas amostras à direita da base da lareira, o comportamento da salinidade segue a mesma lógica de haver mais sais na argamassa do que nos tijolos. O grau de salinidade é III nos pontos F e I, grau II nos pontos G, H e J. Nos tijolos das amostras à direita da base da lareira, o grau de umidade é sempre I.

Em todas as amostras há mais concentração de sulfatos na argamassa do que no substrato, mostrando a migração dos sais do interior da parede para o exterior, conforme se pode observar na tabela 29, na coluna da porcentagem de sais das amostras.

Segundo Pagnussat et al. (2003), como a argamassa é antiga e há umidade, ela retém a água por causa da propriedade higroscópica dos sais, dificultando a secagem no interior da parede. Pode-se verificar, portanto, que a argamassa está bastante comprometida, confirmando a análise visual do local, prejudicando a durabilidade do revestimento e a secagem do interior da parede. Os gráficos das figuras 56, 58 e 60 anteriormente expostos confirmam esta maior presença de umidade no interior da parede do porão.

### 6.3 APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS NA PAREDE DO PORÃO DA CASA DO DR.ANNES DIAS

Para a aplicação dos painéis na parede da casa com as argamassas no traços 1:2:9 sem e com aditivo e 1:1:6 sem e com aditivo, seguiram-se as orientações do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), removendo o reboco interno do porão até a alvenaria, sob forma de quatro painéis no tamanho de 50 X 50cm, tomando-se o cuidado de raspar as juntas com talhadeira até a profundidade de 3cm, conforme ilustra a figura 65. O material retirado foi ensacado e removido do local, sendo que a alvenaria ainda foi limpa com uma escova dura.



Figura 65: painel com juntas raspadas entre os tijolos

Foi feito um chapisco de cimento:areia de forma que cobrisse 50% da área da alvenaria onde seria aplicada, posteriormente, a argamassa de saneamento (figura 66). Este chapisco deve ser aplicado de forma reticulada, formando uma ponte de aderência entre a alvenaria e a argamassa de saneamento. No painel onde seria aplicada a argamassa convencional, o chapisco foi feito em 100% do substrato, como normalmente ocorre em obras.



Figura 66: aplicação de chapisco em 100% (argamassa convencional) e em 50% (argamassa de saneamento) sobre o substrato

A figura 67 mostra a aplicação das argamassas no porão da casa do Dr. Annes Dias, nos dois primeiros painéis, com o traço 1:2:9 sem aditivos, e 1:2:9S com aditivos.



Figura 67: aplicação dos traços 1:2:9 sem aditivos e 1:2:9 com aditivos na parede do porão

Nos segundos painéis foram aplicadas as argamassas com os traços 1:1:6 sem aditivos e 1:1:6S com aditivos. A figura 68 ilustra os quatro painéis prontos.



Figura 68: vista geral das argamassas – da esquerda para a direita: 1º painel - traço 1:2:9 sem aditivos; 2º painel - traço 1:2:9S com aditivos; 3º painel - traço 1:1:6 sem aditivos; 4º painel - traço 1:1:6S com aditivos

#### 6.4 ANÁLISE DOS SAIS DEPOIS DO TRATAMENTO

Os quatro painéis, contendo argamassas convencionais e argamassas de saneamento, foram monitorados, avaliando-se o seu desempenho através dos ensaios de salinidade oito meses após a sua aplicação no porão da casa. Os pontos de retirada das amostras foram definidos conforme ilustram as figuras 68 e 69. Todos os pontos de retirada ficam a uma mesma altura

de 135cm em relação ao piso. Em cada ponto, foram retiradas duas amostras com o objetivo de se identificar os teores de sais presentes, tanto nas argamassas de saneamento quanto no substrato. Desta maneira visou-se obter a quantidade e tipo de sais que estariam migrando da alvenaria para as argamassas. É importante salientar que para acelerar o processo de migração dos sais, procedeu-se a alternância de molhar e aquecer periodicamente os painéis por duas semanas (devido a atividades exercidas pelos funcionários da casa), antes da retirada das amostras. Na identificação das amostras coletadas para os ensaios de salinidade nos painéis de argamassas utilizou-se a seguinte nomenclatura:

- a) A, B, C, D, E, F, G, H – amostras retiradas nos quatro painéis das argamassas novas, da esquerda para a direita, respectivamente (vide figuras 69 e 70), a uma altura de 135cm em relação ao piso do porão;
- b) 1 – profundidade de 0 a 3cm das amostras;
- c) 2 – profundidade de 3 a 6cm das amostras.

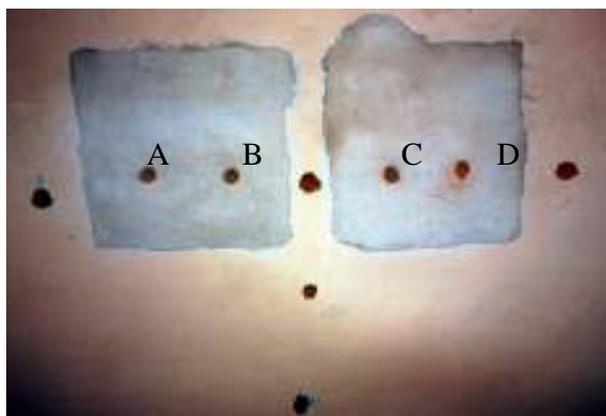


Figura 69: pontos de retirada das amostras para ensaios de salinidade nos dois primeiros painéis (traços 1:2:9 e 1:2:9S respectivamente)

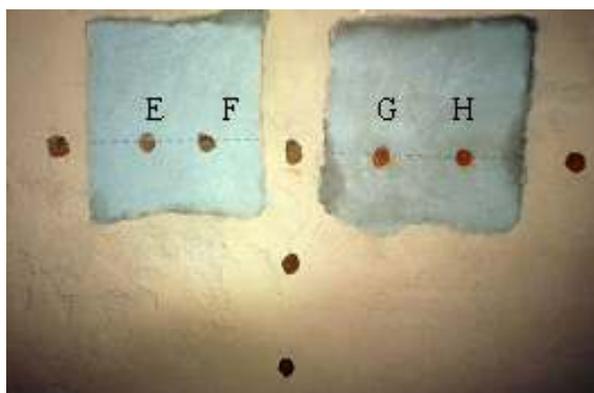


Figura 70: pontos de retirada das amostras para ensaios de salinidade nos dois segundos painéis (traços 1:1:6 e 1:1:6S respectivamente)

A tabela 30 mostra os resultados dos ensaios de presença de sais nos quatro painéis de argamassa aplicados na casa.

Tabela 30: resultado dos ensaios de sais após o tratamento

Amostra	Altura (cm)	Profundidade	Cloretos (mg/kg Cl <sup>-</sup> )	Sulfatos (mg/kg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	% de sais nas amostras	Grau de contaminação por sulfatos	Traço da argamassa
A1	135	0-3	NDI	887,44	72	II	1:2:9
A2	135	3-6	NDI	342,25	38	II	1:2:9
B1	135	0-3	N/D	1157,21	73	III	1:2:9
B2	135	3-6	N/D	430,86	27	II	1:2:9
C1	135	0-3	NDI	542,66	54	II	1:2:9S
C2	135	3-6	N/D	464,11	46	II	1:2:9S
D1	135	0-3	NDI	833,67	74	II	1:2:9S
D2	135	3-6	N/D	289,24	26	II	1:2:9S
E1	135	0-3	NDI	711,60	59	II	1:1:6
E2	135	3-6	N/D	493,95	41	II	1:1:6
F1	135	0-3	NDI	737,53	63	II	1:1:6
F2	135	3-6	N/D	428,61	37	II	1:1:6
G1	135	0-3	NDI	1630,03	87	III	1:1:6S
G2	135	3-6	N/D	254,30	13	I	1:1:6S
H1	135	0-3	N/D	610,27	65	II	1:1:6S
H2	135	3-6	N/D	325,43	35	II	1:1:6S

N/D = Não Detectado

NDI = Não Detectado devido à presença de Interferentes na argamassa

S= argamassa de saneamento

A figura 71 mostra a distribuição da salinidade nas amostras retiradas das argamassas aplicadas no porão da casa.

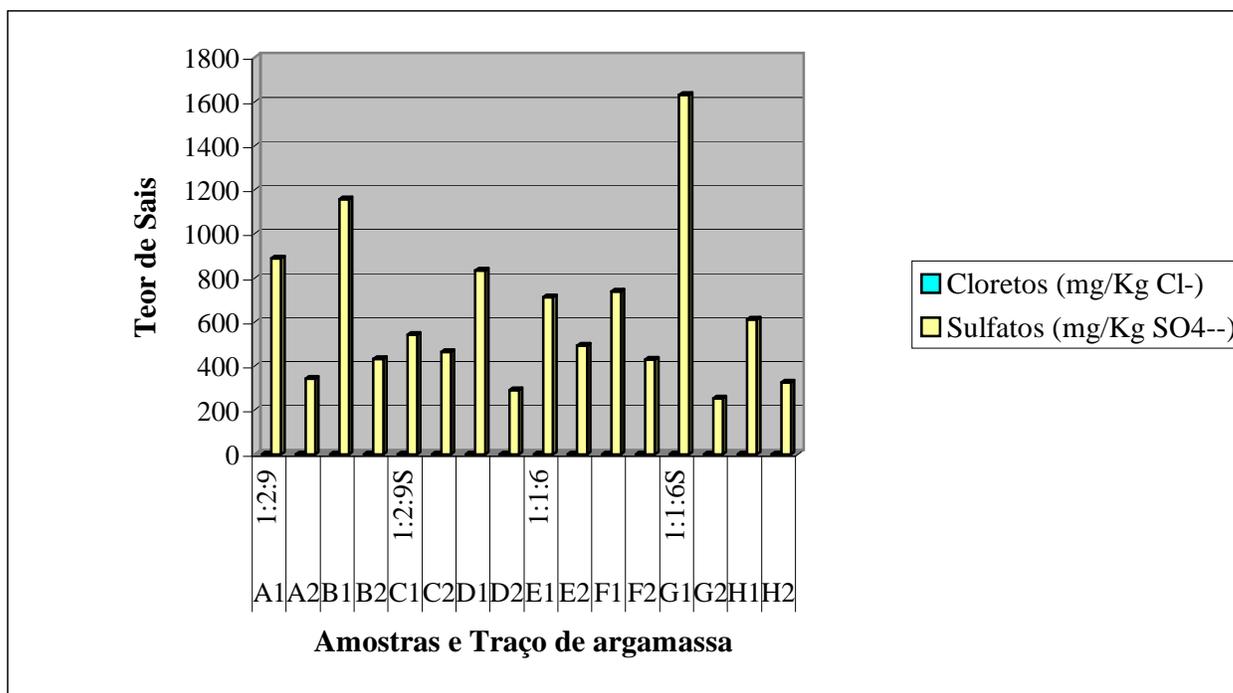


Figura 71: distribuição dos sais cloretos e sulfatos nas amostras após o tratamento com as argamassas convencionais e com as de saneamento

Analisando-se o gráfico da figura 71, pode-se observar que em todas as amostras há incidência de sulfatos. Nestes ensaios ficou dificultada a detecção dos cloretos, o que não permitiu sua análise. Como a aplicação das argamassas convencionais e de saneamento ocorreu há apenas 8 meses da retirada das amostras, pode-se notar que a maior incidência de sais é menor do que na argamassa antiga. Comparando-se as colunas de porcentagem de sais da tabela 30 (após o tratamento com as novas argamassas) com a tabela 29 (antes do tratamento), vê-se que os valores, no geral, ainda são inferiores aos da argamassa antiga. Na argamassa original o maior valor de sulfatos foi de 3.027,28mg/kg e de cloretos na ordem de 617,67mg/kg. Com o tratamento, os maiores valores passam a ser de 1.630,03mg/kg de sulfatos.

Em todos os traços observa-se a migração de sais do substrato para o revestimento, havendo maior incidência de sulfatos na argamassa do traço 1:2:9 do que no traço 1:2:9S com aditivos. Já no traço 1:1:6, sem aditivos, a incidência de sulfatos na argamassa é menor do que no traço 1:1:6S, com aditivos. Deve-se lembrar que no traço 1:1:6S a incorporação de ar obtida nos ensaios foi de 19%, enquanto no traço 1:2:9S foi de 14,5%. Para este tempo de aplicação do tratamento verifica-se, portanto, que o traço 1:1:6S comportou-se melhor do que o traço 1:2:9S em termos de maior concentração de sais no seu revestimento.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

### **7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este estudo permitiu um aprofundamento do conhecimento de duas importantes técnicas de dessalinização de paredes contaminadas pela umidade e salinidade, dentre as quais as argamassas de saneamento, dando continuidade aos trabalhos feitos no laboratório do NORIE, por Bianchin (1999), além do sistema de eletroforese chamado de sistema KERASAN, analisando dois casos de aplicação em nosso país.

Verifica-se que os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios em relação às recomendações da norma alemã WTA para argamassa de saneamento, com aumento dos percentuais de sais nos rebocos aplicados, comprovando a migração destes, do interior da alvenaria para as argamassas. Deve-se levar em conta que a análise da migração de sais foi feita apenas 8 meses após a aplicação das argamassas na parede.

### **7.2 CONCLUSÕES**

Descreve-se, portanto, os resultados das principais propriedades das argamassas de saneamento obtidas através deste estudo e recomendadas pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91.

#### **7.2.1 Consistência**

pode-se concluir, que, embora os valores tenham ficado acima de  $170 \pm 5\text{mm}$ , justifica-se esta disparidade, tendo em vista que na Alemanha o método de aplicação é mecânico, enquanto no Brasil, normalmente, a aplicação é manual.

### 7.2.2 Retenção de água

vê-se que o valor indicado pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995) foi plenamente atendido, pois os resultados ficaram acima de 85%, sendo o menor valor apresentado no traço 1:1:6S que é de 89%.

### 7.2.3 Teor de ar incorporado

nenhum dos traços analisados atingiu o valor do Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), que é no mínimo de 25%. Os valores maiores valores obtidos foram de 13% para o traço 1:2:9S e de 19% para o traço 1:1:6S

### 7.2.4 Resistência aos sais

segundo o Caderno de Recomendações Alemão – WTA, uma placa de argamassa de cal e cimento, submetida a este ensaio, é atravessada pela solução de sais em 1 hora. Já a resistência das argamassas de saneamento deve ser no mínimo de 10 dias, o que se obteve em um de cada três corpos-de-prova analisados para cada traço 1:1:6S e 1:2:9S. Os demais atenderam parcialmente ao ensaio.

Quanto aos ensaios de salinidade *in loco*, após o tratamento da parede do porão com a aplicação dos quatro painéis, dois de argamassa convencional e dois de argamassas de saneamento, verificou-se que após 8 meses da aplicação na parede, a quantidade de sais em média encontrada na argamassa de saneamento foi maior no traço 1:1:6S do que no 1:2:9S. Uma das causas deste resultado pode ser que a incorporação de ar no traço 1:1:6S foi maior do que no traço 1:2:9S, há, portanto maior porcentagem de poros de ar, facilitando a migração de sais.

Na argamassa convencional, em média, a quantidade de sais na argamassa comportou-se diferente, sendo menor no traço 1:2:6 do que no traço 1:1:9. No traço 1:1:6S a incidência de sulfatos foi maior do que no traço 1:1:6, enquanto no traço 1:2:9S, o índice de sulfatos foi maior do que no traço 1:2:9.

### 7.2.5 Resistência à difusão de vapor

a Norma Alemã DIN 52615 (1987) indica um valor de resistência à difusão de vapor inferior a 12, o que foi alcançado nestes ensaios.

### 7.2.6 Resistência à compressão

Pelos resultados analisados percebe-se que os valores de 1,5 a 5MPa de resistência à compressão estabelecidos pelo Caderno de Recomendações Alemão – WTA 2-2-91 (1995) foram plenamente alcançados pelos traços 1:1:6S e 1:2:9S.

Os valores das resistências à compressão também baixaram com a adição dos aditivos pela influência do incorporador de ar. Neste estudo comprova-se estes resultados, com um aumento de 31% da resistência à compressão do traço mais rico em cimento, que é o 1:1:6S, em relação ao traço 1:2:9S.

Quanto às relações entre as resistências à compressão e à tração, conclui-se que em nenhum dos traços atingiu-se o valor inferior a três unidades do Caderno de Recomendações Alemão.

### 7.2.7 Resistência à tração por compressão diametral

Observa-se que no traço 1:2:9S a resistência à tração baixou em média 18% em relação ao traço 1:1:6S. A resistência à tração também teve a influência do aditivo incorporador de ar no traço 1:1:6S que baixou em relação ao traço 1:1:6.

### 7.2.8 Massa Específica no Estado Endurecido

Pode-se observar que em média os resultados ficaram acima do indicado pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91 (1995), que é de 1,4kg/dm<sup>3</sup>, ficando os valores na média de 2,03kg/dm<sup>3</sup> para o traço 1:1:6S e de 2,04kg/dm<sup>3</sup> para o traço 1:2:9S.

Desta forma, observa-se que algumas propriedades no estado fresco e no estado endurecido foram plenamente atendidas, tendo-se como referência o Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91. Outras propriedades foram parcialmente atingidas, embora se deva levar em conta o uso de materiais nacionais e a execução manual em obra das argamassas.

Este estudo mostrou, portanto, que é possível se obter bons resultados com a utilização de aditivos em argamassas convencionais, mesmo que algumas propriedades não tenham sido atingidas, cujos valores estão indicados pelo Caderno de Recomendações Alemão WTA 2-2-91, como é o exemplo dos ensaios de compressão, que mostraram uma queda da resistência com o uso de aditivos, o mesmo acontecendo nos ensaios de tração para o traço 1:1:6S.

Sugere-se, portanto, continuidade com estes experimentos, aprimorando-se a qualidade das argamassas de saneamento.

### 7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, portanto, uma continuidade desta pesquisa, através das seguintes sugestões:

- a) fazer novos experimentos com outras proporções dos materiais nos traços das argamassas de saneamento, utilizando-se ainda algum agregado leve para aumentar a porosidade das argamassas;
- b) acompanhar por mais tempo o desempenho destas novas argamassas aplicadas em paredes contaminadas pela salinidade e umidade, verificando-se a migração de sais, e também fazendo os ensaios de aderência à tração, comparando os resultados com as indicações do Caderno de Recomendações Alemão;
- c) buscar informações sobre outros métodos de dessalinização de paredes, como é o caso das compressas de celulose, e que é utilizado na Alemanha.

## REFERÊNCIAS

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Cimento Portland – determinação da resistência à compressão: NBR 7215. Rio de Janeiro, 1996.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Agregados-Determinação da composição granulométrica: NBR 7217. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Agregado em estado solto-Determinação da massa unitária: NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Argamassa e Concreto – determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Argamassa de assentamento para paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água: NBR 13277. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos-Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão: NBR 13276. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água por imersão-índice de vazios e massa específica: NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. NBR 13276. Rio de Janeiro, 1995.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica: NBR 6474. Rio de Janeiro, 1984.Cimento Portland composto: NBR 11578. Rio de Janeiro, 1991.
- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Revestimento de paredes e tetos com argamassas, materiais, preparo, aplicação e manutenção: NBR 7200. Rio de Janeiro, 1985.
- ABNT/ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN – Determinação do teor de ar em concreto fresco-método pressométrico: NBR-NM 47:2002. Rio de Janeiro, 1998.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM Designation: C 270-97 a. **Standard Specification for Mortar for Unit Masonry**. Philadelphia, 1992.
- ADDLESON, L. **Building fallures – a guide to diagnosis, remedy and prevention**. Londres: The Architectural Press Ltda, 1983.
- ALMAGRO, A. La Fotogrametría en la documentación del patrimonio histórico. **In: PARDO, Eduardo Sebastián. Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos**. Granada: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 19\_\_\_. p.95-96.

ALUCCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984. (Separata dos encartes publicados nas revista A Construção, ago/84). p.565-570.

ANTUNES, R. P. N.; GRASSI, R.; PIRES S.; AZEVEDO C. W. Estudo das propriedades das argamassas no estado fresco utilizadas na região metropolitana do Recife. **In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Salvador: ANTAC, 1997. p. 173-177.

ARENDDT, C. Métodos de tratamento de alvenarias deterioradas. A utilização de rebocos de recuperação e medidas de combate aos sais. In: Métodos de Tratamento de Alvenarias Deterioradas. Tradução Hélio Adão Greven. **In: Seminário sobre Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura: avaliação do estado de conservação, análise, diagnóstico e terapia.** Porto Alegre: UFRGS, 1995.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos – uma análise de desempenho.** Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1987.

BEICHEL, A. Restauração de alvenaria úmida com salinidade. **In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Salvador: ANTAC, 1997. p.357-362.

BIANCHIN, A. C. **Influência do proporcionamento dos materiais constituintes no desempenho de argamassas para reboco de recuperação de alvenarias contaminadas por umidade e sais.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CABRITA A R.; AGUIAR, J.; APPLETON, J. **Manual de apoio à reabilitação dos edifícios do Bairro Alto.** Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1993.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. Técnicas auxiliares no diagnóstico de manifestações patológicas e na restauração das argamassas de revestimento. **In: Anais do IV Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções-VI Congresso de Controle de Qualidade.** Porto Alegre: LEME/CPGEC/UFRGS, 1997.

CARRIO, J. M. La patología y los estudios patológicos. **In: Comisión de Asuntos Tecnológicos.** Curso de Conservación y Restauración de edificios. 2ª ed. Madri: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1993. p.11-26.

CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P.N.; JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. **In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Salvador: ANTAC,1997. p. 110-115.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984. Editora Pini. (Separata dos encartes publicados nas revistas A Construção ago/84). p.11.

CINCOTTO, M. A; SILVA, MARIA A. C.; CASCUDO H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995 (Publicação IPT 2378).

DAVISON, J. I. **Loss of moisture from fresh mortars to bricks.** Materials, Research of Standards, Philadelphia, v.1, n.5, p.385-388, May, 1961. Apud CINCOTTO, Maria Alba; SILVA, Maria Angélica Covelo; CASCUDO, Helena Carasek. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995 (Publicação IPT 2378).

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. DIN 52615 – **Testing of Thermal Insulating Materials: determination of Water Vapour (moisture) Permeability of Construction and Insulating Materials.** Berlin: DIN, nov.1987, 5p.

DROLL, K.; MEIER H.G. **Cross-sectional water-repellent treatment of repair mortars-experiences from long-term behavior. The development of repair mortars: water-repellent additives.** Internationale Zeitschrift fur Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege Alemanha: 19\_ \_, p.4-9.

GRATWICK, R.T. **La Humedad em la Construccion.** Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S. A ,1971.

HENRIQUES, F. M. A . **Umidade em paredes.** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.

IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984. Editora Pini. (separata dos encartes publicados nas revistas A Construção, ago/84). p.545-548.

JAWOROSKI, H. C. **Estudo experimental em alvenaria estrutural: resistência à compressão e resistência de aderência.** 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

JOHN, V. M. Repensando o papel da cal hidratada nas argamassas. **In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** São Paulo: 2003. p.52-

KANAN, M. I. C. Argamassas, rebocos e tintas à base de cal. **In: Notas da Oficina de Arquitetura – Programa Prático em Tecnologias do Restauro.** Florianópolis: IPHAN, 2000.

KLEIN, D. L.; MUNIZ, A R.; MORO, A. M. Metodologia para recuperação de obras históricas. **In: Anais do V Congresso Ibero-Americano de Patologia das Construções e VII Congresso de Controle da Qualidade.** Montevideo: 1999. p.1599-1606.

LARSEN, P. K. **The development and testing of a salt extracting mortar.** Internationale Zeitschrift fur Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege. 7.Jahrgang, Heft 1, 79-90. Alemanha: 2001. p.79-83.

MASUERO, A .B. **Patologia das Edificações.** Escola de Engenharia – NORIE – Curso de Mestrado Profissionalizante. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

MATTOS, L. R. S. **Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo, utilizadas na cidade de Belém-Pa.** 2001.Dissertação (Mestrado em Engenharia

Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MECHA, C. O. Patología de la piedra y del ladrillo. **In: Comisión de Asuntos Tecnológicos. Curso de Conservación y Restauración de edificios.** 2ª ed. Madri: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1993. p.186-209.

MEHTA, P. K., MONTEIRO P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

MERINO, F. L. Humedades y eflorescências em obras de fábrica. **In: Comisión de Asuntos Tecnológicos.** Curso de Conservación Y Restauración de edificios. 2ª ed. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1993. p.309-337.

NAVAS, A. S. Técnicas en el estudio de pinturas murales. **In: PARDO, Eduardo Sebastián. Técnicas de diagnóstico aplicadas a la conservación de los materiales de construcción en los edificios históricos.** Granada: Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, 19\_\_\_. p.142.

NAPPI, S. C. B. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil dos rebocos com salinidade em edifícios históricos.** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de argamassas para reboco de recuperação.** 2004. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da Conservação e da restauração – materiais e estruturas – um roteiro de estudos.** Salvador: Editora da Universidade Federal da Bahia, 2002.

PAGNUSSAT, D. T.; PAULETTI, C.; POSSER, N. D.; MASUERO, A. B. Desempenho de Argamassas de Restauo. **In: Anais do Seminário Tiradentes-Conservação e Preservação do Patrimônio Histórico.** Niterói: 2003.

POLISSENI, A. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede – método do cachimbo.** 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

POLISSENI, A. E. Umidade Ascensional do Solo em Paredes de Alvenaria dos Edifícios: Patologias e Recomendações para Recuperação. Universidade Federal de Juiz de Fora. Brasil, Faculdade de Engenharia. **Em Patologia de lãs Obras de Albañileria no I Congresso Latino-americano de Patologia de la Construcción y III de Control de Calidad.** Córdoba-República Argentina, 1993.

PULÍN M. F. Léxico y criterios de rehabilitación. **In: GALINDO G. P. et al.** Curso de rehabilitacion. 2. ed. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1985. v. 2: El proyecto. p. 7-19.

QUADROS, C. A. X. **Conservação e recuperação em edifícios e monumentos.** Disciplina da Escola Superior de Belas Artes de Lisboa – Departamento de Arquitetura – Curso de Pós-Graduação. Lisboa: ESBAL, 1983.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. Influência do tipo de cal hidratada nas propriedades de pastas cimento-cal. **In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Salvador: 1997.** p. 99–102.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção.** São Paulo: Pini, 1996.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima, Acondicionamento Térmico Natural.** Porto Alegre: D.C. Luzzatto Editores: Ed.da Universidade, UFRGS, 1985. p.36.

RUARO, P.; GREVEN, H. A; DAL MOLIN, D. Contaminação e patologias por sais em alvenarias portantes de edificações históricas. **In: XXVIII Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural.** Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. 1997.

SATTLER, J. A. **Conforto térmico e acústico. Escola de Engenharia – NORIE – Curso de Mestrado Profissionalizante.** Porto Alegre: UFRGS, 2000.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Avaliação da perda de água da argamassa fresca para o substrato por sucção capilar. **In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** São Paulo: 2003. p.245.

SEELE, J. **Tópicos especiais em engenharia: restauro de edificações históricas.** Curso sobre Restauração de Edificações Históricas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

SOUZA, G. F. Eflorescências nas argamassas de revestimento. **In: Anais do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Salvador: 1997. p. 344-354.

TAUBE, C. R.; GAVA, G. P.; COURI P. S. M. F. Avaliação das propriedades de uma argamassa de revestimento industrializada em comparação a uma argamassa produzida em obra. **In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** São Paulo: 2003. p.205-212.

THOMAZ, E. **Trincas em edificações: causas e mecanismos de formação.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984 (separata dos encartes publicados nas revistas A Construção, ago/84). p. 84.

TONERA, R. **Alvenarias degradadas por umidade e salinidade – estudo de caso na Fortaleza de Anhatomirim.** Relatório do Projeto de Pesquisa sobre Alvenarias Degradadas por Umidade e Salinidade junto à Fortaleza de Santa Cruz de Anhatomirim. Florianópolis: 11º CR/IPHAN/SC e ETUSC/UFSC, 1997.

UEMOTO, K. L. **Patologia: danos causados por eflorescência.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1984 (separata dos encartes publicados nas revistas A Construção, ago/84). p.95-98.

ULSAMER, F. **Las Humedades en la Construcción.** Barcelona: Grupo Editorial Ceac, S.A., 1995. p.10-54.

VENZMER, H. Altbauinstandsetzung: fortschritte bei verfahren und produkten; vortrage/altbau. **In: Symposium anlässlich der Bautec 2000**. Berlin: Verlag Bauwesen, 2000. (FAS-Schriftenreihe, Sonderheft).

VERÇOZA, E. J. **Impermeabilização na construção**. Porto Alegre: Sagra, 1985.

WILLIMZIP, M. Sais e umidade – os maiores causadores de danos dos materiais de construção. **In: Curso ministrado no Instituto dos Arquitetos do Brasil**. Porto Alegre: IAB, 2004.

WTA – Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege E.V. Sistema de Rebocos de Recuperação - Caderno de Recomendações 2-2-91. In: Métodos de Tratamento de Alvenarias Deterioradas. Tradução Hélio Adão Greven. **In: Seminário sobre Recuperação de Obras Históricas de Engenharia e Arquitetura: Avaliação do Estado de Conservação, Análise, Diagnóstico e Terapia**. UFRGS, Porto Alegre, abr/1995.

ZEHNDER, K.; ARNOLD, A. Salt weathering on monuments. In: Advanced Workshop- Analytical Methodologies for the Investigation of Damaged Stones. Pavia, Itália, 1990. p.31.

**ANEXO A – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO  
DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL**

**Tabela A.1:** características químicas do cimento CP II F-32

Ensaio	Resultado (%)
Perda ao fogo	5,33
MgO	1,96
SO <sub>3</sub>	2,54
Na <sub>2</sub> O	0,03
K <sub>2</sub> O	0,66
CaO Livre	1,11
R.I	0,73
Equivalente alcalino	2,56

Obs.: dados obtidos do fabricante, que utiliza uma norma operacional para o controle da qualidade do cimento

**Tabela A.2:** análise física do cimento CP II F-32

Ensaio	Resultado
Água de consistência da pasta (%)	22,8
Blaine (CMK)	3532
Finura # 325 (%)	17,43
Expansibilidade a quente (mm)	0,00
Início de Pega (min)	205
Fim de Pega (min)	272
Massa específica (RHO)	3,11

Obs.: dados obtidos do fabricante

**Tabela A.3:** resistência à compressão do cimento CP II F-32

fc1 ( MPa)	fc3 ( MPa)	fc7( MPa)	fc28 ( MPa)
-	24,8	30,9	37,1
fc1–no 1ºdia	fc3–no 3ºdia	fc7–no 7ºdia	fc28–no 28ºdia

Obs.: dados obtidos do fabricante

**ANEXO B – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO  
DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL**

**Tabela B.1:** Caracterização da cal utilizada nas argamassas em estudo

Método de ensaio	Característica analisada		Cal hidratada	
			Amostra analisada	Referência: NBR 7175 (ABNT, 2003)
NBR 9289 (ABNT, 2000)	Finura retida acumulada	Peneira n°30	0%	≤ 5,00%
		Peneira n°200	13,32%	≤ 15,00%
NBR 6473 (ABNT, 2003)	Óxidos totais		89,33%	≥ 88,00%
	Óxidos não hidratados		11,59%	≤ 15,00%
NBR 6474 (ABNT, 1984)	Massa Específica		2,60 kg/dm <sup>3</sup>	-

Obs.: dados obtidos do fabricante

**Tabela B.2:** composição granulométrica da areia fina utilizada nas argamassas em estudo (40%)

Método de ensaio	Peneiras – abertura das malhas (mm)	Porcentagem Retida acumulada	Massa retida (g)	Porcentagem Retida individual
NBR 7217 (ABNT, 1982)	2,4	2	23,90	2
	1,2	10	75,90	8
	0,6	23	122,60	13
	0,3	65	416,20	42
	0,15	97	312,70	32
NBR 7217 (ABNT, 1982)	FUNDO	100	33,00	3
	Somatório		984,30	
	Dimensão máxima característica (mm)	2,40		
	Módulo de finura	1,97		

**Tabela B.3:** Composição granulométrica da areia grossa utilizada nas argamassas em estudo (60%)

Método de ensaio	Peneiras – abertura das malhas (mm)	Porcentagem Retida acumulada	Massa retida (g)	Porcentagem Retida individual
NBR 7217 (ABNT, 1982)	2,4	18	181,30	18
	1,2	42	228,30	24
	0,6	58	170,70	16
	0,3	99	401,60	41
	0,15	100	4,80	1
NBR 7217 (ABNT, 1982)	FUNDO		6,20	
	Somatório		992,90	
	Dimensão máxima	4,8		
	Módulo de finura	3,17		

**Tabela B.4:** Composição granulométrica da areia final utilizada nas argamassas em estudo (40% da areia mais grossa e 60% da mais fina)

Método de ensaio	Peneiras – abertura das malhas (mm)	Porcentagem Retida acumulada	Massa retida (g)	Porcentagem Retida individual
NBR 7217 (ABNT- 1982)	2,4	7	94,50	7
	1,2	18	164,40	11
	0,6	32	203,40	14
	0,3	73	570,70	41
	0,15	99	373,90	26
NBR 7217 (ABNT- 1982)	FUNDO	100	19,30	1
	SOMATÓRIO		1426,20	100
	Dimensão máxima	4,8		
	Módulo de finura	2,29		

**ANEXO C – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO  
DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO EXPERIMENTAL**

Tabela C.1: primeira retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do 1º piso							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund.(cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P2D1	30	0-2	0,50	10,05	10,02	10,00	10,00
P2D2	30	2-3	0,55	10,98	10,92	10,92	10,92
P2D3	30	3-7	0,80	13,87	13,79	13,76	13,76
P2D4	30	7-10	1,33	10,66	10,52	10,53	10,52
P2D5	30	10-15	0,80	10,12	10,05	10,06	10,04
P2E1	60	0-2	1,23	13,13	12,98	12,98	12,97
P2E2	60	2-3	1,67	12,21	12,01	12,01	12,01
P2E3	60	3-9	0,78	15,47	15,35	15,35	15,35
P2E4	60	9-15	1,25	12,12	11,97	11,97	11,97
P2F1	90	0-2	0,42	16,87	16,81	16,81	16,80
P2F2	90	2-3	1,38	13,21	13,03	13,04	13,03
P2F3	90	3-5	0,99	15,28	15,13	15,13	15,13
P2F4	90	5-10	1,49	10,91	10,77	10,77	10,75
P2F5	90	10-17	0,36	13,88	13,84	13,86	13,83
P2G1	70	0-2	1,49	13,65	13,47	13,47	13,45

Tabela C.2: primeira retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do porão							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund. (cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P1A1	60	0-2	1,97	15,02	14,73	14,73	14,73
P1A2	60	2-3	2,16	15,12	14,82	14,81	14,80
P1A3	60	3-5	3,55	14,30	13,81	13,91	13,81
P1A4	60	5-10	3,93	12,16	11,70	11,70	11,70
P1B1	120	0-2	2,14	15,29	14,97	14,97	14,97
P1B2	120	2-3	1,75	12,82	12,59	12,60	12,60
P1B3	120	3-5	3,78	12,34	11,90	11,91	11,89
P1B4	120	5-10	2,84	12,68	12,34	12,34	12,33
P1C1	180	0-2	2,74	16,89	16,47	16,45	16,44
P1C2	180	2-3	3,12	16,51	16,09	16,08	16,08
P1C3	180	3-5	2,67	14,20	13,82	13,79	13,77
P1C4	180	5-10	3,02	14,32	13,92	13,91	13,90

Tabela C.3: segunda retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do 1º piso							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund.(cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P2D1	30	0-2	0,91	13,36	13,27	13,25	13,24
P2D2	30	2-3	0,52	13,45	13,39	13,38	13,38
P2D3	30	3-5	1,00	16,16	16,00	16,00	16,00
P2D4	30	5-10	0,70	14,45	14,34	14,35	14,35
P2D5	30	10-18	0,21	14,36	14,34	14,35	14,33
P2E1	60	0-2	0,57	14,11	14,03	14,03	14,03
P2E2	60	2-3	0,20	14,80	14,80	14,79	14,77
P2E3	60	3-5	1,04	13,62	13,48	13,48	13,48
P2E4	60	5-10	1,57	12,94	12,76	12,74	12,74
P2E5	60	10-14	1,14	12,39	12,26	12,26	12,25
P2F1	90	0-2	0,72	13,92	13,83	13,82	13,82
P2F2	90	2-3	0,65	12,45	12,37	12,38	12,37
P2F3	90	3-5	0,49	16,30	16,21	16,22	16,22
P2F4	90	5-10	1,04	18,43	18,26	18,26	18,24

Tabela C.4: segunda retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do porão							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund.(cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P1A1	60	0-2	1,26	12,83	12,67	12,67	12,67
P1A2	60	2-3	0,30	9,95	9,93	9,92	9,92
P1A3	60	3-5	4,77	14,94	14,26	14,26	14,26
P1A4	60	5-10	5,70	14,45	13,71	13,67	13,67
P1B1	120	0-2	0,99	13,32	13,19	13,19	13,19
P1B2	120	2-3	2,79	20,27	19,71	19,73	19,72
P1B3	120	3-5	4,39	13,07	12,57	12,57	12,52
P1B4	120	5-10	3,41	13,94	13,51	13,48	13,48
P1C1	180	0-2	1,54	15,86	15,62	15,62	15,62
P1C2	180	2-3	0,63	19,14	19,02	19,02	19,02
P1C3	180	3-5	1,37	14,05	13,86	13,86	13,86
P1C4	180	5-10	1,07	21,71	21,47	21,48	21,48

Tabela C.5: terceira retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do 1º piso							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund.(cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P2D1	30	0-2	2,26	10,39	10,20	10,16	10,16
P2D2	30	2-3	3,17	7,15	6,97	6,95	6,93
P2D3	30	3-5	2,57	7,97	7,80	7,78	7,77
P2D4	30	5-10	2,60	7,88	7,69	7,68	7,68
P2D5	30	10-15	2,01	9,12	8,96	8,95	8,94
P2E1	60	0-2	3,57	8,42	8,18	8,13	8,13
P2E2	60	2-3	2,84	7,60	7,43	7,39	7,39
P2E3	60	3-5	2,97	7,62	7,42	7,40	7,40
P2E4	60	5-10	3,13	7,26	7,05	7,04	7,04
P2E5	60	10-18	3,73	8,62	8,34	8,31	8,31
P2F1	90	0-2	2,85	10,82	10,54	10,53	10,52
P2F2	90	2-5	2,78	7,39	7,21	7,19	7,19
P2F3	90	5-10	4,37	8,12	7,82	7,81	7,78
P2F4	90	10-17	3,77	9,35	9,03	9,01	9,01

Tabela C.6: quarta retirada de amostras

Teor de umidade/amostras do porão							
AMOSTRA	Alt.(cm)	Profund.(cm)	Umid.Nat.(%)	Meio-ambiente	24h	48h	72h
P1A1	60	0-2	2,29	13,10	12,85	12,80	12,80
P1A2	60	2-3	3,51	34,20	33,00	32,98	33,00
P1A3	60	3-5	4,01	32,40	31,12	31,09	31,10
P1A4	60	5-10	4,40	22,90	21,95	21,90	21,90
P1B1	120	0-2	5,48	14,60	13,76	13,78	13,80
P1B2	120	2-3	5,67	19,40	18,28	18,30	18,30
P1B3	120	3-5	6,95	18,70	17,38	17,39	17,40
P1B4	120	5-10	4,42	24,90	23,75	23,78	23,80
P1C1	180	0-2	4,07	12,30	11,79	11,80	11,80
P1C2	180	2-3	5,70	19,30	18,18	18,20	18,20
P1C3	180	3-5	7,70	16,90	15,55	15,57	15,60
P1C4	180	5-10	8,67	17,30	15,75	15,78	15,80



